

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ РАЗНОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ И МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

А.В. Алексеев (Санкт-Петербург)

**Введение.** При анализе технологических путей развития, оценке качества и эффективности современных сложных систем и объектов (СО) приходится учитывать большое число показателей качества, отражающих их системные свойства и функциональные возможности. Каждый из них оценивается с использованием также большого числа измеряемых, либо оцениваемых экспертами частных показателей качества (ЧПК). Без количественной их оценки в сочетании с оценкой групповых (ГПК) и других системных показателей качества и эффективности эксплуатации СО, как меры реализации проектного качества, практически не представляется возможным принимать обоснованные решения по определению системных и технологических свойств и путей развития СО, обосновывать проектные и принимать управленческие решения [1-5].

**Актуальность.** Проблема сложности современных СО (объектов морской техники, морских транспортных систем (МТМТС), средств и систем обеспечения безопасности мореплавания, средств и систем борьбы за живучесть корабля, судна, пунктов управления различного назначения, ситуационных центров, интегрированных автоматизированных систем в защищенном исполнении и многих других) ужесточение требований к качеству процессов их создания и эксплуатации обуславливают необходимость поиска инвариантных (неизменных по структуре и алгоритмам к специфике СО) решений по их модельному представлению, что в классе математических моделей представляет известную трудность.

Более того, особо востребованными сегодня следует считать математические модели и соответствующие базы данных и знаний, имеющие обобщенный характер, а в ряде случаев – типовую структуру и технологии реализации моделей, не зависящие от их специфических (позитивной и негативных) свойств СО, решаемых ими функциональных задач [5-7].

**Состояние проблемы.** Как показывает анализ предметной области [1-11], моделирование процессов функционирования СО приводит к многообразию разнородных моделей, сложности их системного анализа и сопоставления результатов использования, неоднозначности их верификации и оценки валидности. Это, в свою очередь, приводит к проблеме ранжирования по критериям качества и прогнозируемой эффективности представляемых вариантов обоснования проектных решений, а также возможности принятия неэффективных (тем более, неоптимальных) управленческих решений.

Практика альтернативного моделирования качества и эффективности СО, в том числе по методам анализа иерархий Т. Саати, анализа и синтеза при информационном дефиците профессора Н.В. Хованова, необоснованно, по нашему мнению, сдерживается необходимостью принятия заказчиками моделей критериальных предпочтений и необходимостью многовариантного числового моделирования с целью снижения степени неопределенности исходных данных.

**Перспективное направление решения проблемы.** Новые возможности и перспектива решения актуальной задачи системного характера открываются, по нашему мнению, при переходе к парадигме и концепции квалиметрического оценивания, полимодельного анализа, синтеза и оптимизации сложных эргатических (человеко-машинных) систем на основе соответствующих методов измерения, оценивания и управления их качеством [7-8,10-14].

В развитие [7,8,13,14] в статье приведены в обобщенном виде и структурированы основные методы и математические модели агрегирования векторных критериев оценки качества, оптимизации проектных решений СО, включая полимодельный квалиметрический метод системной оптимизации (ПКМ) объектов МТМТС, позволяющий с использованием обобщенного алгоритма оценки качества отдельных СО сформировать и использовать математическую модель оценки их системы.

### **1. Постановка задачи**

Качество, как мера соответствия СО своему предназначению, является базовым системным свойством и критерием, характеризующим совокупность его основных свойств и характеристик. Поэтому одной из первых и наиболее важных задач квалиметрического оценивания следует считать корректное построение системно целостного множества критериев оценки качества СО  $Q$  с соответствующими ЧПК  $q_n$  при их общем числе  $N$ .

На следующем этапе решения задачи производится агрегирование ЧПК в соответствующие  $G$  ГПК, которые далее агрегируются в  $M$  модельных показателей качества (МПК) с последующим их агрегированием в  $K$  комплексных показателей качества (КПК) для каждого из  $n$  отдельных СО.

Тем самым каждый из ГПК характеризует определенное свойство СО, а их векторное сложение позволяет выйти соответственно на МПК и КПК (агрегированный, обобщенный, интегральный) соответствующего СО и, тем самым, снизить сложность задачи анализа далее.

