

А. В. АЛЕКСЕЕВ

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕТИЧЕСКАЯ КВАЛИМЕТРИЯ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ И МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Тенденция роста сложности современных объектов проектирования, ужесточение требований на всех этапах жизненного цикла обуславливают особую необходимость поиска инвариантных технологических решений, их системного анализа и комплексного моделирования, включая количественный анализ конкурентной способности, перспективности развития. На основе полимодельного квалиметрического метода системной оптимизации объектов проектирования приведены примеры квалиметрического синтеза автоматизированных систем управления в защищенном исполнении, интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Введение. В развитие ранее представленных математической модели, методики и примеров инвариантной оценки качества, и эффективности объектов исследовательского проектирования ОИП на основе активно развиваемого сегодня полимодельного квалиметрического метода (ПКМ) [1] в контексте известных методов квалиметрии моделей и полимодельных комплексов [2], рассмотрим различные по структуре и специфике функционирования варианты решения проблемы квалиметрического синтеза или в интерпретации профессора А.И. Субетто – синтетической квалиметрии [3] ОИП, обоснования их свойств и характеристик, включая особо востребованный сегодня количественный анализ их конкурентной способности (КС) и перспективности развития (ПР).

Сегодня в условиях ярко выраженной тенденции роста сложности современных объектов информатизации, включая объекты морской техники и морской инфраструктуры (ОМТИ), ужесточения требований к интеллектуальному качеству процессов их создания и эксплуатации на всех этапах жизненного цикла, цифровой трансформации и обеспечения импортозамещения особую актуальность приобретает необходимость поиска технических и технологических решений, инвариантных к специфике условий эксплуатации [4]. Соответственно, их системного анализа и комплексного моделирования их функционирования, исследовательского проектирования, обоснования их свойств и характеристик, включая количественный анализ конкурентной способности и перспективности технологического развития.

Как показывают результаты исследований, это позволяет оценивать практические возможности, свойства, преимущества и ограничения ПКМ, формулировать соответствующие рекомендации по его использованию, прежде всего, применительно к задачам системного анализа проектного качества и эксплуатационной эффективности (как меры реализации проектного качества) объектов критической инфраструктуры, включая корабли и их соединения, интегрированные системы боевого управления, другие автоматизированные системы в защищенном исполнении (АСЗИ) и многие другие объекты ОМТИ.

В современных условиях лавинообразного роста сложности ОМТИ эта проблема представляется нам одной из весьма сложных, но одновременно самых востребованных и значимых для решения задач концептуального и исследовательского проектирования [5].

Постановка задачи системного анализа ОМТИ. В основе анализа системных свойств и проектного качества разнородных вариантов ОМТИ, как объектов исследовательского проектирования, лежит количественная оценка и анализ агрегированного (системного, обобщенного, интегрального) полимодельного системного показателя качества (ПСПК) системы ОИП, оцениваемого по алгоритму свёртки k -ых комплексных показателей качества (КПК) в r -ые однородные агрегированные системные и R разнородные системные показатели качества (АСПК), p -ые модельные и ПСПК системы ОИП вида

$$Q = C_P^{tP} \left\{ w_p, C_{p,R}^{tR} [w_r, C_{r,K}^{tK} (w_k, Q_k)] \right\}, \quad (1)$$

где: Q_k – комплексный k -ый показатель проектного качества (КПК) отдельного ОИП (при эксплуатации – КПЭ), оцениваемый по алгоритму свёртки n -ых частных показателей качества (ЧПК) в g -ые групповые (ГПК), m -ые модельные (МПК) вида

$$Q_k = C_{k,M}^{t_M} \left\{ w_m, C_{m,G}^{t_G} \left[w_g, C_{g,N}^{t_N} (w_n, q_n) \right] \right\}; \quad (2)$$

$C_{g,N}^{t_N}$, $C_{m,G}^{t_G}$, $C_{k,M}^{t_M}$, $C_{r,K}^{t_K}$, $C_{p,R}^{t_R}$, $C_P^{t_P}$ – частные операторы свертки соответственно ЧПК в ГПК, ГПК в МПК, МПК в КПК, КПК в АСПК, АСПК в ПСПК при соответствующих индексах критериальной значимости (ИКЗ, весовых коэффициентах) w_n , w_g , w_m , w_k , w_r , w_p и соответствующих типах (в отличии от показателей степени) алгоритмов агрегирования t_N , t_G , t_M , t_K , t_R , t_P , например, типа аддитивного алгоритма академика А.Н. Крылова, типа мультипликативного алгоритма Ф. Нэша, типа среднестепенного алгоритма, типа гармонического алгоритма (наиболее предпочтительного, как показано в ряде исследований).

