

# МОДЕЛЬ АВАРИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СУДНА

**Кукуи Фирмин Дживо**

*Кандидат технических наук, Ведущий инженер управления  
по транспортной логистике ООО «Газпром нефть шельф»  
Россия, г. Мурманск 183038, ул. Карла Маркса д.19*

## MODEL OF EMERGENCY STATE OF SHIP OPERATION CONTROL TECHNOLOGY

**Kukui Firmin Dzhivo**

*Candidat of technical sciences, Leading engineer  
of transport logistics Department LLC "Gazprom neft shelf"  
Russia, Murmansk183038, 19, Karl Marx street*

**Аннотация:** из анализа морских аварий и катастроф, произошедших за последние годы, следует, что большинство этих аварий произошло вследствие «человеческого фактора». Все более очевидным становится необходимость учета всех разновидностей факторов, определяющих поведение «человеческого элемента» при несении ходовой навигационной вахты. В статье разработана математическая модель аварийного состояния технологии управления эксплуатацией судна. Для разработки данной модели использованы, общеизвестны в теории вероятности и математической статистике методы. Показано, что модели эволюции состояний, составленные в рамках ассоциативно-структурного подхода, и модель их взаимосвязи способны обеспечить как расчет показателя надежности при эксплуатации судна, так и прогнозирование эффективности вложения средств в системе управления безопасностью (СУБ) этого судна. Кроме того, использование эволюционных диаграмм может способствовать выработке эффективных мер по профилактике аварийности и минимизации последствий аварий.

**Abstract:** from the analysis of marine accidents and catastrophes that have occurred in recent years, it follows that most of these accidents occurred due to the "human factor". The need to take into account all kinds of factors governing the behavior of the "human element" when performing a navigational watch is becoming more evident. A mathematical model of the emergency state of the ship operation control technology is developed in the article. For the development of this model, well-known in the theory of probability and mathematical statistics methods are used. It is shown that the state evolution models composed of within the framework of the associative-structural approach, and the model of their relationship can provide both the calculation of reliability in the operation of the vessel, and forecasting the effectiveness of investments in the SMS (safety management system) of this vessel. In

addition, the use of evolutionary diagram can contribute to the development of effective measures to prevent accidents and minimize the consequences of accidents.

**Ключевые слова:** фактор аварийности, математическая модель, человеческий фактор, управление эксплуатацией судна, технология управления, граф аварийности.

**Keywords:** accident factor, mathematical factor, human factor, ship's operation control, technology management, count of accident.

Аварийность морских судов определяется объективной реальностью, которая обусловлена внешними и внутрисудовыми факторами, которые сопутствуют процессам мореплавания. Формулировке требований к безаварийной эксплуатации судна и разработке методов, а так же средств, позволяющих разрешать нештатные ситуации в судовых технологических процессах, посвящены работы, таких как ведущих ученых в области безопасности мореплавания В. А. Логиновский, В. И. Меньшиков, Ф. М. Кацман и Д. А. Скороходов. Однако, несмотря на большое внимание, которое уделяется сейчас исследованиям в области теории и практики безопасного мореплавания, еще далеко не все аспекты изучены достаточно глубоко и всесторонне. Таким образом, проблему аварийность на морском флоте и эффективных методов их снижения следует относить к одному из актуальных направлений в научно-техническом прогрессе, как для морской транспортной отрасли, так и для нефтегазовой индустрии России.

Цель данной работы – разработка модели аварийного состояния технологии управления эксплуатацией судна.

Модель аварийного состояния технологии управления представим с помощью направленного графа переходов со структурой дерева вида  $G_2(P, V)$ , где  $P$  – вершины;  $V$  – ребра графа (рис. 1). Исходные вершины эволюционной диаграммы (графа)  $G_2(P, V)$  соответствуют состояниям нормального функционирования подсистем, которые обеспечивают реализацию технологического процесса управления эксплуатацией судна. 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 организационно-технической системы.

Ребра  $v \in V$  графа  $G_2(P, V)$ , представленные на рис. 1 в виде сплошных линий, фиксируют направленные переходы подсистем, обеспечивающих реализацию технологии управления, из состояния в состояние. Управленческой ошибке "человеческого элемента" соответствует вершина  $P_2$ , отказу технических средств – вершина  $P_4$ , сбою 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 подсистемах соответственно. Действительно, с точки зрения последствий отказов судовых технических средств и сбоев в организации несения вахты в технологии управления  $T_{UG}$  целесообразно рассматривать только скрытые и ложные отказы. 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.

