

УДК 656.61

Бобыр В.А., Ворохобин И.И.
ОНМА

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.

Решение многих практических и теоретических задач по реализации судовых эргатических функций основывается на измерениях различных физических, химических и других параметров, как показателей действия законов природы. Результатом этих измерений является достижение целей судовых систем менеджмента – выполнения законодательных и регламентирующих требований каждой из систем. Эти требования представляются в виде эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов. Для эффективной реализации судовых эргатических функций необходимо установить чувствительность этих функций.

В теории систем менеджмента под чувствительностью функции понимается зависимость размера и значительности величины риска по отношению к изменениям параметров входных данных [1].

С точки зрения теории вероятностей чувствительность функции – это предел точности измерений, в пределах которого вероятностные состояния функции – величины ее энтропии неразличимы [2].

Чувствительность в теории систем управления характеризует влияние изменений параметров элементов на их свойства. Вариации элемента системы управления приводит к изменению его передаточной функции, а это в свою очередь вызывает изменение передаточной функции всей системы управления, а значит, в конечном итоге, и изменение величин, характеризующих ее состояние [3].

В математике чувствительность функции является малым параметром, обеспечивающим «хорошее схождение ряда».

Применительно к эргатической функции ее чувствительность означает такую минимально допустимую величину изменения показателя действия закона природы, которая практически не влияет на заданное допустимое изменение эксплуатационного или финансового показателя. Другими словами, изменения энтропии при реализации эргатической функции в пределах ее чувствительности практически незначимы. При этом от величины чувствительности эргати-

ческой функции зависит только начало отсчета, при котором вычисляется энтропия – ее начальное значение [2]. Это позволяет рассчитывать энтропию эргатической функции.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Вопросы, касающиеся характеристик эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов на морском флоте [4], а также точности измерений контролируемых параметров [5], освещены в литературе достаточно полно. Однако проблема взаимосвязи управляемых параметров - показателей действия экономических законов с контролируемыми параметрами – показателями действия законов природы в судовых эргатических функциях осталась нерешенной

Формулирование целей статьи и постановка задачи.

Цель статьи – определить функциональную зависимость показателей законодательных и регламентирующих требований (эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов) от показателей действия законов природы.

Задача статьи – на основе функциональной зависимости показателей законодательных и регламентирующих требований от показателей действия законов природы определить чувствительность судовой эргатической функции.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.

Под эргатической функцией понимается любое действие оператора, направленное на уменьшение энтропии связи элементов внутри эргатической системы и самих элементов, для достижения тех целей, ради которых эта система создана [6]. На морском флоте цели эргатических функций определяются системами менеджмента, внедренными на судах. Например, одной из целей системы менеджмента качества (стандарт ISO 9001:2008) является удовлетворение требований и ожиданий заказчика. Эти требования, называемые в системах менеджмента законодательными и регламентирующими, выражаются с помощью эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов.

По аналогии с производственными функциями, выражающими технологическую зависимость между выпуском продукции и затратами ресурсов, эргатические функции характеризуют зависимость

между показателями действия экономических законов и показателями действия естественных законов природы. Эту зависимость в общем виде можно представить уравнением:

$$P_{i,j} = \phi(q_{i,j}), \quad (1)$$

где $P_{i,j}$ – эксплуатационный или финансовый показатель экономического закона, определяемый i -ым показателем действия j -го закона природы; $\phi(q_{i,j})$ – аналитическое описание эргатической функции; $q_{i,j}$ – i -ый показатель действия j -го закона природы.

Выражение (1) представляет собой уравнение управления с помощью эргатической функции. К управляемому параметру относится показатель действия экономического закона, а к контролируемому – показатель действия закона природы.

Выражение для чувствительности эргатической функции находим в общем виде после дифференцирования (1) по P и q и перехода к конечным приращениям:

$$\Delta P_{i,j} = \phi'(q_{i,j}) \Delta q_{i,j}, \quad (2)$$

где $\Delta P_{i,j}$ – приращение эксплуатационного или финансового показателя экономического закона, определяемого i -ым показателем действия j -го закона природы; $\phi'(q_{i,j})$ – производная функции (1) по q -тому параметру; $\Delta q_{i,j}$ – приращение i -го показателя действия j -го закона природы.