Постановка задачи синтетической квалиметрии ОМТИ. В основе синтеза и оптимизации системных свойств и проектного качества системы ОМТИ (их синтетической квалиметрии) лежит метод ПКМ системной оптимизации ОИП, существо которого сводится к интерактивному использованию по одним и тем же исходным данным ряда альтернативных методов (типа гармонической оптимизации, эвристических решений, корневой чувствительности, анализа-синтеза-оптимизации решений, максимизации ПСПК $\text{Max}_v Q(\dots)$, максимизации конкурентной способности, максимизации перспективности развития и других, ряда альтернативных моделей предпочтений, ряда вариантов условий функционирования, ряда вариантов агрегирования получаемых оценок КПК, АСПК, ПСПК с их ранжированием, интерпретацией и принятием итогового решения ЛПР из множества квазиоптимальных решений $\{J_{\text{Copt},v}\}$ с учетом предложений лиц, обосновывающих решения (ЛОР), и лиц, исполняющих решения (ЛИР), по выбору оптимального варианта J_{Opt} из множества вариантов $\{j\}$ в соответствии с алгоритмом вида

$$J_{\text{Opt}} = \underset{j}{\text{ArgMax}}[\text{ЛПР}, \text{ЛОР}, \text{ЛИР}, \underset{v}{\text{Max}} Q(J_{\text{Copt},v}, \text{КС}, \text{ПР}, \text{КСС}, \text{ПРС}, \dots)]. \quad (3)$$

Предмет исследований. Предлагаемый доклад посвящен результатам системного анализа с использованием программных комплексов поддержки принятия проектных решений «АСПИД», «MPRIORITY», «АСОР», «КСПР», «КаСис», «Товсь» ряда разнородных примеров, включая ОМТИ, от сравнительного анализа информационно-аналитических и интеллектуальных систем поддержки принятия решений при решении задач борьбы за живучесть корабля, судна до сравнительного анализа системных свойств круизных лайнеров, а также результатов синтетической квалиметрии обоснования путей повышения проектного качества данных ОМТИ.

Полученные результаты и выводы. Рассмотрены конкретные примеры реализации ПКМ системной оптимизации ОИП применительно к ОМТИ классов ледокол, большой противолодочный корабль, атомная многоцелевая подводная лодка, соединение кораблей охраны водного района, двигатель внутреннего сгорания, судовая энергетическая установка, система управления оружием и техническими средствами, электроэнергетическая система, морская интегрированная система управления в защищенном исполнении, автоматизированная интеллектуальная система поддержки принятия решений операторами, в том числе по выбору автомобиля в классе «Кроссовер», результаты анализа которых приведены на рис. 1.

