

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СУДОВОЙ АВАРИЙНОЙ ПАРТИИ С УЧЕТОМ ЗАТРАТ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ПОДГОТОВКУ ПЕРСОНАЛА

*А. В. Матонин, К. В. Пеньковская, В. И. Меньшиков*

*Мурманский государственный технический университет,  
Мурманск, Российская Федерация*

При современной эксплуатации судна необходимо обеспечить ему такое состояние живучести, которое позволило бы преодолеть во время плавания воздействия внешней среды, отказы технических средств и ошибки человеческого фактора. Для поддержания состояния живучести судна в руководящих документах рекомендованы варианты снабжения судовой аварийной партии ресурсом, который необходим для поддержания состояния живучести судна в случаях чрезвычайных ситуаций. Сформулировано, что при борьбе за живучесть судна каждый член аварийной партии должен в текущий момент времени оценивать не только техническую и организационную оснащенность аварийной партии, но и степень подготовки человеческого фактора, особенно его практических навыков борьбы за живучесть. При таком подходе к модели борьбы за живучесть судна процесс функционирования аварийной партии в первую очередь следует связывать с надежностью проведения профилактических мероприятий технических средств и эффективностью профессиональных тренировок персонала аварийной партии. В рамках политики постоянных и всеобъемлющих тренировок персонала аварийной партии администрациям судна и компании необходимо сводить потребление технического и организационного ресурса к минимальному уровню. Затраты на подготовку судовых специалистов из состава аварийной партии должны быть также минимизированы, но до такого уровня, при котором специалисты, обладая необходимыми и достаточными навыками борьбы за живучесть, оправдывают понесенные затраты.

**Ключевые слова:** судовая аварийная партия, затраты на технические средства, затраты на подготовку персонала, полезность затрат, живучесть судна.

**Для цитирования:** Матонин А. В., Пеньковская К. В., Меньшиков В. И. Формирование эффективной судовой аварийной партии с учетом затрат на технические средства и подготовку персонала // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 1. С. 54–59. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-54-59.

### Введение

Опыт судовождения свидетельствует о том, что специалисты транспортной или промышленной индустрии в большинстве случаев оценивают полезность выигрышей или вредность потерь не пропорционально их величинам, используют непропорциональные формы функции полезности. Одной из таких форм является отношение, которое можно называть осторожным, а соответствующее ему решение следует считать осторожным решением. Для осторожного решения характерно опасение больших проигрышей, поэтому вредность больших проигрышей преувеличивается, а соответствующих полезностей больших выигрышей преуменьшается. Например, если проигрыш увеличивается в два раза, то представляется, что вредность его вырастет в значительно большее число раз. Чем сумма проигрыша больше, тем в большей степени преувеличивается его вредность. Формула, описывающая отношение осторожности при расходовании ресурса, может быть позаимствована из теории вероятностей и соответствует вероятности появления редкого события (маловероятного, но возможного) только один раз. По смыслу такая функция полезности является вероятностью появления не менее одного выигрыша, в случае если выигрыш представляет собой событие с малой вероятностью.

Учитывая многообразие аварийных ситуаций и вариантов развития аварий, невозможно предусмотреть какой-либо полный перечень и порядок конкретных действий капитана и экипажа судна при борьбе за живучесть. Однако анализ причин возникновения аварий на судах выяв-

ляет не только ошибки экипажа, но и комплекс конструктивных недоработок, а также упущений в системе подготовки судовых специалистов. Результаты такого анализа позволяют возлагать на судовую администрацию и администрацию транспортных и рыболовных компаний соответствующие обязанности в принятии решений по руководству борьбой за живучесть и по обеспечению техническим, организационным и человеческим ресурсами судовые аварийные партии (АП).

Так, в работе [1] для поддержания живучести судна рекомендован вариант снабжения судовой АП ресурсом, который необходим и достаточен для поддержания состояния живучести судна в случаях чрезвычайных ситуаций при малых потерях и существенном выигрыше. Расширим решенную в работе [1] задачу и рассмотрим возможность оптимального функционирования судовой АП с позиции минимизации общих затрат и затрат на тренировки персонала АП, направленных на профилактику и поддержание состояния живучести судна.