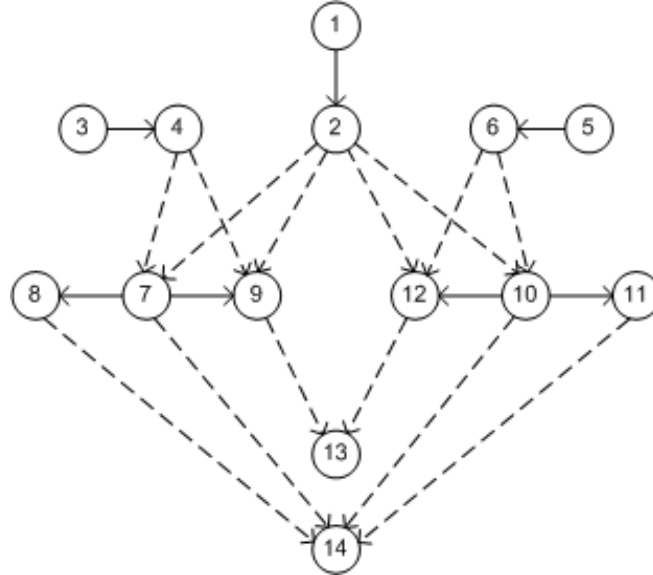


Рис. 1. Граф аварийности

Кроме того, ложными отказами и ложными сбоями необходимо 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 эволюцию состояния при наличии ошибок "человеческого элемента", скрытых или ложных отказов и сбоев технических или организационных средств. Конечными вершинами эволюционной диаграммы являются вершины  $P_{13}$  и  $P_{14}$ , которые определяют конечные состояния аварийности технологического процесса управления. Пусть в случайные моменты совершает ошибки "человеческий элемент", а средства диагностики обнаруживают ложные или скрытые отказы и сбои в технической и организационной подсистемах. Тогда, учитывая, что критическая ситуация на судне, фиксируемая состоянием  $P_{14}$ , 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 такой ситуации можно представить следующим образом:

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

где каждая компонента является монотонной цепочкой переходов вида

$$P_{14}^0 = P_1 \& P_2 \& P_7;$$

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

Состояние технологии управления  $T_{UG}$ , классифицируемое как аварийное (вершина направленного графа  $P_{13}$ ), определяется ошибками "человеческого элемента", отказами или сбоями технической или организационной подсистемы, а также отказами средств диагностики. Модель аварийной технологии управления  $T_{UG}$ , которая складывается на судне, можно записать так:

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

где каждая компонента является монотонной цепочкой переходов вида

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

Введенные ранее допущения и описания моделей (2),(3) позволяют получить общее представление о трех основных состояниях, которые могут сложиться в СУБ при реализации технологии поддержания безопасной эксплуатации судна, и составить модель взаимосвязи этих состояний. Модель взаимосвязи эксплуатационного, критического и аварийного состояний технологии  $T_{UG}$  можно представить в виде направленного графа с циклической структурой вида  $G_3(S, W)$ , где  $S$  – вершины графа;  $W$  – его ребра (рис. 2).

Основным состоянием, отвечающим условиям безопасной реализации технологии управления, является эксплуатационное состояние  $T_{UG}$ , соответствующее вершине графа  $S_1$ . В этом состоянии действие факторов опасности незначительно и сбалансировано действиями СУБ судна на стадиях профилактики и предупреждения аварийности. Устойчивость эксплуатационного состояния  $S_1$  в модели взаимосвязи представлена циклом в вершине графа (рис. 2).

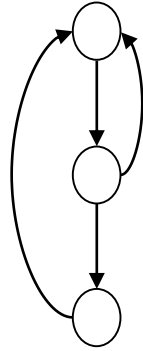


Рис. 2. Граф взаимосвязи состояний технологии  $T_{UG}$

Если действие факторов опасности создает реальную угрозу безопасной реализации технологии управления и не может быть сбалансировано действиями СУБ судна на стадиях профилактики и предупреждения, возникает неустойчивое критическое состояние, соответствующее вершине графа  $S_2$ . Это состояние явно неустойчиво, поскольку, с одной стороны, способно при принятии чрезвычайных организационно-технических мер вернуться в устойчивое эксплуатационное состояние  $S_1$ , с другой – если принятые меры будут неадекватны действию факторов опасности, перейти в аварийное состояние (вершина графа  $S_3$ ).