«КСПР-18.5»: Оценка конкурентной способности (КС) и перспективности развития (ПР) объектов индустрии в кризисный период с использованием системного анализа						
Наименование объектов сравнения (анализ):						
Основные конкурентные свойства 10 альтернативных вариантов, включая субоптимальный (№ 9), по отношению к варианту для сравнения (вариант № 4)	1. Производительность/мощность/скорость, %	177,9	150	143	150	111,7%
	2. Технологичность/надежность/качество, %	100,0%				100,0%
	3. Надежность/качество/надежность/качество, %	101,7%				101,7%
	4. Перспективность/качество/надежность/качество, %	97,0%				97,0%
Оценка КИ+ и вариативной оптимизации объектов анализа (ОА): -0,00%						
Критерии оценки качества/Объект сравнительного анализа (ОСА)	ОСА	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	ОСА	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Показатели:						
ГПК: 1. Энергоэффективность, %	1.1. Минимум двигателя, л.д.	150	143	150	143	150
	1.2. Средний расход топлива, л/100 км	7,3	7,4	8,3	8	7,3
ЧПК: 1.3. Скорость максимальная, км/ч	1.4. Прямая линия	185	171	180	185	191
	1.5. Точность, С/100, км/ч	165	171	165	171	165
2. Объем бака, л	2.1. Минимальный, л	425	425	415	387	508
	2.2. Максимальный, л	680	680	685	1200	1200
3. Трансмиссия, %	3.1. Автоматическая, %	77,0	77,0	100,0	100,0	77,0
	3.2. Привод передний, %	1	1	2	2	1
4. Техническая экономичность, %	4.1. Расход топлива в городе, л/100 км	9,2	9,2	11,2	10,1	9,1
	4.2. Расход топлива на трассе, л/100 км	6,2	6,3	6,7	6,7	6,3
5. Ресурсная прочность, %	5.1. Эксплуатационная надежность, %	90	90	90	90	90
	5.2. Средний ресурс двигателя, км	185	201	182	201	201
6. Комфортность, %	6.1. Экономичность, %	90	90	90	90	90
	6.2. Надежность, %	90	90	90	90	90
7. Технологичность обслуживания, усл.	7.1. Сложность эксплуатации, %	90	90	90	90	90
	7.2. Стоимость ремонта, %	90	90	90	90	90
8. Безопасность эксплуатации, %	8.1. Безопасность эксплуатации, %	90	90	90	90	90
	8.2. Число падений безопасности, шт	2	2	2	2	2
9. Экономичность владения, %	9.1. Цена (маркетинговая)	107,2	97,2	100,0	97,2	
	9.2. Цена (бюджетная), руб	1070	1150	1300	1257	1300
10. Эстетика, дизайн и др. параметры, %	10.1. Эргономичность, %	90	90	90	90	90
	10.2. Дизайн, класс комфорта, %	90	90	90	90	90
Конкурентная способность (КС), ст.	КС	99,3	99,3	100,0	100,0	100,0
	КС	99,3	99,3	100,0	100,0	100,0
Перспективность развития (ПР) объектов анализа: 1,30%						

Рис. 1. Результаты вариантной оптимизации ОИП типа «Автомобиль» класса «Кроссовер»

Критерий и размерность оценки фактора	Важность	Кач-во, %	Требования	Дата:
1.1. Техническая готовность к использованию, %	45%	87,8	88,1	0,70%
1.1.1. ТГ корпуса, %	15%	80	81,7	7%
1.1.2. ТГ оружия, %	30%	90	92,1	5%
1.2. ТГ технических средств (ТС), %	15%	87	88,5	5%
1.4. ТГ средств БЖ, %	25%	90	87,0	8%
1.5. Состояние уровней ФП (защ и окр), %	10%	90	89,8	5%
1.6. Укомплектованность О-ЗИП-МС, %	5%	85	84,2	5%
2. Исправность и грамотная эксплуатация корпуса, ОИТС, качество ЭД%	25%	85,0	84,9	0,82%
3. Своевременность и качество технического обслуживания (ТО), %	20%	88,2	89,3	1,08%
3.1. ППТО (планово-предупр. ремонт), %	25%	85	86,8	5%
3.2. ППР (планово-предупр. ремонт), %	25%	88	90,3	8%
3.3. МТР (междоходовые), %	20%	90	91,3	5%
3.4. НР (навигационные ремонт), %	20%	90	88,6	5%
3.5. Обслуживание по тех. состоянию, %	10%	90	90,8	7%
4. Сохраняемость корабля, %	5%	88	87,8	0,34%
5. Другие показатели ТГ корабля, %	5%	90	89,9	0,28%
АПК "Ожидаемая ТГ корабля" (ТГ), % :	87,3			4,26%
АПК "Фактическая ТГ корабля" (ТГф), % :			87,60	2,46%
Надежность оценки АПК (среднее по 30 реализациям) коэффициента вариации Kvar_АПК=100*СКО/МО, % :	0,0013%	0,28%	0,60%	Дата:
Эксперты: Алексеев А.В., Прудниченко П.С.				

Рис. 2. Пример автоматизированной оценки технической готовности корабля

Рассмотренные свойства и характеристики (ЧПК) 10 альтернативных вариантов автомобилей (на рисунке приведены лучшие 5 из них) с использованием автоматизированной системы поддержки принятия решений «КСПР-18.5» агрегированы в 10 групповых показателей качества и 4 системные свойства при соответствующих ИКЗ (%) с оценкой конкурентной способности по отношению к варианту 4 и перспективности развития субоптимального варианта 9 к варианту 2 (бренд Renault).

