

# СИСТЕМНО-КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**А.В. Алексеев, А.В. Михальчук**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет*  
190121 Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., 3,  
E-mail: [iapbgks@bk.ru](mailto:iapbgks@bk.ru)

**Ключевые слова:** цифровизация качества, сложный технический объект, целевой показатель, синтетическая квалиметрия, интеллектуализация управления, метаданные.

**Аннотация:** На основе системно-кибернетической интерпретации процессов моделирования сложных технических объектов (СТО) рассмотрена задача синтетической квалиметрии их конкурентной способности и перспективности развития. С этой целью предложена парадигма системно-кибернетического синтеза комплекса целевых показателей качества на основе ранжирования векторов целей и их скаляризации в пространстве индексов критериальной значимости (ИКЗ) с оценкой и ранжированием индексов корневой чувствительности (ИКЧ). Апробация предложенного подхода подтвердила возможность минимизации избыточности используемых данных без существенной потери адекватности модели оценки, синтеза и оптимизации качества, конкурентной способности и перспективности развития СТО.

## 1. Введение

Среди ключевых направлений технологического развития государства, общества, личности с 2017 г. все больше выделяются цифровизация, автоматизация и интеллектуализация управления, в том числе с элементами искусственного интеллекта, а также роботизация технологических процессов и управления [1-3].

Бурное развитие и освоение информационных и коммуникационных технологий, появление разнообразных классов киберфизических систем (КФС) привели к существенному росту числа контуров управления СТО, тенденции к их сопряженному взаимодействию между собой и внешней средой [2-4].

Для обоснования перспективных путей развития и освоения КФС и СТО с учетом стремительного роста их информационной и технологической сложности практически безальтернативным средством при соответствующем росте требований остаются модели, как инструмент научно-технологического анализа, синтеза и оптимизации вариантов их исследовательского проектирования, создания и использования [4-9].

Качественно новые возможности цифровизации моделирования в результате современного развития информационных технологий, повышения требований к качеству разрабатываемых моделей и полимодельных комплексов по базовым требованиям к их адекватности, конечности, информативности, безызыточности, функциональности и ресурсной доступности по-новому ставят задачу обоснованного формирования системы целевых показателей качества (ЦПК) КФС и СТО, в том числе с учетом факторов их сложности, проблем неоднозначности и неопределенности

вербального описания, критичности получаемых результатов и проблем их интерпретации в условиях отсутствия соответствующих эмпирических данных и опыта.

Следует подчеркнуть, что эта сложная проблема в настоящее время либо обходится исследователями, либо декларируется без должного обоснования со ссылкой на потерявшим свою значимость в условиях неизбежности квалиметрического анализа и синтеза тезис: критерии и показатели не обосновываются, о них договариваются.

Основная цель данной статьи - предложить вариант системно-кибернетической парадигмы формирования ЦПК СТО, входящих в них КФС, базируясь на фундаментальных и прикладных результатах теории квалиметрического оценивания, анализа, синтетической квалиметрии и их многокритериальной оптимизации.

## 2. Системно-кибернетическая парадигма формирования ЦПК сложных технических объектов

В ряде ранее проведенных исследований [10-14] были предложены, обоснованы, апробированы и использованы в форме соответствующих программных (ПК) и роботизированных проектных комплексов (РПК) при решении ряда прикладных задач [11,14-16] модель и математический аппарат инвариантной к специфическим условиям решаемых СТО задач оценки ЦПК в форме проектного качества и эффективности эксплуатации, как меры реализации проектного качества (ПКЭ), типа

$$(1) \quad Q_{P,R,K} = C_P^t \{w_p, C_{p,R}^t [w_r, C_{r,K}^t (w_k, Q_{k,M,G,N})]\},$$

где  $Q_{P,R,K}$  – полимодельный системный показатель качества (ПСПК) системы объектов из  $K$  отдельных СТО, качество каждого из которых описывается  $R$  сводными показателями качества (СПК) при  $P$  системных модельных показателях качества (СМПК) и соответствующих введенных в анализ специализированных операторах свертки  $t$ -типа (гармоническом, мультипликативном, аддитивном и т.п.)  $C_{r,K}^t (w_k, Q_{k,M,G,N})$ ,  $C_{p,R}^t [w_r, C_{r,K}^t (w_k, Q_{k,M,G,N})]$ ,  $C_P^t \{w_p, C_{p,R}^t [w_r, C_{r,K}^t (w_k, Q_{k,M,G,N})]\}$  и соответствующих множествах ИКЗ  $\{w_k\}$ ,  $\{w_r\}$ ,  $\{w_p\}$ .

