

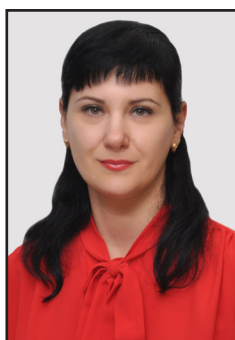


Численные методы в формировании морских технологических комплексов



Владимир ЗАСЛОНОВ
Vladimir V. ZASLONOV

Наталья КРАВЧЕНКО
Natalia A. KRAVCHENKO



Юрий МЕТРЕВЕЛИ
Yuri Yu. METREVELI

Заслонов Владимир Валерьевич – ассистент Государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия.
Кравченко Наталья Александровна – старший преподаватель ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия.
Метревели Юрий Юрьевич – старший преподаватель ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия.

Numerical Methods of Development of Marine Engineering Systems

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 11)

Активное освоение Мирового океана диктует необходимость интенсивно развивать морские технологические комплексы, предназначенные для решения научно-исследовательских, геолого-разведывательных, поисковых и других задач.

Авторы на основе анализа научных работ и исследований в этой области ставят целью найти оптимальную математическую модель повышения эффективности подобных комплексов на примере подводного беспилотного необитаемого аппарата (БНА).

Сделан вывод о том, что применение математическо-статистических методов позволяет правильно и равномерно распределить ресурсы (финансы, время, трудозатраты и т.п.), определить уровень инноваций. Отмечена важность иметь связанные с менеджментом качества решения в рамках требований (стандартов) единой системы, синхронно работающей на стадиях проектирования, обслуживания и эксплуатации морских технологических комплексов.

Ключевые слова: морские технологические комплексы, беспилотные необитаемые аппараты, математическая модель, физические принципы, система менеджмента качества, статистические данные, научные исследования, алгебраические решения.

В ходе исследования способов повышения эффективности формирования морских технологических комплексов [1] (на примере БНА – беспилотных необитаемых аппаратов), после анализа видов подводных аппаратов [2] и стандартов [3] возникла проблема создания математической модели для формирования и эксплуатации БНА [4]. Это необходимо для расчёта правильного и равномерного распределения возможных ресурсов (финансы, время, люди и др.), определения условий ремонта и эксплуатации [5]. Для того, чтобы подобрать адекватное математическое решение проблемы, был проанализирован ряд работ (исследований), в которых выделены некоторые математические аспекты рассмотрения технических систем [6–9].

К примеру, докторская диссертация «Разработка научно-технических и организационных основ повышения инновационного уровня судостроительного производства в обеспечение реализации

положений Морской доктрины РФ в области транспортных систем» [6] оценивает влияние основных компонентов глобализации экономики на технико-экономические показатели производственно-хозяйственной деятельности Морского промышленно-транспортного комплекса, опыт функционирования первой отечественной межотраслевой системы управления судостроительными проектами ПУСК. Одновременно автор уделит внимание структуре *CALS*-системы Морского комплекса, разработал математико-статистический метод определения показателей снижения трудоёмкости постройки судов за счёт повышения технического уровня производств верфи.

В первую очередь были определены цена инноваций, трудоёмкость, энергозатраты. Использованы известные алгоритмы математическо-статистического метода экспертных оценок, а именно:

$$\sum_1^{10} \left(r_i - \frac{1}{10} \sum_1^{10} r_i \right)^2 = S; \quad S_{\max} = \frac{1}{2} m^2 n (n^2 - 1);$$

$$W = \frac{6S}{S_{\max}}. \quad (1)$$

Коэффициент координации W и его статистическая значимость являются основой для всех дальнейших расчётов. После нахождения некоторых коэффициентов для оценки результатов инноваций в корпостроительном производстве были предложены уравнения регрессии и определены коэффициенты снижения трудоёмкости, затрат, повышения технического уровня, инновационной отдачи.

На основе результатов инновационного анализа отраслевых НТД по техническому уровню разработаны технико-экономические показатели инноваций, характеризующиеся уравнениями регрессии: снижения трудоёмкости постройки судов от повышения технического уровня производств верфи; затрат на инновации.

Далее для определения эффективности по различным пунктам $f(x)$ согласно предписанию метода наименьших квадратов служит функция

$$y(x) = \alpha + \beta(x), x \in [c, d], \quad (2)$$

где

$$\beta = \rho \frac{\sigma(y)}{\sigma(x)}, \quad \alpha = \bar{y} - \beta \bar{x},$$

$$\rho = \left(\frac{1}{n} \sum_1^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y} \right) / \sigma(x) \sigma(y) \rightarrow$$

$$\rho \in [-1, +1].$$

Мерой отклонения $f(x)$ от $y(x)$ является верхняя граница (*sup*) модуля разности $|f(x) - y(x)|$ от нормированного $\sigma(y(x))$.