Аналогично далее  $N$  КПК множества СО агрегируются в  $R$  агрегированных сводных показателей качества (АСПК) для всего множества СО и далее – в  $P$  модельных сводных показателей качества (МСПК) и в единый полимодельный сводный показатель качества (ПСПК).

**Перспективность оценки системных показателей качества.** Получение подобных оценок позволяет на принципиально новом уровне решать задачи концептуального, исследовательского и конструкторского-технологического обоснования и проектирования эффективных и оптимальных проектных и эксплуатационных решений за счет специфики инвариантного моделирования СО.

Причем, переход от ЧПК к АПК на основе полимодельного (многомодельного) подхода к оценке качества каждого СО отдельно, а для их системы (группы) – от АСПК с соответствующей моделью индексов значимости каждого элемента в составе системы СО к МСПК и ПСПК обеспечивает наряду со снижением уровня сложности решения задачи квалиметрической оценки, анализа, синтеза альтернативных вариантов и их оптимизации возможность перехода от задач ситуационной оценки качества системы СО (ССО) к непрерывному наблюдению и прогнозированию динамики качества ССО, обоснованию и принятию решений по управлению ею.

Как следствие, именно КПК и ПСПК позволяют количественно оценивать, прогнозировать, контролировать и анализировать основные свойства СО и ССО, прогнозировать и синтезировать предпочтительные свойства, обосновывать оптимальные варианты построения, создания и эффективного использования / применения на всех стадиях жизненного цикла ССО.

**Систематизация методов агрегирования.** В результате обобщения и структурирования в докладе приведены в систематизированном виде основные методы и математические модели агрегирования векторных критериев оценки качества, оптимизации проектных решений объектов исследовательского проектирования, ССО, в который вошли: обобщенный метод оценки и анализа показателей качества с иерархической структурой и использованием специально введенного обобщенного

оператора свертки; методы и математические модели комплексного показателя качества ССО, их конкурентной способности и перспективности развития [8].

## 2. Модель оценки качества ССО

В основе предлагаемой математической модели лежит использование введенного в рассмотрение обобщенного оператора свертки критериев и соответствующих показателей качества. Это позволило в развитие ранее проведенного комплекса исследований представить математическую модель агрегирования векторных критериев оценки качества системы СО в виде базовых моделей КПК отдельного СО (объектов морской техники)  $Q_k$  и их системы (морских транспортных систем)  $Q$  типа [8]

$$Q_k = C_{k,M}^{t_M} \left\{ w_m, C_{m,G}^{t_G} \left[ w_g, C_{g,N}^{t_N} (w_n, q_n) \right] \right\}, \quad (1)$$

$$Q = C_P^{t_P} \left\{ w_p, C_{p,R}^{t_R} \left[ w_r, C_{r,K}^{t_K} (w_k, Q_k) \right] \right\}, \quad (2)$$

где:  $C_{g,N}^{t_N} (w_n, q_n)$  – обобщенный оператор свертки ЧПК  $q_n$  с общим их числом  $N$  в  $g$ -ый ГПК по алгоритму типа  $t_N$  для: аддитивного (линейного) алгоритма (А), впервые предложенного А.Н. Крыловым; мультипликативного алгоритма (М); гармонического алгоритма (Г) и других алгоритмов свертки (первый уровень свертки показателей качества СО);

$C_{m,G}^{t_G} [w_g, C_{g,N}^{t_N} (...)]$  – обобщенный оператор свертки при соответствующих индексах критериальной значимости  $w_g$  ГПК с их общим числом  $G$  в  $m$ -ый МПК (второй уровень свертки);

$C_{k,M}^{t_M} \{w_m, C_{m,G}^{t_G} [...]\}$  – обобщенный оператор свертки МПК в  $k$ -ый агрегированный (интегральный, обобщенный) КПК (четвертый уровень свертки).