В свою очередь, каждый из СПК соответствующих  $k$ -тых отдельных СТО определяется по модели вида

$$(2) \quad Q_{k,M,G,N} = C_{k,M}^t \{w_m, C_{m,G}^t [w_g, C_{g,N}^t (w_n, q_n)]\},$$

где  $Q_{k,M,G,N}$  – сводный показатель качества  $k$ -того СТО есть результат агрегирования  $N$  частных показателей качества (ЧПК) при множестве их ИКЗ  $\{w_n\}$  и операторе свертки  $C_{g,N}^t (w_n, q_n)$  в  $G$  групповых показателей качества (ГПК), характеризующих отдельные свойства СТО, при множестве их ИКЗ  $\{w_g\}$  и операторе свертки  $C_{m,G}^t [w_g, C_{g,N}^t (w_n, q_n)]$  в  $M$  модельных показателей качества (МПК) при множестве их ИКЗ  $\{w_m\}$  и операторе свертки  $C_{k,M}^t \{w_m, C_{m,G}^t [w_g, C_{g,N}^t (w_n, q_n)]\}$ .

Реализация названного аппарата методом числового (цифрового) моделирования позволяет не только решать задачи многовариантной и многокритериальной оценки качества отдельных и системы СТО с их вариантным ранжированием, которое предусматривает сортировку данных с их квалификацией по критерию ПКЭ (сравнением и распределением по заданному критерию) и отбрасыванием несущественных параметров при многофакторном анализе и заданном ограничении на снижение адекватности модели, соответственно - СПК и ПСПК.

Более того, реализация названного аппарата позволяет методом итераций при числовом моделировании ранжировать множество ИКЗ за счет использования метода корневой чувствительности путем оценки и ранжирования ИКЧ по алгоритму вида (для упрощения представления функции (2) в (3) ряд параметров опущены)

$$(3) \quad Y_{k,M,G,N,\alpha} = \left( C_{k,M}^t \{ \dots [ \dots, C_{g,N}^t(w_n, \alpha \times q_n) ] \} / C_{k,M}^t \{ \dots [ \dots, C_{g,N}^t(w_n, q_n) ] \}^{-1} \right) / \alpha,$$

где  $\alpha$  – задаваемый параметр изменения ЧПК (например, 1,05).

Это позволяет Заказчику обосновывать, апробировать методом числового моделирования (1)-(3), корректировать и оптимизировать свои предпочтения по обоснованию свойств и требований к СТО, обоснованно задавать множество ИКЗ. В свою очередь, это дает возможность минимизировать избыточность используемых данных за счет перехода к системным данным (данным верхнего уровня, метаданным) без существенной потери адекватности модели оценки СПК и ПСПК.

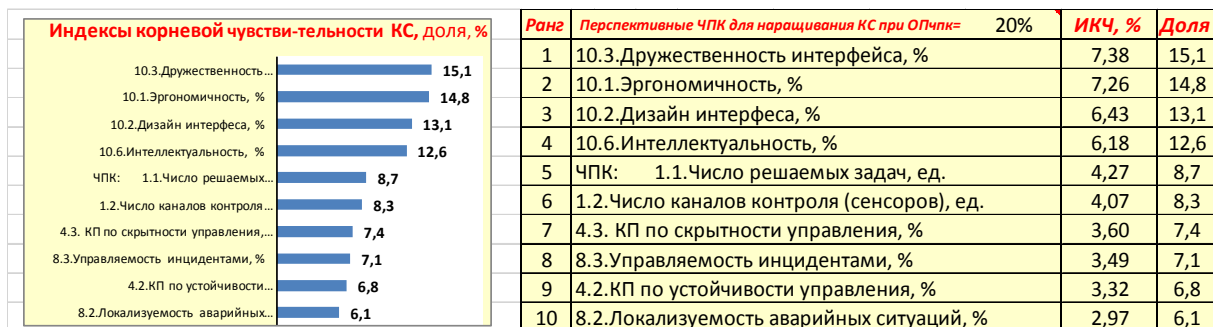
Тем самым, имеет место возможность синтеза Заказчиком комплекса целевых показателей качества, включая ПСПК, СПК, на основе ранжирования векторов целей и их скаляризации в пространстве ИКЗ с оценкой и ранжированием ИКЧ, обосновывать решение задач синтеза и оптимизации качества СТО и их систем, в том числе с переходом к критериям их конкурентной способности (в сравнении с СПК и ПСПК конкурентных решений), а также перспективности развития СТО и их систем (в сравнении с СПК и ПСПК однородных решений с учетом различия в этапах создания).