Нормированная случайная величина

$$U_{\infty} = \sup_{x \in [c, d]} \frac{|f(x) - y(x)|}{\sigma(y(x))} / \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} + \frac{1}{n}} \quad (3)$$

подчинена функции распределения

$$U_{\infty} \in P(U_{\infty} \geq u) = \frac{\psi}{\pi} \exp(-u^2 / 2) +$$

$$+ \frac{2}{\pi} \int_0^{c \lg(\psi/2)} \exp\{(-1+x^2)u^2 / 2\} \frac{dx}{1+x^2} \quad u \geq 0, \quad (4)$$

где

$$\psi = \arccos \frac{1 + nCD}{\sqrt{(1 + nC^2)(1 + nD^2)}};$$

$$C = \frac{c - \bar{x}}{\sqrt{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}};$$

$$D = \frac{d - \bar{x}}{\sqrt{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (5)$$

Если статистика $\sigma(y(x))$ неизвестна, то мерой отклонения $|f(x) - y(x)|$ является случайная величина

$$U_{\gamma} = \frac{\sigma(y(x))}{S} U_{\infty},$$

$$S^2 = \frac{1}{\gamma} \sum_1^n (y_i - y(x_i))^2; \quad \gamma = n - 2. \quad (6)$$

Согласно соотношениям

$$U_{\gamma} = \sup_{x \in [c, d]} |f(x) - y(x)| / S = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} + \frac{1}{n}}. \quad (7)$$

Случайная величина U_{γ} подчинена функции распределения



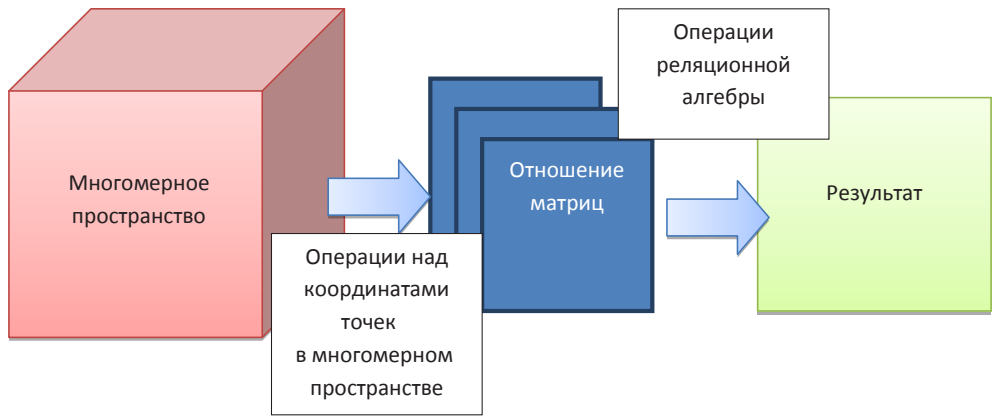


Рис. 1. Многомерный OLAP-куб для обработки БД.

$$U_\gamma \in P(U_\gamma \geq u) = \psi / 2 \left(1 + \frac{u^2}{\gamma} \right)^{-\gamma/2} + \frac{2}{\pi} \left(1 + \frac{u^2}{\gamma} \right)^{-\gamma/2} \cdot \int_0^{ctd(\psi/2)} \frac{dx}{(1+x^2) \left(1 + \frac{u^2 x^2}{u^2 + \gamma} \right)^{\gamma/2}}. \quad (8)$$

По значениям случайной величины $\cos \psi = \frac{1+nCD}{\sqrt{(1+nC^2)(1+nD^2)}}$ определяются три вида функции распределения величины U_γ .

$$\frac{nCD}{\sqrt{(1+nC^2)(1+nD^2)}} = 1, \quad (9)$$

$$= 0 \rightarrow U_\gamma \in S_\gamma(x).$$

Случайная величина U_γ подчинена функции распределения Стьюдента (t -распределение) с числом степеней свободы $n-2$:

$$U_\gamma \in P(|t_{n-2}| \leq \alpha) = P_d. \quad (10)$$

Далее находятся доверительные зоны с целью определения эффективности.

Другая диссертация «Разработка и исследование подсистемы поддержки принятия решения для сложного технического объекта» [7] посвящена проекту практико-производственных работ на основе гибридной электронной системы (ЭС) и интеллектуального анализа данных (ИАД) с применением средств автоматизированного проектирования. Для реше-

ния проблемы информационной перегрузки оператора предложена интеграция средств ИАД в ЭС, что демонстрирует инновационный подход к проблеме анализа базы данных (БД) при диагностировании сложных технических объектов.