### Метод и результаты исследования

Обозначим через  $X_1(t)$ ,  $X_2(t)$  затраты на техническое содержание АП и затраты на тренировочные учения, проводимые судовой администрацией. Кроме того, будем считать, что стоимость поддержания живучести судна  $Y(t)$  складывается из затрат на развитие АП  $J(t)$ , из затрат на содержание АП  $C(t)$  и из затрат на тренировочные учения  $V(t)$  персонала АП. Пусть в рамках введенных затрат за промежуток времени функционирования АП на судне от 0 до  $T$  включительно необходимо осуществить максимизацию функционала ее полезности, получаемой при поддержании и обеспечении живучести судна, записанной как

$$I = \int_0^T [\exp(-\delta t)] c(t) dt,$$

где  $c(t) \in C(t)$ .

При условии, что заданы минимально допустимый уровень текущих затрат на тренировки персонала  $\beta > 0$  и ограничения на затраты по содержанию и затраты, обеспечивающие необходимый уровень натренированности штатного состава АП на конец рейса судна, соответственно

$$x_2(t) \geq \beta, \quad x_1(T) \geq x_1^T, \quad x_2(T) \geq x_2^T.$$

Если далее ввести дополнительную переменную  $x_0$ , то сформулированную задачу можно представить так:

$$\begin{aligned} dx_0 / dt &= c \exp(-\delta t), \quad x_0(0) = 0, \quad dx_1 / dt = x_1^\alpha - \lambda_1 - c - v, \\ x_1(0) &= x_1^0, \quad x_1(T) \geq x_1^T, \quad dx_2 / dt = v - \lambda_2 x_2, \quad x_2(0) = x_2^0, \\ x_2(T) &= x_2^T, \quad x_1(t) \geq 0, \quad x_2(t) \geq \beta, \quad v(t) \geq 0, \\ I &= x_0(T) \rightarrow \sup, \end{aligned}$$

а систему уравнений кратных максимумов [2] определить:

$$\begin{aligned} F_1 &= p_0 \exp(-\delta t) - p_1, \\ F_2 &= p_2 - p_1 = 0, \\ p_i &= \varphi_{x_i}, (x_0, x_1, x_2, t), \end{aligned}$$

при этом ее интеграл будет иметь вид

$$y = (x_1 + x_2) \exp(-\delta t) + x_0.$$

Производная задача заключается в максимизации

$$I = y(T) - (x_1(T) + x_2(T)) \exp(-\delta t)$$

при условии

$$dy / dt = \exp(-\delta t) [x_1^\alpha - (\lambda_1 \delta) x_1 - (\lambda_2 + \delta) x_2]$$

и ограничениях на величины  $x_1$ ,  $x_2$ , указанных выше.

Тогда решение производной задачи определяется так:

$$x_1(t) = \begin{cases} x_1^0, & t = 0, \\ x_1^*, & 0 < t < T, \\ x_1^T, & t = T, \end{cases} \quad x_2(t) = \begin{cases} x_2^0, & t = 0, \\ x_2^*, & 0 < t < T, \\ x_2^T, & t = T, \end{cases} \quad (1)$$

$$x_1^* = ((\lambda_1 + \delta) / \alpha)^{1 / (\alpha - 1)}, \quad x_2^* = \beta.$$

Реализацией полученного решения является минимизирующая последовательность, аппроксимирующая найденное решение в окрестностях точек разрыва линейными функциями с достаточно большими угловыми коэффициентами. В то же время на промежуточных этапах планирования работы АП параметры, характеризующие минимизирующую последовательность, можно определить следующим образом:

$$v^* = \lambda_2 x_2^*, \quad c^* = x_1^{*\alpha} - \lambda_1 x_1^* - v^*.$$

Такому выбору параметров минимизирующей последовательности соответствует сбалансированный рост процессов  $X_1(t)$ ,  $X_2(t)$ ,  $C(t)$ ,  $V(t)$  с одним и тем же темпом роста. Следовательно, найденное решение производной задачи определяет магистральный характер движения решения исходной задачи.

### Обсуждение результата

Содержательный смысл составленной модели функционирования АП и ее магистральный характер решения заключаются в том, что целесообразно держать на минимальном, но достаточном уровне количество технических средств, поскольку их количественное увеличение в практике работы компаний, как правило, вообще не рассматривается. В то же время, очевидно, невыгодно иметь как слишком большой штатный состав АП (он требует больших затрат по отработке и закреплению навыков), так и слишком маленький персональный состав АП (это не позволяет осуществлять должную дееспособность АП в целом).