Аварийное состояние технологии управления  $T_{UG}$  характеризуется истинным или кажущимся нарушением технологии управления или отказами отдельных ее элементов. При кажущемся нарушении функционирования или кажущемся отказе элемента технологии управления возможно возвращение ее состояния в эксплуатационное состояние. При истинном отказе элемента или истинном нарушении технологического процесса управления аварийное состояние необратимо. Свойство необратимости и устойчивости истинного аварийного состояния в эволюционной модели взаимосвязи представлено циклом при вершине графа  $S_3$ .

При истинном аварийном состоянии технологии управления система управления безопасностью обязана реагировать на разрушительное действие опасных факторов, но лишь так, чтобы локализовать, а затем – минимизировать его последствия. Модели эволюции состояний, составленные в рамках ассоциативно-структурного подхода, и модель их взаимосвязи способны обеспечить как расчет показателя надежности при эксплуатации судна, так и прогнозирование эффективности вложения средств в СУБ этого судна. Кроме того, использование эволюционных диаграмм может способствовать выработке эффективных мер по профилактике аварийности и минимизации последствий аварий.

## Список литературы

1. Использование ассоциативно-структурного подхода при описании аварийной ситуации и вариантов ее развития / С.В. Помахо, А.Ж. Смирнов, В.И. Меньшиков // Вестн. МГТУ: Труды Мурман. Гос. техн. Ун-та. 2011. Т.14. № 4. С.737 – 739.
2. Катенин В.А. Навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение судоходства на внутренних водных путях. СПб. : Элмор. 2011. 614 с.
3. Кодекс международных стандартов и рекомендуемой практики расследования аварии или инцидента на море (Кодекс расследования аварий) (Принят Резолюцией КБМ от 16.05.2008 N MSC.255(84)).
4. Кодекс проведения расследования аварий и инцидентов на море – Code for investigation of marine casualties and incidents. СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1998. 112с («судовладельцам и капитанам и капитанам»), вып.№ 10). Принятая 20-й Ассамблеей Международной морской
5. Кукуи Ф. Д. Модель и механизм побуждения к реализации безопасных технологий при эксплуатации судов компании // Морские интеллектуальные технологии. 2016. Т. 1. № 1 (31). С. 49 – 53.
6. Основные процессы в структурах безопасной эксплуатации судна / Ф. Д. Кукуи, Н. А. Анисимов, А.А. Анисимов / под общ ред В. И. Меньшикова. Мурманск. : Изд-во МГТУ, 2008. 185 с.
7. Проблемы безопасного мореплавания в сложных навигационных условиях стесненных вод / В. И. Меньшиков, А. Н. Суслов, В. В. Шутов / под общ. ред. В. И. Меньшикова. Мурманск. : Изд-во МГТУ, 2013. 186 с.
8. Резолюция ИМО А.849 (20) принятая 27 ноября 1997 г.

## References

1. The use of associative-structural approach in the description of the emergency and options for its development / S. V. Pomaha, A. J. Smirnov, V. I. men'shikov, Vestn. MGTU: trudy Murman. State. tech. Univ. 2011. Vol. 14. No. 4. P. 737 – 739.
2. Katenin V. A. Navigation-hydrographic and hydrometeorological support of navigation on inland waterways. SPb. : Elmore. 2011. 614 p.
3. Code of international standards and recommended practice of investigation of accident or incident at sea (code of investigation of accidents) (Adopted by the MSC Resolution of 16.05.2008 N MSC.255 (84)).
4. Code for investigation of marine accidents and incidents. SPb.: ZAO CNIIMF, 1998. 112 p ("shipowners and captains and captains"), vol. No. 10). Adopted by the 20th Assembly of the International Maritime.
5. Kukui F. D. Model and impulsion mechanism of the safety technology achievement in the process of company's ship operation // Marine intellectual technologies. 2016. Vol.1. № 1 (31). P. 49 – 53.

6. The main processes in the structures of safe operation of the vessel. Kukui F.D., Anisimov A.N., Anisimov A.A. / under the General ed. V. I. men'shikov Murmansk. : MGTU publishing house, 2008. 185 p.

7. The problem of safe navigation in the difficult navigation in congested waters / V. I. men'shikov, A. N. Suslov, V. V. Shutov / under the General editorship of V. I. Menshikov. Murmansk. : MGTU publishing house, 2013. 186 p. 186.

8. IMO resolution A. 849 (20) adopted on 27 November 1997