Для системы СО в модели (2) приняты следующие обозначения:

$C_{r,K}^{t_K} (w_k, Q_k)$  – обобщенный оператор свертки КПК  $Q_k$  с общим их числом  $K$  в  $r$ -ый АСПК однородных/разнородных СО по алгоритму типа  $t_K$  (пятый уровень свертки);

$C_{p,R}^{t_R} [w_r, C_{r,K}^{t_K} (...)]$  – обобщенный оператор свертки АСПК  $C_{r,K}^{t_K} (...)$  с общим их числом  $R$  в  $p$ -ый МСПК разнородных/однородных СО по алгоритму типа  $t_R$  (шестой уровень свертки);

$C_P^{t_P} \{w_p, C_{p,R}^{t_R} [...]\}$  – обобщенный оператор свертки МСПК  $C_{p,R}^{t_R} [...]$  с общим их числом  $P$  в ПСПК системы СО по алгоритму типа  $t_P$  (седьмой уровень свертки показателей качества СО).

## 3. Реализация модели

Опыт выполнения комплексных оценок качества и их использования при исследовательском проектировании с применением представленного комплекса математических моделей (1) - (2) [5-8,10-12] и методики [13] показал высокую информативность и когнитивность получаемых данных, явную перспективность использования полимодельного квалиметрического метода при анализе и синтезе направлений концептуального и технологического развития, технического проектирования и соответствующих маркетинговых исследований.

Тем самым, приведенная комплексная математическая модель квалиметрического анализа ССО позволяет решать системные задачи концептуального, исследовательского и конструкторско-технологического синтеза, прогнозирования и обоснования эффективных и оптимальных структурно-функциональных проектных и

эксплуатационных решений за счет специфики инвариантного квалитметрического моделирования сложных и разнородных объектов.

**Практические свойства модели.** Эта возможность проявляется и реализуется в процессе вариантного исследовательского проектирования [1,2,5-14] за счет:

- возможности учета практически всей совокупности значимых показателей качества без ограничения их числа, содержания и каких-либо особенностей;
- масштабирования показателей системы СО и показателей их качества, соответствующей технологической идентичности (универсальности) процедур агрегирования и инвариантности к специфике функционирования СО;
- агрегирования ЧПК в ГПК с учетом индексов критериальной значимости (весовых коэффициентов) и их модели в виде соответствующей матрицы. Именно ГПК непосредственно отражают свойства отдельных СО и позволяют проектировщику на этапе синтеза и оптимизации управлять свойствами и характеристиками ССО за счет выбора соответствующих соотношений между ГПК и ЧПК, учета их влияния на КПК, АСПК, МСПК, ПСПК;
- агрегирования ГПК в МПК с учетом конкретной (частной) модели системы (матрицы) индексов критериальной значимости. Это позволяет при анализе КПК непосредственно анализировать и учитывать специфические свойства моделей критериальных предпочтений;
- агрегирования МПК в КПК (с учетом своей модели), который отражает комплексное (сводное, интегральное) свойство СО по основному предназначению, рассматриваемое на множестве вариантов модельного представления. При этом, анализ КПК и соответствующих системных свойств СО позволяет качественно и количественно выявлять лицам обосновывающим и принимающим решения устойчивые признаки СО (свойства), односторонне отличающие его от других объектов или характеризующие их общность;
- агрегирования КПК в АСПК, который отражает агрегированное системное (сводное, интегральное, обобщенное) свойство группы однородных или/и разнородных СО в целом с учетом «своей» модели критериальных предпочтений, каждый из которых отражает значимость данного СО в составе ССО;
- агрегирования АСПК из множества нескольких вариантов модельного представления в так называемый МСПК, отражающий специфику состава групп;
- агрегирования МСПК на множестве вариантов модельного представления в единый полимодельный АСПК (ПСПК) с учетом соответствующей модели и отражающий агрегированное системное (сводное, интегральное, обобщенное) свойство системы СО в целом с учетом своей модели критериальных предпочтений, каждый из которых отражает значимость группы (однородных или/и разнородных) СО в составе ССО на всех этапах жизненного цикла и с учетом специфики функционирования каждого из СО в составе их систем.