Для иллюстрации изложенного на рис. 1 приведены результаты системно-кибернетического анализа 5 вариантов развития систем интеллектуальной поддержки.

<b>РПК "КСР-23": Оценка конкурентной способности (КС) и перспективности развития (ПР)</b>									
<b>объекта исследовательского проектирования (ОИП) "ИСПР-БЖК"</b>									
Критерии оценки качества \ Объект исследовательского проектирования (ОИП)	ИКЗ (вес)	В	Искч %	Р искч	Требования ТЗ, 2015	1.ИСПРУ, 2015	8.ИСПРУ-БЖК, 2018	9.ИСПРУ-ГК, 2020	12.ИСПРУ-ОБЭ, 2022
<b>Конкурентная способность, КС, %</b>			20%	0,00	74,9	52,5	81,3	100,0	111,7
<b>Перспективность развития, %</b>			1,2		-25,1	-47,5	-18,7	0,0	11,7
Ранжирование вариантов по уровню КС, <b>Ркс</b>					4	5	3	2	1
<b>ГПК: 1.КП по функциональности, %</b>	15	1			5,9	5,5	56,4	100,0	119,0
<b>ЧПК:</b> 1.1.Число решаемых задач, ед.	25	1	4,27	5	10	10	15	20	20
1.2.Число каналов контроля (сенсоров), ед.	20	1	4,07	6	2500	2500	3000	3500	3600
<b>2.КП по нейтрализации ЧФ, %</b>	18	1			85,5	13,8	65,5	100,0	123,0
<b>3.КП по оперативности управления, %</b>	10	1			40,0	25,5	56,5	100,0	120,9
<b>4.КП по качеству управления, %</b>	10	1			81,6	44,7	64,4	100,0	113,8
4.2.КП по устойчивости управления, %	25	1	3,3	9	90	70	80	90	95
4.3. КП по скрытности управления, %	20	1	3,6	7	90	90	95	95	97
<b>5.КП по ресурсной прочности, %</b>	10	1			59,7	40,1	73,4	100,0	117,2
<b>6.КП по ИЗащищенности ИР, %</b>	10	1			114,3	20,7	72,0	100,0	114,5
<b>7.КП по технологичности обслуживания, %</b>	5	1			153,2	138,8	104,4	100,0	86,0
<b>8. КП по безопасности использования, %</b>	10	1			91,5	32,7	79,3	100,0	135,2
8.2.Локализуемость аварийных ситуаций, %	20	1	3,0	10	80	70	80	80	85
8.3.Управляемость инцидентами, %	30	1	3,5	8	80	60	70	80	90
<b>9.КП по экономичности владения, %</b>	10	1			77,7	139,7	116,4	100,0	95,9
<b>10.КП по престижности АРМ, %</b>	2	1			95,2	62,9	82,0	100,0	122,9
10.1.Эргономичность, %	20	1	7,3	2	75	70	75	80	80
10.2.Дизайн интерфейса, %	15	1	6,4	3	90	80	90	90	95
10.3.Дружественность интерфейса, %	20	1	7,4	1	80	80	80	80	85
10.6.Интеллектуальность, %	35	1	6,2	4	60	50	50	60	70
<b>Погрешность вариантного исследовательского проектирования: 8,3%</b>			12	60	10%	<b>Погрешность оценки (КБанк): 1,29%</b>			92,0%

**Рис. 1.** Оценка КС и ПР 5 вариантов интеллектуальных систем поддержки принятия решений при обеспечении борьбы за живучесть корабля (ИСПР-БЖК).

На рис. 2 приведены данные ранжирования ИКЧ, позволяющие определять направления технологического развития СТО и их систем с учетом квалиметрических и системно-кибернетических аспектов.



**Рис. 2.** Результаты ранжирования ИКЧ варианта «12.ИСПРУ ОБЭ, 2022» при обеспечении управления борьбой за живучесть корабля.

Из анализа представленных материалов апробации следует, что моделирование СПК, ПСПК, КС с ранжированием ЧПК по уровню влияния на целевые показатели позволяет практически выходить на эффективное решение задач системно-кибернетического синтеза и оптимизации СТО и их систем (как процесса управления качеством соответствующих СТО при анализе широкого спектра системных факторов их анализа, синтеза и оптимизации), обеспечивая:

- системную цифровизацию, результативность и перспективность полномасштабного решения задач комплексного моделирования качества управления разнородными СТО и их системами;
- возможность формирования и актуализации разнородных квалиметрических баз данных и знаний (КБДЗ) верхнего, системного уровня (метаданных);
- вариантную структуризацию и паспортизацию альтернативных СТО и их систем с результативным информационно-аналитическим использованием соответствующих КБДЗ конкурентно способных технологических решений;
- использование соответствующих КБДЗ при комплексном моделировании и создании полимодельных комплексов, включая технологии цифровых двойников, в обеспечение концептуального, исследовательского, технологического, технического и конструкторского проектирования СТО;
- самообучение разнородных интеллектуальных систем поддержки принятия решений, включая элементы искусственного интеллекта и т.п.;
- разработку и использование технических интерактивных электронных руководств по эксплуатации соответствующих СТО и их систем;
- при тренажерной подготовке и аттестации операторов СТО и их систем.

