

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МТМТС

А. В. Алексеев (Санкт-Петербург)

Тенденции возрастания функциональной, архитектурной и алгоритмической сложности объектов морской техники и морских транспортных систем (МТМТС), соответствующая сложность их аналитического описания при анализе и синтезе качества МТМТС подтверждают тот ставший очевидным факт, что использование квалиметрического метода агрегирования показателей качества, особенно, с использованием гармонического алгоритма [1-4] является наиболее предпочтительным и целесообразным.

Рассмотрим в качестве одного из таких перспективных направлений весьма нетривиальную и сложную проблемную задачу как анализ, синтез и оптимизация системной избыточности при проектировании, строительстве и эксплуатации МТМТС. Причем, в методическом аспекте, позволяющем непосредственно применять аппарат оптимизации системной избыточности при решении практических задач в развитие [5].

Несмотря на широкий ряд многолетних исследований [6, 7], по-прежнему актуальным остается вопрос обоснованного управления избыточностью различных видов, включая информационную, функциональную, структурную, алгоритмическую, аппаратную. При этом вопросам влияния избыточности МТМТС на их качество, по нашему мнению, уделяется далеко не достаточное внимание. Именно ответ на вопрос целесообразности введения (например, для повышения помехоустойчивости связи), либо минимизации (например, для снижения ресурсной емкости МТМТС, её массогабаритных характеристик) избыточности следует искать во влиянии на системные показатели качества.

В этом контексте представляется целесообразным установить и исследовать взаимосвязь частных показателей избыточности и ей подобных на агрегированный показатель качества (АПК), модельные (МПК), сводные (СПК), групповые (ГПК) и частные (ЧПК) показатели качества МТМТС, а также выработать рекомендации по управлению ими и оптимизации, в том числе за счет минимизации системной избыточности.

**1. Понятие системной избыточности.** Дадим понятие системной избыточности в следующем виде с учетом известных ранее определений.

Системная избыточность (СИ) есть мера возможного сокращения числа элементов системы, внутрисистемных связей, их параметров и характеристик без потери качества системы по агрегированному показателю качества.

При этом под системой понимается совокупность элементов системы в их взаимосвязи, предназначенная для решения общих задач и достижения единых (общих) целей системы. Очевидным следствием данного определения системы следует считать требование квалиметрического оценивания и контроля решения общих задач и достижения единых целей [5-7].

Как известно, базовыми принципами системного подхода являются: 1. целостность систем; 2. структурность; 3. взаимосвязь системы и среды; 4. иерархичность; 5. множественность описания систем.

В этом контексте перейдем рассмотрению методических процедур оценивания и оптимизации системной избыточности применительно к объектам МТМТС.

**2. Алгоритм оптимизации СИ.** Для исследования влияния множества показателей системной избыточности (ПСИ) на значение агрегированного показателя

качества (АПК) и обеспечения возможности его максимизации предположим, что указанное условие выполняется для некоторого ЧПК с номером  $i_{Copt}$ .

Тогда алгоритм частной оптимизации параметров и характеристик МТМТС в аналитическом виде в несколько упрощенном варианте (для аддитивного алгоритма агрегирования показателей качества МТМТС) может быть представлен в виде [5-9]

$$i_{Copt} = \mathbf{ArgOpt} \left\{ \left[ \sum_{i=1}^I \alpha_i \times \left[ (1 + \mathbf{Min}(\delta_{q_i})) \times \mathbf{Max}(q_{i_{Min}}) \right] \right] \right\}, \quad (1)$$

Вербальная интерпретация данной модели может быть представлена следующим образом. При вариантной, многокритериальной и полимодельной оптимизации МТМТС номер квазиоптимального варианта МТМТС  $i_{Copt}$  определяется аргументом максиминной функции оптимизации  $\mathbf{ArgOpt}(\dots)$  для условий использования аддитивного алгоритма агрегирования частных показателей качества  $q_i$  при индексах критериальной значимости ЧПК (весовых коэффициентах)  $\alpha_i$  путем максимизации безизбыточных значений ЧПК  $\mathbf{Max}(q_{i_{Min}})$  и минимизации каждого из системных показателей качества  $\mathbf{Min}(\delta_{q_i})$ .

При переходе к гармоническому алгоритму агрегирования показателей качества (наиболее предпочтительному, как показано в [1, 4]) имеет место аналогичный характер связи  $i_{Copt}$  с показателями избыточности  $\delta_{q_i}$  и  $q_{i_{Min}}$ . Однако, в аналитической форме выражение, аналогичное (1), представляется весьма громоздким и не всегда разрешимым, в связи с чем процедуру оптимизации предпочтительнее реализовывать методом численного моделирования.

