

КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И КОНКУРЕНТНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

**В.Ю. Бобрович, А.В. Алексеев, В.В. Антипов, А.В. Смольников, Р.И. Мусатенко
(Санкт-Петербург)**

Актуальность темы. В условиях решения национальной задачи цифровизации экономики, импортозамещения, интеллектуализации морской техники (МТ), цифровизации управления инвестиционными проектами и развитием предприятий, ранговой сертификации качества продукции и услуг [1-5] особое место принадлежит вопросам комплексного моделирования процессов системного управления качеством и конкурентной способностью МТ. Их решение позволяет дать конструктивный ответ на главные вопросы анализа и синтеза качества МТ, направлений и путей ее развития.

Совершенствование методов и технологий управления традиционно является одной из наиболее сложных, но высоко востребованных научно-организационных задач инновационной и инвестиционной деятельности. При этом особую значимость сегодня приобрели вопросы совершенствования системного управления как управления объектами и их взаимосвязями для эффективного и оптимального достижения назначенных общих (системных) целей и решения поставленных общих задач. Среди них управление проектным качеством (ПК, оцениваемым на стадии создания) и эксплуатационной эффективностью (ЭЭ, оцениваемой на стадии эксплуатации как меры реализации ПК), а также конкурентной способностью (КС) и перспективностью развития (ПР) продукции и услуг в интересах технологического развития России имеет ключевое национальное значение.

В этой связи вопросам системного управления качеством и конкурентной способностью морской техники, морских транспортных систем (объект исследований ИКМ МТМТС-2021) должно непрерывно уделяться особое внимание, а исследовательская задача комплексного моделирования системного управления качеством и конкурентной способностью МТМТС, по нашему мнению, является одной из приоритетных и практически значимых задач развития.

Состояние вопроса исследования. Комплексное моделирование процессов системного управления (как упрощенное, идеализированное представление объекта моделирования с целью его исследования) получило широкое развитие в последнее десятилетие в связи с резким возрастанием сложности структуры, функциональных возможностей современных эргатических объектов. Одновременно обострилась проблема их моделирования, прогнозирования поведения и необходимости поиска оптимальных соотношений свойств и характеристик как отдельных элементов, так и моделируемой системы в целом. Тем более в условиях возросших требований к военнотехническому превосходству, конкурентной способности объектов моделирования, в том числе МТМТС, их импортозамещаемости с учетом обеспечения перспективности технологического развития [3].

В этих условиях и при возросшем числе и спектре моделей различных классов как никогда ранее поставлен вопрос о качестве моделей и полимодельных комплексов [6,7], необходимости их всестороннего оценивания, квалиметрического анализа и синтеза, развития нового научного направления - синтетической квалиметрии.

Формулирование проблемы. В развитие ранее выполненных теоретических и прикладных исследований вопросов концепции и методологии квалиметрического анализа и синтеза систем управления, их реализации [1-3,5,6-8] представляет определенный интерес обобщение ранее полученных результатов. В их развитие – рассмотрение примеров и вариантов программной реализации комплексного

моделирования качества и конкурентной способности разнородных объектов МТМТС, включая автоматизированные системы поддержки принятия решений и управления процессами проектного обоснования.

При этом особое внимание в контексте [7] следует уделить квалиметрическому контролю погрешностей моделирования процедур агрегирования показателей системного качества и конкурентной способности МТМТС.

Среди традиционных методов контроля качества МТМТС основное внимание, как правило, уделяется созданию и использованию многочисленных моделей отдельных свойств и характеристик объектов анализа, а их интегральная (системная) оценка, анализ и синтез рассматриваются в контексте технико-экономических исследований, причём с переходом к специфическим экономическим критериям. При этом ограниченные возможности аналитического моделирования в связи с резким возрастанием сложности моделируемых объектов и процессов, естественно, не позволяют переходить к «широкомасштабному» (системному) параметрическому анализу и синтезу.