При этом, инвариантность представляемой модели и технологии к специфике СТО и их систем предоставляет новые возможности анализа, синтеза, оптимизации и отработки комплекса проектных и управленческих решений при одновременном обеспечении качественно новых требований к уровню и широкопрофильности квалификации (системного мышления) операторов и исследователей, к уровню ресурсного обеспечения разработки, создания, эксплуатации СТО и их систем [11-16].

Реализация представленных возможностей позволяет перейти на качественно новый уровень системно-кибернетического обоснования конкурентно способных технологических и технических решений (при одновременной возможности минимизации избыточности данных без существенной потери адекватности модели управления качеством), конкурентной способности и перспективности развития СТО.

### 3. Заключение

В результате анализа квалиметрических аспектов формирования целевых показателей качества СТО и их систем, а также интерпретации в процессе моделирования качества, конкурентной способности и перспективности развития СТО

предложен подход (идея, парадигма) системно-кибернетического синтеза комплекса целевых показателей качества на основе ранжирования векторов целей (целеполагания) и их скаляризации в пространстве ИКЗ с оценкой и ранжированием ИКЧ частных показателей качества, оценки уровня их влияния на целевые показатели.

Результаты исследования и апробации предложенного подхода подтвердили одновременную возможность минимизации избыточности данных анализа без существенной потери адекватности модели оценки, синтеза и оптимизации качества, конкурентной способности и перспективности развития СТО и их систем.

## Список литературы

1. Иванов В.В., Малинецкий Г.Г. Цифровая экономика: от теории к практике // Инновации. 2017. № 12 (230). С. 3-12.
2. Турчин В.Ф. Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции / Изд. 2-е. М.: ЭТС, 2000. 368 с.
3. Гринченко С.Н. О генезисе информационного общества: информатико-кибернетическое модельное представление // Информация и её применение. 2019. Т. 13, Вып. 2. С. 100-108.
4. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018. 314 с.
5. Худяков Л.Ю. Исследовательское проектирование кораблей. Л.: Судостроение, 1980. 324 с.
6. Захаров И.Г. Обоснование выбора. Теория практики. СПб.: Судостроение, 2006. 528 с.
7. 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.
8. Соловьев И.В., Корольков Г.Н., Бараненко А.А. и др. Морская радиоэлектроника: Справочник / Под ред. В.А. Кравченко. СПб.: Политехника, 2003. 246 с.
9. 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.
10. Алексеев А.В. Математическая модель оценки качества и эффективности сложных разнородных объектов морской техники и морских транспортных систем // Шестая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2021). Труды конференции. М.: Перо, 2021. С. 11-16.
11. Алексеев А.В. Примеры реализации полимодельного квалиметрического метода системной оптимизации объектов морской техники и морской инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 3, № 2. С. 69-81.
12. Алексеев А.В., Соколов Б.В., Охтилев М.Ю. Модель и алгоритм мониторинга обстановки при ситуационном управлении критическими объектами // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: труды [Электронный ресурс] 17-20 июня 2019 г., Москва. М.: ИПУ РАН, 2019.
13. Алексеев А.В., Захаров В.В., Охтилев М.Ю., Бураков Распределенная система поддержки принятия управленческих решений ситуационного центра // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: труды [Электронный ресурс] 17-20 июня 2019 г., Москва. М.: ИПУ РАН, 2019.
14. Алексеев А.В. Модель и программный комплекс цифровой трансформации кибербезопасности // Вопросы обеспечения безопасности в киберпространстве: материалы Всероссийской научно-технической конференции. Махачкала: ДГТУ, 2022. С. 251-255.
15. Автоматизация процессов борьбы за живучесть корабля, судна / Под ред. К.Ю. Шилова. Санкт-Петербург: ИАП БЖКС, эл. интерактивное изд. (третье), испр. и доп., с приложением, 2022. 506 с.
16. Алексеев А.В., Максимова М.А., Согонов С.А., Михальчук А.В. Модель и технология цифровых двойников систем автоматизации судов // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ). 2023. Вып. 4(8). С. 5-14.