Показатели действия законов природы контролируются в эргатических функциях путем их измерения. Эти измеряемые показатели являются случайными величинами, а их приращения в (2) по существу – погрешности измерений, которые представляют собой сумму систематических и случайных погрешностей.

Выражение для стохастической модели чувствительности эргатической функции для случая, когда она характеризует зависимость одного эксплуатационного или финансового показателя от показателя действия одного закона природы получаем в общем виде, как показано в [7], после замены Δq на погрешности измерений:

$$\Delta P = \phi'(q) (m + t\sigma), \quad (3)$$

где m – математическое ожидание погрешности измерений q -го показателя действия закона природы; σ – дисперсия погрешности измерений q -го показателя действия закона природы; t – действительное число для закона распределения, зависящее от заданной до-

верительной вероятности и величины доверительного интервала, выраженного в величинах стандартного отклонения.

Для случая, когда эксплуатационный или финансовый показатель является функцией от нескольких показателей действия нескольких законов природы, стохастическую модель чувствительности эргатической функции при независимых измерениях показателей действия законов природы, получим из (3) с учетом правил сложения математических ожиданий и дисперсий на основе [7]:

$$\Delta P_{i,j} = \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \phi'(q_{i,j}) \cdot m_{i,j} + t \sqrt{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B [\phi'(q_{i,j})]^2 \cdot \sigma_{i,j}^2}, \quad (4)$$

где $m_{i,j}$ – математическое ожидание погрешности измерений i -го показателя действия j -го закона природы; $\sigma_{i,j}$ – дисперсия погрешности измерений i -го показателя действия j -го закона природы; A – конечное множество числа показателей действия естественных законов природы в данной эргатической функции; B – конечное множество естественных законов природы в данной эргатической функции.

Математическое ожидание и дисперсия погрешности измерений показателей действия законов природы определяются на основе специальных наблюдений.

Поскольку на практике в судовых условиях одна и та же эргатическая функция может быть реализована различными операторами, то в ходе таких специальных наблюдений математическое ожидание погрешности измерения показателя действия закона природы m можно получить в виде постоянной поправки, учитывающей влияние систематических погрешностей всех операторов и рассчитываемой по формуле:

$$\alpha = m_{\Sigma} + m_{\text{сп}} + t \sqrt{\sigma_{\text{сп}}^2}, \quad (5)$$

где $m_{\text{сп}}$ – математическое ожидание погрешности определения m_{Σ} ; $\sigma_{\text{сп}}$ – стандартное отклонение погрешности определения m_{Σ} , которое для одних и тех же показателей действия законов природы, полученное по результатам измерений различными операторами и принимаемых за случайные величины равно:

$$m_{\Sigma} = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l m_l, \quad (6)$$

m_i – математическое ожидание погрешности измерения показателя действия закона природы l -тым оператором; $k = 1, 2, \dots, l$ – количество операторов.

При этом дисперсия погрешности измерений показателя действия закона природы, общая для всех операторов рассчитывается по известной формуле:

$$\sigma^2 = \frac{1}{l-1} \sum_{k=1}^l \sigma_k^2, \quad (7)$$

где σ_l^2 – дисперсия погрешности измерения показателя действия закона природы l -тым оператором.

После подстановки (5-7) в (4) получаем выражение для определения чувствительности эргатических функций на основе использования статистических оценок погрешностей измерения показателей действия законов природы различными операторами:

$$\begin{aligned} \Delta P_{i,j} = & \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \phi'(q_{i,j}) \cdot \left(\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l m_k + m_{\text{сн}} + t \sqrt{\sigma_{\text{сн}}^2} \right)_{i,j} + \\ & + t \sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^l [\phi'(q_{i,j})]^2 \cdot \sigma_{i,j,k}^2} \end{aligned} \quad (8)$$

Однако в подавляющем большинстве случаев на судне в эксплуатационных условиях при реализации судовых эргатических функций нет возможности для проведения специальных наблюдений по определению математического ожидания и дисперсии погрешности измерения показателей действия законов природы. В этом случае учет систематических и случайных погрешностей измерений показателей действия законов природы можно осуществлять следующим образом.