На рис. 1 показан многомерный OLAP-куб, имеющий три измерения: диагностические параметры, номер цилиндра и время измерения. Основой ИАД являются многомерные OLAP-кубы данных (англ. *online analytical processing* – аналитическая обработка данных в реальном времени) – технология обработки БД. Цель создания кубов – оптимизация формирования БД и минимизация времени обработки запросов, извлекающих требуемую информацию из фактических данных с применением алгоритмов, позволяющих обнаружить важные закономерности.

Использование времени (даты) как параметра системы позволяет проводить ретроспективный анализ и строить прогнозы возникновения неисправностей. Главное преимущество методов ИАД в отличие от логических алгоритмов поиска («if – then») в БД заключается в том, что они не имеют проблемы перебора вариантов за приемлемое время. Таким образом, технология OLAP выступает своего рода интерфейсом доступа лица, принимающего решения, к многомерным, многосвязным данным в больших и сверхбольших БД, которые выдаются в заданной и удобной для анализа форме.

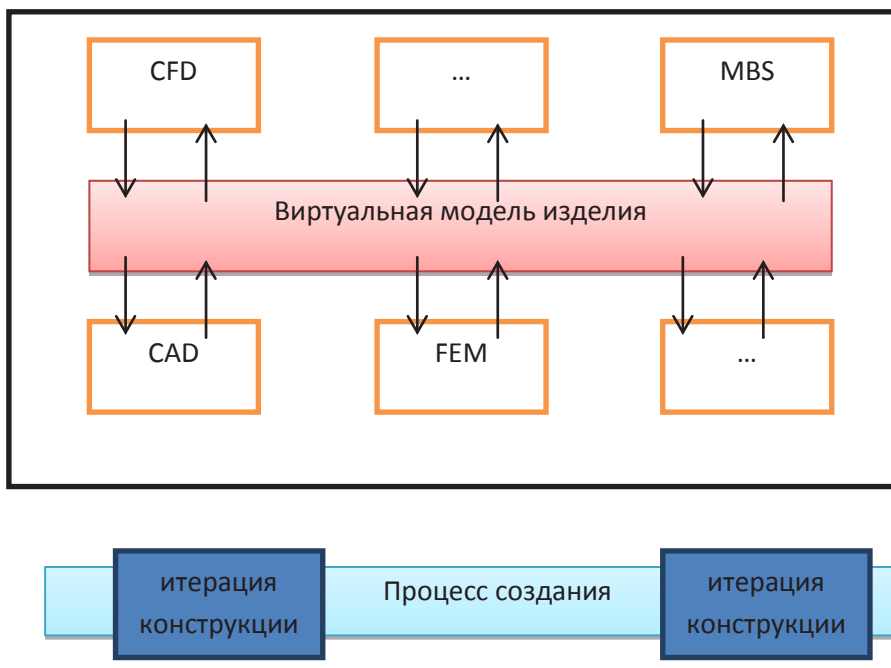


Рис. 2. Техническое состояние каждого узла определяется группой диагностических параметров с помощью ПО.

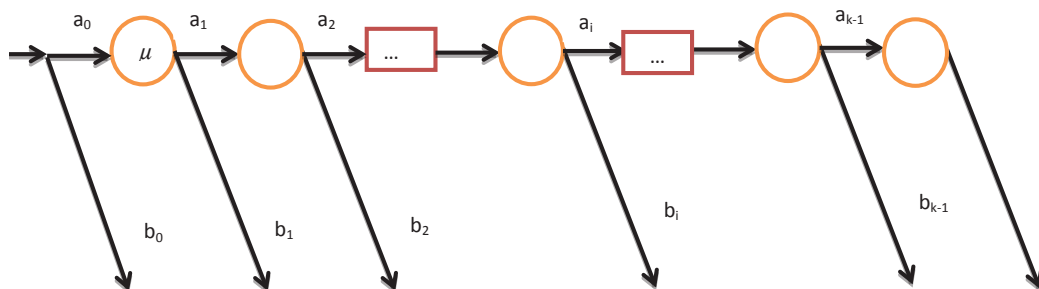


Рис. 3. Функции распределения длительности операций.

При эксплуатации сложных технических объектов производится непрерывный контроль параметров штатными системами мониторинга. Наиболее информативные параметры, отражающие техническое состояние объекта, названы диагностическими. При решении задач технического диагностирования объект рассматривается как «ящик»: входы — контролируемые параметры ($KП_n$), выходы — диагностические параметры ($ДП_k$). Техническое состояние каждого узла определяется группой диагностических параметров, например, различным

программным обеспечением (ПО), как показано на рис. 2 [5].