Как следует из приведенных результатов оценки вариант «9.Renault Arkana Prima» имеет конкурентное превосходство в 0,6 % к варианту «4.Renault Kartur» и 4,31 % к варианту «10.MITSUBISHI CLIPSE CROSS».

Вместе с тем, незначительный разброс КС между вариантами при оценке по более, чем 30 ЧПК и 10 ГПК указывает на высокий уровень технологического развития рассматриваемых вариантов, выбор оптимального из которых без учета их специфических особенностей на базе квалиметрических оценок практически не возможен, а, тем более, поиск и обоснование вариантов их перспективного развития.

Другой пример реализации ПКМ приведен на рис. 2 при оценке технической готовности корабля к выходу в море одновременно с моделированием погрешности оценки Агрегированного Показателя Качества, получаемых результатов в зависимости от погрешности ввода исходных данных (типа учета влияния «Человеческого Фактора» порядка 5 %), которая составила по критерию коэффициента вариации АПК порядка 0,6 %.

Заключение. Приведенные примеры реализации системного анализа и синтетической квалиметрии подтвердили высокую исследовательскую результативность и перспективность развития предложенной технологии и реализации ПКМ инвариантной оценки, анализа, синтеза и системной оптимизации разнородных объектов исследовательского проектирования.

Следует особо отметить, что инвариантность разработанной технологии ПКМ к решаемым задачам и условиям функционирования позволяют рекомендовать его к широкому применению

при исследовательском, техническом и технологическом проектировании, а также при оценке и мониторинге эффективности разнородных организационно-технических объектов, но, прежде всего, объектов критической инфраструктуры.

Значимость получаемых при этом количественных оценок системных свойств, проектного качества и эксплуатационной эффективности разнородных объектов исследовательского проектирования не вызывает сомнений, а возможность их квалиметрического синтеза с переходом к структурному синтезу отдельных объектов и их систем позволяет на качественно новом уровне решать задачи обеспечения, мониторинга и контроля требуемого уровня качества и устойчивости управления сложными организационно-техническими системами. Но еще более значимым следует считать возможность перехода к задачам концептуального, исследовательского и конструкторско-технологического обоснования эффективных и оптимальных структурно-функциональных проектных и эксплуатационных решений разнородных объектов за счет специфики инвариантного квалиметрического моделирования сложных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алексеев А.В.** Примеры реализации полимодельного квалиметрического метода системной оптимизации объектов морской техники и морской инфраструктуры. *Морские интеллектуальные технологии/Marine intellectual technologies*, № 2 (52) том 3, 2021, с. 69-81.
2. **Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с.
3. **Субетто А.И.** Сочинения. Ноосферизм: В 13 томах. Том девятый: Синтетическая квалиметрия. Книга 1 / Под ред. Л.А. Зеленова. С.-Петербург – Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова, 2011. 620 с.
4. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** Квалиметрическая концепция цифровизации управления инновационным и инвестиционным развитием предприятия. *Региональная информатика (РИ-2020)*. XVII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2020)». Санкт-Петербург, 28-30 октября 2020 г.: Материалы конференции. СПОИСУ. СПб, 2020, с. 158-160.
5. **Согинов С.А., Алексеев А.В., Максимова М.А., Равин А.А., Хруцкий О.В.** Прорывные технологии морских автоматизированных систем в защищенном исполнении. *Актуальные проблемы морской энергетики: материалы одиннадцатой международной научно-технической конференции*. СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2022, с. 69-77.

A.V.Alekseev (Saint Petersburg State Maritime Technical University, Saint Petersburg)

System analysis and synthetic qualimetry of marine equipment and marine infrastructure facilities

The tendency to increase the complexity of modern design objects, tightening requirements at all stages of the life cycle make it necessary to find invariant technological solutions, their system analysis and complex modeling, including quantitative analysis of competitive ability and development prospects. Based on the multi-model qualimetric method of system optimization of design objects, examples of qualimetric synthesis of automated control systems in protected design, intelligent decision support systems are given.

Автор готов представить текст на английском языке для сборника материалов мультиконференции, который будет подан для индексирования в Scopus.