Пусть за заданное время от 0 до  $T$  включительно в АП должна быть достигнута максимальная натренированность персонала при заданном нижнем гарантированном уровне потребления ресурса и ограничениях на штатный состав АП:

$$c(t) \geq c_0, \quad x_1(T) \geq x_1^T, \\ I = x_2(T) \rightarrow \sup.$$

Такая задача является своеобразным «обращением» сформулированной выше задачи. В этом случае производная задача будет состоять в максимизации функционала вида

$$I = y(T) - x_0(T) - x_1(T)$$

при условии

$$dy / dt = y - \lambda_1 x_1 + x_1^\alpha - x_0.$$

Поставленная задача решается подобно задаче (1). Если речь идет о долгосрочной программе тренировки АП, с гарантированным уровнем потребления  $c(t) = c_0$ , и величина  $c_0$  задана разумно, т. е. с учетом уровня начальной величины  $x_1^0$ , то в зависимости от значения  $x_1^0$  по отношению к

$$x_1^* = (\lambda_1 / \alpha)^{1 / (\alpha - 1)}$$

возможны различные случаи.

Можно рассмотреть наиболее характерный случай, когда  $x_1^0 > x_1^*$ , другими словами, вначале идет период интенсивного формирования и закрепления навыков по борьбе за живучесть судна, пока величина  $x_1$  не станет равной величине  $x_1^*$ , а затем осуществляется движение  $x_1^*$  по магистрали при соблюдении равенства

$$v^* = x_1^{*\alpha} - \lambda_1 x_1^* - c_0.$$

Магистральное движение состояния  $x_1^*$  будет выполняться, если соблюдается условие тренировок вида

$$x_1(T) = x_1^T$$

или путем повторного проведения тренировок штатного состава АП, если

$$x_1^* > x_1^T,$$

или их прекращения, если

$$x_1^* \leq x_1^T.$$

Уменьшение количества тренировок по борьбе за живучесть судна возможно также на начальном этапе подготовки АП в том случае, когда

$$x_1^0 < x_1^*.$$

Следовательно, при политике постоянных и всеобъемлющих тренировок персонала АП необходимо снижать потребление ресурса до необходимого, но достаточного минимума.

Далее примем, что каждый член судовой АП осознает свою готовность, оценивает навыки по борьбе за живучесть и полностью их использует в процессе проведения профилактических мероприятий и практических тренировок в составе АП [3–5].

В рамках этой гипотезы оценить эффективность профилактических мероприятий и практических тренировок штатным составом АП можно, если привлечь для этой цели функционал вида

$$I = \int_0^T [ac(t) + bx_2^k(t)] \exp(-\delta t) dt,$$

где  $a, b, k$  – заданные числа,  $0 < k < 1$ .

Максимизация функционала на достаточно большом промежутке от 0 до  $T$  включительно при условиях

$$x_1(t) \geq 0, x_2(t) \geq 0, v(t) \geq 0$$

осуществляется аналогично рассмотренному выше. Здесь следует лишь отметить, что максимизирующая последовательность переходит на магистральную траекторию только в том случае, когда выполняются следующие равенства:

$$x_1^* = ((\lambda_1 + \delta) / \alpha)^{1/(a-1)},$$

$$x_2^* = ((\alpha\lambda_2 + \delta\alpha) / bk)^{1/(k-1)}.$$

Смысл составленной модели функционирования модели АП состоит в том, что при формировании судовой АП, во-первых, выгодно ориентироваться на минимально необходимое количество технического снабжения. Во-вторых, невыгодно включать в состав АП слишком большое количество членов судового персонала, т. к. они потребуют больших затрат на отработку и закрепление навыков по борьбе за живучесть. В то же время необходимо учитывать, что слишком маленький персональный состав АП не позволит осуществлять должное и эффективное поддержание дееспособности АП в целом.

Таким образом, предложенная модель оптимального расходования ресурса на обеспечение живучести судна и, соответственно, на поддержание безопасного плавания способна вырабатывать рекомендации для продолжительных интервалов времени, равных рейсу, может быть использован метод кратных максимумов. Привлечение этого метода в рамках ограничений Кротова позволяет оценить как расходование аварийно-спасательного ресурса при максимизации функционала полезности, так и ресурса, направляемого на проведение тренировок персонала АП. Кроме того, с помощью агрегированной модели расходования ресурса можно оценить в любой момент времени состояние судового специалиста из состава АП в части обладания им навыками борьбы за живучесть.