Рассмотрим ещё одну тему «Разработка методов повышения надёжности процесса», цель которой — оценка показателей, непосредственно обуславливающих эффективность системы в процессе её эксплуатации, а также такой важный вопрос, как надёжность [8].

Основные аналитические результаты автором формируются за счёт моделей технических систем. Их можно получить при аппроксимации произвольных операций, функции распределения длительно-





стей которых имеют преобразование Лапласа, а именно:

$$\bar{F}(s) = \frac{E(s)}{B(s)}, \quad (11)$$

где $E(s)$ и $B(s)$ — полиномы применяемых далее в проектировании степеней.

Класс функций распределения, обладающих рациональным преобразованием Лапласа, достаточно широк и включает экспоненциальное распределение, распределение Эрланга, гиперэкспоненциальное распределение и др.

Распределение Эрланга k -го порядка представляет собой k -кратную свертку экспоненциальных распределений со средним $1/k\mu$. Поэтому его можно интерпретировать как распределение операции, которое состоит из k последовательных подопераций, распределённых экспоненциально с параметром $k\mu$.

Использование метода этапов позволяет получить широкий класс функций распределения длительности операций, обладающих рациональным преобразованием Лапласа. Приведённая схема (рис. 3) иллюстрирует представление обобщенной функции распределения.

Для длительности операций параметрического отказа наиболее подходящим считается нормальное (гауссовское) распределение. Поскольку время безотказной работы изделия не может быть отрицательным, его теоретическое нормальное распределение будет сосредоточено на положительной полуоси, поэтому можно считать, что теоретические условия выполняются.

ВЫВОДЫ

При изучении математических подходов к решению поставленных проблем можно сделать заключение, что для повышения эффективности создания морских технологических комплексов уместно применить математическо-статистические методы для определения уровня инновации, трудозатрат, финансовых распределений и др. Причём необходимо закрепить это в рамках требований (стандартов) с целью повышения не только качества

БНА, но и системы менеджмента и качества (СМК).

Поскольку существующая СМК отражает действительность прошлого века, а для текущих разработок не существует единой системы создания, обслуживания, эксплуатации морских беспилотных аппаратов и технологических комплексов на разных этапах реализации проекта, обновление системы путём алгебраических решений и математических моделей актуально и неизбежно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заслонов В. В., Кравченко Н. А., Ходжаев С. С. Технические требования к морскому технологическому комплексу и его составным частям // Техника. Технологии. Инженерия. — 2017. — № 4. — С. 36–45.
2. Заслонов В. В. Анализ и характеристика БНА (беспилотных необитаемых аппаратов) // Вестник ГМУ им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2017. — № 1. — С. 24–29.
3. Заслонов В. В., Кравченко Н. А., Ходжаев С. С. Требования по обеспечению живучести и общей работоспособности морских технологических комплексов // Технические науки в России и за рубежом: Материалы VII междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). — М.: Буки-Веди, 2017. — С. 86–89.
4. Заслонов В. В., Кравченко Н. А. Развитие глубоководной роботизированной техники. История вопроса // Молодой учёный. — 2016. — № 7. — С. 85–88.
5. Заслонов В. В., Кравченко Н. В. Проблема применения математического моделирования в создании морских технологических комплексов // Молодой учёный. — 2016. — № 7. — С. 88–90.
6. Филимонов Г. Д. Разработка научно-технических и организационных основ повышения инновационного уровня судостроительного производства в обеспечение реализации положений Морской доктрины РФ в области транспортных систем (на примере морских перевозок жидких углеводородов) / Дис... док. техн. наук. — СПб., 2008. — 349 с.
7. Полковникова Н. А. Разработка и исследование подсистемы поддержки принятия решения для сложного технического объекта / Дис... канд. техн. наук. — Таганрог, 2015. — 167 с.
8. Майер А. Разработка методов повышения надёжности процесса эксплуатации вычислительных систем / Дис... док. техн. наук. — Тбилиси, 2008. — 134 с.
9. Kortelainen Juha. Semantic Data Model for Multibody System Modelling [Semantinen tietomalli monikappaledynamiikan mallitiedon hallinnassa]. Dissertation. VTT Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 766, 2011, 119 p. [Электронный ресурс]: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2011/P766.pdf>. Доступ 30.04.2018. ●

Координаты авторов: **Заслонов В. В.** — djdf3d@yandex.ru,
Кравченко Н. А. — ametista@bk.ru,
Метревели Ю. Ю. — pim1289@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 29.11.2017, актуализирована 11.12.2017, принята к публикации 22.01.2018.