Наконец, в результате вариантного исследовательского проектирования номер оптимального варианта построения МТМТС  $j_{opt} \in [1, J]$ , где  $J$  – общее число вариантов построения МТМТС, может быть представлен следующим образом

$$j_{opt} = \mathbf{ArgOpt} \left\{ \text{ЛПР}, \mathbf{Extr}_{i=1}^I \left[ Q_{i_{Copt}}(\alpha_i, \delta_{q_i}, q_{i_{Min}}) \right] \right\}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{Extr}_{i=1}^I \left[ Q_{i_{Copt}}(\alpha_i, \delta_{q_i}, q_{i_{Min}}) \right]$  – оператор экстремума функции квазиоптимальных значений АПК при общем числе ЧПК  $I$ , на множестве которых лицо, принимающее решение (ЛПР), производит выбор оптимального варианта построения МТМТС  $j_{opt}$ .

При этом предполагается, что АПК  $Q$  может и определяется по одной из выбранных моделей, например, в соответствии с [7, 8]. При этом, алгоритм шкалирования данных, обеспечивающий переход от исходного значения ЧПК  $q_i$  к его нормированному значению  $q_i^H$ , позволяет учитывать как степень нелинейности шкалы оценок  $P$ , так и позитивный ( $h = 1$ ), либо негативный ( $h = -1$ ) характер связи ЧПК с агрегированным показателем качества  $Q$ , может быть представлен в обобщенном виде

$$q_i^H = \left\{ \frac{[q_i - \min(q_i)]^h \times [\max(q_i) - q_i]^{1-h}}{\max(q_i) - \min(q_i)} \right\} P, \quad (3)$$

где  $\max(q_i), \min(q_i)$  – соответственно максимальное и минимальное значения диапазона оценок ЧПК  $q_i$ .

**3. Интерпретация влияния системной избыточности на оптимизацию МТМТС.** При обеспечении условия неснижения значения АПК, как было указано выше, минимизация ПСИ  $\mathbf{Min}(\delta_{q_i})$  при максимизации ЧПК (в нормированном в соответствии с (2) – (3) виде)  $\mathbf{Max}(q_{i_{Min}})$  позволит (при наличии таких технических,

системных и организационных возможностей) минимизировать соответствующие ресурсные затраты. Это, естественно, приводит к минимизации структурной, функциональной, алгоритмической и другим видам сложности МТМТС. Именно в этом контексте минимизация ПСИ следует рассматривать в качестве одного из основных системных критериев оптимизации объекта анализа.

**4. Метод минимизации ПСИ.** В основу предлагаемого методического аппарата системной оптимизации по критерию минимизации ПСИ положена методология оценки (как показано выше), последующего исследовательского мониторинга (многовариантного исследовательского проектирования) и контроля АПК (в обеспечение условия неснижения его заданного значения). А также оценки и анализа производных показателей – конкурентной способности (КС) и перспективности развития (ПР) объекта анализа МТМТС, в том числе учитывающих соответствующие ресурсные показатели в соответствии с [2, 9, 10, 11].

Представленный метод минимизации ПСИ позволяет переходить и рассматривать одновременно задачи инновационной и инвестиционной оптимизации, т.е. системно целостно решать задачу оптимизации объекта анализа в целом по критерию минимизации ПСИ.

**5. Реализация метода.** Представленный подход и соответствующие методические положения были апробированы и реализованы применительно к комплексному моделированию и исследовательскому проектированию судовых автоматизированных информационных систем класса СПРУ (систем поддержки принятия решений и управления) как результата развития АСППР и других вариантов СИП [10, 11, 12].

Рассматривать более детально предлагаемые метод и методику вряд ли целесообразно, чтобы не утратить системную значимость базовых процедур (1) – (3). Для ознакомления с детальной реализацией могут быть рекомендованы программные комплексы КРОПУР с АСОР [12-16], представленные в среде открытого программирования Excel для обеспечения возможности доступного анализа каждой процедуры.

Обзор опыта выполненных разработок показывает, что применение ПСИ как меры оптимальности технического решения класса СПРУ, позволяет успешно анализировать и совершенствовать технологические решения в метрике системной избыточности с одновременной оценкой и изысканием возможностей повышения КС и ПР. При этом, как показали ранее проведенные исследования, целесообразно использовать «промежуточные» критерии избыточности по ЧПК, ГПК, СПК, МПК.

Результаты количественного сравнительного анализа подтвердили перспективность минимизации ПСИ для результативного решения задачи системной оптимизации, прежде всего, сложных эргатических систем. Это объясняется критичностью ПСИ именно для сложных объектов, проблематичностью изыскания путей их оптимизации в виду сложности соответствующих системных взаимосвязей.

Более того, исследовательский мониторинг ПСИ позволяет количественно обосновывать, ранжировать и оптимизировать управленческие инновационные и инвестиционные решения.