### **Заключение**

В рамках политики постоянных и всеобъемлющих тренировок персонала АП необходимо держать потребление ресурса на минимальном уровне. При этом каждый судовой специалист из состава АП должен оценивать свою степень готовности к борьбе за живучесть. Кроме того, подобное состояние персонала АП можно трактовать с позиции как снижения, так и повышения морального духа в зависимости от надежности, с которой выполняются профилактические мероприятия или осуществляются тренировки персонала АП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рвачев А. Н. Борьба за живучесть судна. М.: Транспорт, 1975. 88 с.
2. Кротов В. Ф., Гурман В. И. Методы и задачи оптимального управления. М.: Наука, 1973. 446 с.
3. Розов А. К. Оптимальные статистические решения. СПб.: Политехника, 2016. 262 с.
4. Трофименко А. В. Алгоритмы оценки оперативной обстановки руководителем при чрезвычайных ситуациях на основе многомерных альтернатив: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Изд-во Ин-та ГПС МЧС России, 2006. 23 с.
5. РД 31.60.14-81. Наставление по борьбе за живучесть судов // Судовладельцам и капитанам. Вып. 31. СПб.: ЦНИИМФ, 2004. 381 с.

Статья поступила в редакцию 08.11.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Матонин Артемий Владимирович** – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; аспирант кафедры судовождения; tolbuxin@yandex.ru.

**Пеньковская Ксения Вячеславовна** – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; канд. техн. наук; доцент кафедры судовождения; kseniamgtu@rambler.ru.

**Меньшиков Вячеслав Иванович** – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; д-р техн. наук; профессор кафедры судовождения; menishikovvi@mstu.edu.ru.



ORGANIZING EFFECTIVE SHIP EMERGENCY SQUAD SUBJECT  
TO EXPENSES ON EQUIPMENT AND PERSONNEL TRAINING

*A. V. Matonin, K. V. Penkovskaya, V. I. Menshikov*

*Murmansk State Technical University,  
Murmansk, Russian Federation*

**Abstract.** The paper focuses on the problem of the ship operation when it is necessary to provide survivability for the ship to overcome the effects of the external environment during the voyage, failures of technical equipment, and errors of the human factor. To maintain the ship's survivability, the guidance documents recommend providing the emergency squad with the resource that is necessary to maintain the ship's survivability in emergency situations. It is said that in the struggle for survivability of the ship each member of the emergency squad in real time should evaluate not only the technical and organizational equipment of the squad, but also the degree of readiness of the human factor, especially practical skills. The approach to the model of fighting for survivability of a ship associates functioning of the emergency squad first of all with the reliability of preventive measures of technical means and the effectiveness of professional training of emergency squad personnel. Within the framework of the policy of constant and comprehensive training of the emergency squad personnel, the ship and company authorities need to reduce using technical and organizational resources to a minimum level. The costs of training shipboard specialists from the emergency squad should also be minimized, but to the point where the specialist, obtaining the sufficient skills to fight for survivability justify the costs incurred.

**Key words:** ship emergency squad, costs of technical means, costs of personnel training, utility of costs, ship survivability.

**For citation:** Matonin A. V., Penkovskaya K. V., Menshikov V. I. Organizing effective ship emergency squad subject to expenses on equipment and personnel training. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;1:54-59. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-54-59.

#### REFERENCES

1. Rvachev A. N. *Bor'ba za zhivuchest' sudna* [Ship damage control]. Moscow, Transport Publ., 1975. 88 p.
2. Krotov V. F., Gurman V. I. *Metody i zadachi optimal'nogo upravleniya* [Methods and problems of optimal control]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 446 p.
3. Rozov A. K. *Optimal'nye statisticheskie resheniya* [Optimal statistical solutions]. Saint-Petersburg, Politehnika Publ., 2016. 262 p.
4. Trofimenko A. V. *Algoritmy ocenki operativnoj obstanovki rukovoditelem pri chrezvychajnyh situatsiyah na osnove mnogomernyh al'ternativ: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Algorithms for assessing operational situation by leader in emergency situations based on multidimensional alternatives: diss. abstr. ... cand. tech. sci.]. Saint-Petersburg, Izd-vo In-ta GPS MCHS Rossii, 2006. 23 p.
5. RD 31.60.14-81. *Nastavlenie po bor'be za zhivuchest' sudov* [RD 31.60.14-81. Guidance on ship survivability]. *Sudovladel'cam i kapitanam*, iss. 31. Saint-Petersburg, CNIIMF, 2004. 381 p.

The article submitted to the editors 08.11.2019

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Matonin Artemy Vladimirovich** – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Navigation; [tolbuxin@yandex.ru](mailto:tolbuxin@yandex.ru).

**Penkovskaya Ksenia Vyacheslavovna** – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Navigation; [kseniamgtu@rambler.ru](mailto:kseniamgtu@rambler.ru).

**Menshikov Vyacheslav Ivanovich** – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Doctor of Technical Sciences; Professor of the Department of Navigation; [menishikovvi@mstu.edu.ru](mailto:menishikovvi@mstu.edu.ru).