Как правило, показатели действия законов природы измеряются с помощью приборов. С одной стороны, у каждого прибора имеется класс точности, который указывается на шкале прибора. Тогда зависимость класса точности прибора от наибольшей систематической приведенной (обобщенной) относительной погрешности измерений данным прибором, получаем по формуле [8]:

$$K = \frac{\Delta}{\alpha_{\text{max}} - \alpha_{\text{min}}} \cdot 100, \quad (9)$$

где Δ - наибольшая обобщенная систематическая абсолютная погрешность измерения; α_{max} , α_{min} – значения верхнего и нижнего пределов рабочей части шкалы прибора.

Для приборов с равномерной шкалой значение α_{min} соответствует началу шкалы - нулю, а для приборов с неравномерной шкалой рабочая часть начинается с 25% начального диапазона измерения.

Из (9) получаем, что наибольшая обобщенная систематическая абсолютная погрешность измерения данным прибором равна:

$$\Delta = 0,01K(\alpha_{max} - \alpha_{min}). \quad (10)$$

Промышленностью выпускаются измерительные приборы с классами точности 0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 и 6,0. Например, для термометра с классом точности 0,2 и равномерной шкалой от 0°С до 100°С наибольшая систематическая абсолютная погрешность измерения будет равна 0,1°С.

С другой стороны, цены делений шкал измерительных приборов позволяют уменьшить влияние случайной составляющей погрешности измерений. В работе [9] показано, что для нормального закона распределения зависимость стандартного отклонения погрешности измерений от цены деления шкалы измерительного прибора для доверительной вероятности $P = 0,997$ выражается формулой:

$$\sigma = \frac{1,208}{t} c, \quad (11)$$

где c – цена деления шкалы измерительного прибора.

Это позволяет определить теоретическую технологическую возможность данной судовой эргатической функции для выполнения законодательных и регламентирующих требований к допустимому изменению показателя ΔP_{ij} , а также степень метрологического обеспечения с помощью приборов для измерения показателей действия законов природы. После подстановки (11) в уравнение (3) для ΔP имеем:

$$\frac{\Delta P}{\varphi'(q) \cdot c} - \frac{m}{c} = 1,208. \quad (12)$$

В формуле (12) m представляет собой систематическую погрешность измерений, определяемую из выражения (10) как Δ :

После подстановки (10) в уравнение (12) получаем:

$$\frac{\Delta P}{\phi'(q) \cdot c} - \frac{0,01K(\alpha_{\max} - \alpha_{\min})}{c} = 1,208 \quad (13)$$

Правое слагаемое в левой части выражения (13) является обратной величиной коэффициента вариации, которая применительно к судовой эргатической функции характеризует степень ее метрологического обеспечения.

Технологическую возможность для данной судовой эргатической функции обеспечить выполнение законодательных и регламентирующих требований системы менеджмента по заданному изменению одного эксплуатационного или финансового показателя в зависимости от каждого в отдельности показателя действия закона природы при имеющихся измерительных приборах получим из выражения (13):

$$\Delta P = \phi'(q) \cdot [0,01K(\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) + 1,208c] \quad (14)$$

Выражение для определения чувствительности эргатической функции при реализации изменений эксплуатационного или финансового показателя в зависимости от нескольких показателей действия нескольких законов природы в совокупности на основе характеристик измерительных приборов – класса точности и цены деления шкалы прибора получаем после подстановки (11) и (14) в (4):

$$\begin{aligned} \Delta P_{i,j} = & \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \phi'(q_{i,j}) \cdot [0,01K(\alpha_{\max} - \alpha_{\min})]_{i,j} + \\ & + 1,208 \sqrt{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B [\phi'(q_{i,j})]^2 \cdot c_{i,j}^2} \end{aligned} \quad (15)$$

где $K_{i,j}$ – класс точности измерительного прибора i -го показателя действия j -го закона природы; $(\alpha_{\max} - \alpha_{\min})_{i,j}$ – разность значений верхнего и нижнего пределов рабочей части шкалы измерительного прибора i -го показателя действия j -го закона природы; $c_{i,j}$ – цена деления шкалы прибора для измерения i -го показателя действия j -го закона природы.