Подробно методика инвариантной оценки качества и эффективности объектов морской техники, морской инфраструктуры и морских транспортных систем приведена в [13], а многочисленные примеры реализации полимодельного квалитметрического метода системной оптимизации приведены в [14].

### **Заключение**

В результате проведения ряда поисковых и прикладных исследований обоснована целесообразность и возможность инвариантного модельного представления качества современных структурно сложных систем и объектов, а также мониторинга, прогнозирования и управления их качеством, включая процессы их структурной и функциональной динамики.

Представленный полимодельный квалиметрический метод системной оптимизации СО, комплексная математическая модель и методика ее реализации позволяют на качественно новом уровне решать задачи концептуального, исследовательского и конструкторско-технологического обоснования эффективных и оптимальных структурно-функциональных проектных и эксплуатационных решений за счет специфики инвариантного квалиметрического моделирования разнородных СО и ССО, к числу которых в полной мере могут быть отнесены объекты МТМТС.

### Литература

1. **Худяков Л.Ю.** Исследовательское проектирование кораблей. – Л.: Судостроение, 1980. – 324 с.
2. **Захаров И.Г.** Обоснование выбора. Теория практики. – СПб.: Судостроение, 2006. – 528 с.
3. **Преснухин В.В.** Тенденции развития базовых и критических военных технологий / Оружие наследников Победы. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2015, с. 76-83.
4. **Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с.
5. **Субетто А.И., Алексеев А.В.** Теория практики квалиметрического обеспечения развития морских автоматизированных систем /Актуальные проблемы морской энергетики: материалы седьмой Всероссийской межотраслевой научно-технической конференции в рамках Второго Всероссийского научно-технического форума «Корабельная энергетика: из прошлого в будущее». – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2018. С. 78 – 86.
6. Морская радиоэлектроника: Справочник / И.В. Соловьев, Г.Н. Корольков, А.А. Бараненко, М.Н. Баранов, А.В. Алексеев, Л.С. Васильев и др.; Под ред. В.А. Кравченко. СПб.: Политехника, 2003. – 246 с.
7. **Алексеев А.В.** Концептуальные аспекты управления развитием критических объектов морской техники и морской инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии. Научный журнал, № 2, Т.1, 2015, с. 47-57.
8. **Алексеев А.В.** Модель инвариантной оценки качества и эффективности объектов морской техники // Морские интеллектуальные технологии / Marine intellectual technologies, № 2, том 2, 2020, с. 53-60.
9. **Соколов А.А., Тюков А.П., Щербаков М.В., Яновский Т.А.** Многоуровневая архитектура системы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в ресурс обеспечивающих системах промышленных производств // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал, Том 7, 2019, № 1, с. 352-361.
10. **Алексеев А.В.** Математическая модель квалиметрического анализа, синтеза и оптимизации проектных и управленческих решений // Актуальные проблемы морской энергетики: материалы IX международной научно-технической конференции в рамках IV Всероссийского научно-технического форума «Корабельная энергетика: из прошлого в будущее». СПб.: СПбГМТУ, 2020, с. 354-359.
11. **Алексеев А.В., Смольников А.В., Сус Г.Н., Ушакова Н.П.** Когнитивные технологии системы поддержки принятия решений и управления борьбой за живучесть корабля, судна // Системы управления и обработки информации: научн.-техн. сб. / АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб, 2019. Вып. 3(46), с. 18-27.
12. **Алексеев А.В.** Математическая модель оценки качества и эффективности разнородных объектов / Материалы 12-й конференции «Информационные

технологии в управлении» (ИТУ-2020). – СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». СПб, ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2020.

13. **Алексеев А.В.** Методика инвариантной оценки качества и эффективности объектов морской техники и морской инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии / Marine intellectual technologies, № 1, том 2, 2021, с. 60-67 / № 1, part 2, 2021, p. 60-67.
14. **Алексеев А.В.** Примеры реализации полимодельного квалиметрического метода системной оптимизации объектов морской техники и морской инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии / Marine intellectual technologies, № 2, том 2, 2021 (в печати).