**Заключение.** Выполненный анализ показал, что системная избыточность современных сложных МТМТС может рассматриваться как мера (индикатор) оптимальности технического решения и чем она больше, тем менее совершенен принятый комплекс проектных решений. С другой стороны, границей её допустимой минимизации следует считать неснижение заданного значения агрегированного показателя качества МТМТС, к которому, как известно, сводится множество ЧПК, НПК, СПК, МПК.

Это важное свойство системной избыточности позволяет рекомендовать разработанный метод минимизации показателей системной избыточности к самому широкому внедрению и интеграции в существующие автоматизированные системы управления проектными данными, исследовательского, конструкторского проектирования и оптимизации проектных решений и, прежде всего, при анализе и проектном обосновании критических объектов, включая МТМТС, корабли и суда ВМФ.

### Литература

1. **Алексеев А.В.** Концептуальные аспекты управления развитием критических объектов морской техники и морской инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии, 2015, № 2 (28), т. 1, с. 47-57.
2. **Алексеев А.В., Антипов В.А., Бобрович В.Ю., Смольников А.В.** Оптимизация системных решений при управлении живучестью судовых автоматизированных систем и комплексов на основе анализа их конкурентной способности // Материалы 9-й конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2016). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 4-6.10.2016 г. Спб., ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016.
3. **Алексеев А.В., Кузнецов В.В., Равин А.А., Согонов С.А., Хруцкий О.В.** Оптимизация системного управления ОМТИ: теория практики // Труды СПбГМТУ, выпуск 5 (Труды ЛКИ. Выпуск 268), 2018, с. 65-69.
4. **Алексеев А.В.** Квалиметрическое обеспечение организации принятия проектных и управленческих решений в сложных системах // Системный анализ при создании кораблей, комплексов вооружения и военной техники. Тематический сборник. Выпуск 15. СПб.: «Моринтех», 2008, с. 67-75.
5. **Алексеев А.В.** Системная избыточность как мера оптимальности технического решения // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2018). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018.
6. **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.: СПбГМТУ, 2018, с. 78-86.
7. **Алексеев А.В.** 100 лет теоремы отсчетов: исследования, обобщения и приложения // Морские интеллектуальные технологии. Научный журнал № 2 (28) Т.1, 2015 (ISSN 2073-7173), с. 58-70.
8. **Алексеев А.В.** Технология системного мониторинга и интеллектуальной поддержки управления безопасностью критических объектов - <http://elibrary.ru/item.asp?id=26338682>, с.215-219.
9. **Алексеев А.В., Смольников А.В.** Интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений при борьбе за живучесть морских объектов повышенного риска // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2012). СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. С. 269-275.
10. **Алексеев А.В., Антипов В.В., Бобрович В.Ю., Смольников А.В.** Концепция и технология ранговой партнерской сертификации объектов морской техники и инфраструктуры // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2014). ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Спб., 7-9.10.2014 – СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С. 29-34.
11. **Алексеев А.В., Антипов В.А., Бобрович В.Ю., Евсеенко С.М.** Реализация обобщенного метода квалиметрического анализа факторов развития и технология

обеспечения управления развитием критических морских объектов // Морские интеллектуальные технологии. Научный журнал № 1 (31) Т.1, 2016, с. 27-37.

12. **Алексеев А.В., Антипов В.В., Бобрович В.Ю., Смольников А.В.** Развитие методологии ОМКАР и технологии обеспечения управления развитием критических морских объектов // Региональная информатика (РИ-2016). Юбилейная XV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2016)». Санкт-Петербург, 26-28 октября 2016 г.: Материалы конференции. \ СПОИСУ. СПб, 2016, с. 428-429.
13. **Алексеев А.В., Левадный И.В., Мусатенко Р.И., Смольников А.В., Сус Г.Н., Ушакова Н.П.** Технология и программный комплекс системы поддержки принятия решений и управления судоводителя в сетевом исполнении (ТиПК «СПРУ-С») // Региональная информатика (РИ-2016). Юбилейная XV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2016)». Санкт-Петербург, 26-28 октября 2016 г.: Материалы конференции. \ СПОИСУ. СПб, 2016, с. 425-426.
14. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** Анализ моделей конкурентной способности ОМТИ в защищенном исполнении // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017). Юбилейная X Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 1-3 ноября 2017 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. СПб. 2017, с. 323-324.
15. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В., Мусатенко Р.И.** Прогнозирование успешности инновационных проектов развития из прошлого в будущее // 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. 411-415.
16. **Алексеев А.В.** Технологии минимизации избыточности при мониторинге и управлении информационной безопасностью критических объектов // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2015). IX Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 28-30 октября 2015 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. СПб., 2015, с. 227-228.
17. **Алексеев А.В.** Современная теория оптимизации информационной избыточности дискретного представления процессов при мониторинге и управлении информационной безопасностью объектов морской техники // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2015). IX Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 28-30 октября 2015 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. СПб. 2015, с. 259-260.