В качестве примера рассмотрим задачу определения класса точности ареометров при определении массы наливного груза Q объемно-весовым способом на танкере. В этом случае:

$$Q = V \cdot \rho, \quad (16)$$

где V – объем груза, м^3 ; ρ – плотность груза, $\text{кг}/\text{м}^3$.

После дифференцирования (16) по Q и ρ , перехода к конечным приращениям и преобразований на основе (14) и (16) получим выражение для определения класса точности ареометра при доверительной вероятности $P = 0,997$:

$$K = \frac{\rho \cdot \delta_Q - 1,208c}{0,01(\alpha_{max} - \alpha_{min})}, \quad (17)$$

где δ_Q – относительная предельная допустимая погрешность определения массы наливного груза на танкере, %; c – цена деления шкалы ареометра, кг/м³; α_{max} и α_{min} – значения верхнего и нижнего пределов рабочей части шкалы ареометра, кг/м³.

Принимая, что средняя плотность нефти равна 850 кг/м³, относительная предельная допустимая погрешность определения массы наливного груза на танкере – 0,1%, цена деления шкалы ареометра – 0,5 кг/м³ и $\alpha_{max} - \alpha_{min} = 30$ кг/м³ [10], по (17) определяется класс точности ареометра – 0,82. Это соответствует 1-му классу точности. На практике для определения массы наливного груза на танкере именно с таким классом точности и используются ареометры.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

Таким образом, нами получено выражение для определения чувствительности эргатических функций, что позволяет:

- 1) обеспечить основу для оценки энтропии состояния эргатических функций и повышения их надежности, а также эффективности и результативности систем менеджмента на морском флоте;
- 2) принимать обоснованные решения при разработке новых технологий в вопросах обеспечения точности измерений;
- 3) подбирать измерительные приборы по классу их точности и цене деления их шкал для реализации эргатических функций таким образом, чтобы обеспечить заданную допустимую величину изменения эксплуатационных или финансовых показателей.

Однако, для внедрения в практику методов определения чувствительности эргатических функций необходимо дальнейшее научное обоснование и разработка, по крайней мере, методов оценки на судах:

- 1) энтропии эргатических функций;
- 2) эффективности и результативности систем менеджмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Standard ISO 31010:2009 «Risk Management - Risk Assessment Techniques». – London: ICS, 2009 – 90 p.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. – М.: Наука – Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 564 с.
3. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь / Лопатников Л.И. – М.: Дело, 2003. - 520 с.
4. Винников В.В. Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок) / Винников В.В. – Одесса: Феникс, 2011. – 944 с.
5. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
6. Климов Е.А. Введение в психологию труда / Климов Е.А. – М., Юнити. – 1998. – 249 с.
7. Бобыр В.А. Повышение точности измерений навигационных параметров / Бобыр В.А. // Судовождение: сб. научн. трудов / ОНМА. - Вып. 20. – Одесса: Издат-Информ, 2011. – 16-22 с.
8. Дикий Н.А. Основы научных исследований: теплоэнергетика / Дикий Н.А., Халатов А.А. – К.: Вища школа, 1985. – 223 с.
9. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Румшицкий Л.З. – М.: Недра, 1971. – 192 с.
10. Бобыр В.А. Определение количества наливного груза по судовым замерам / Бобыр В.А. // В сб. трудов ЦНИИМФ "Технология морской перевозки грузов", вып. 272. - Л.: Транспорт, 1982. - 74-83 с.