Это положение существенно изменилось с развитием вычислительной техники в начале 80-х годов прошлого столетия. Однако тенденция исследования отдельных системных аспектов в целом сохранилась, а вопросы интегральной оценки, анализа и управления (синтеза) качеством сложных систем остались на «нейтральной» полосе.

Вопросы, по которым сегодня нет единого мнения научной общественности и заказчиков, прежде всего, характеризуются многообразием критериев оценивания объектов МТМТС и необходимостью их «гармонизации» в интересах системного синтеза и перехода к универсальным моделям оценки качества, инвариантным к специфике объектов анализа. Это противоречивое положение еще более осложняет ситуацию в связи с практическим отсутствием сегодня признанных моделей свойств объектов МТМТС, без которых практически не возможен переход к формированию адекватных систем критериев и показателей качества, созданию и широкомасштабному использованию единых программных средств их квалиметрической оценки, анализа и синтеза.

Постановка задачи. В этой связи проблема комплексного моделирования системного управления качеством и конкурентной способностью (ПСУ КС) МТМТС, по нашему мнению, может быть приближена к своему решению по пути:

- классификации (системной типизации) объектов МТМТС, включая их модификации и варианты инновационного развития в соответствии с инвестиционными программами развития;
- соответствующей гармонизацией понятий, свойств и основных (базовых) критериев оценки их системного качества, включающего понятия ПК, ЭЭ, КС, ПР;
- разработки и практического использования для сравнительного (вариантного) оценивания в процессе исследовательского и конструкторского проектирования, обоснования требований к разрабатываемой продукции и услугам типовых (базовых) моделей, методик и программных комплексов их поддержки (реализации).

Без решения данной проблемы, лежащей, по нашему мнению, в зоне ответственности и Заказчика, и Исполнителя, имеющей несколько градаций информационного доступа, проблема сложности развития и обеспечения конкурентной способности МТМТС будет только возрастать, а ее решение неуправляемо удаляться. Именно поэтому в обеспечение информационной прозрачности обеспечения развития подобные модельные комплексы системы менеджмента качества (МК СМК) должны для каждого из этапов развития МТМТС разрабатываться, использоваться всеми участниками развития и от этапа к этапу наращиваться.

Следует отметить, что поднимаемая проблема комплексного моделирования системного управления качеством и конкурентной способностью МТМТС обладает лишь сравнительной новизной, а ее решение уже имело место, например, в Министерстве морского флота при решении задач освоения Северного морского пути [8].

Возможности решения ПСУ КС. Одним из перспективных направлений решения поднятой проблемы в развитие ранее полученных результатов исследований и с учетом накопленного опыта авторы видят в использовании теории и практики квалиметрического анализа и синтеза (синтетической квалиметрии [6]) с учетом путей их развития в последнее десятилетие, среди которых могут быть названы:

- выделение квалиметрического метода среди других методов системных исследований как наиболее универсального и перспективного в связи с его инвариантностью (неизменностью используемых процедур) к специфике решаемых объектами МТМТС задач, что позволяет создавать единую среду оценки качества разнородных объектов МТМТС и их сопоставления по критерию конкурентной способности [1-14];

- развитие квалиметрического метода в части алгоритмов агрегирования показателей качества с переходом к гармоническому алгоритму как наиболее приемлемому в части погрешностей оценивания качества объектов анализа [13,14];

- переход к многоуровневым системам критериев оценки качества объектов анализа, включая частные (ЧПК), групповые (ГПК), модельные (МПК), сводные (СПК), полимодельные (ППК) и агрегированные показатели качества (АПК) [8,9];

- комплексное моделирование системного управления (синтеза) качеством, конкурентной способностью и перспективностью развития объектов анализа, включая объекты МТМТС, в том числе их параметрической оптимизации с использованием метода корневой чувствительности [12-14];

- вариантное исследовательское проектирование перспективных (эффективных и оптимальных) объектов МТМТС с учетом всех стадий их жизненного цикла на основе создания и использования полимодельных комплексов анализа-синтеза-оптимизации, выполнения многочисленных сравнительных оценок (цифрового моделирования) ПК, ЭЭ, КС и ПР, а также оценок и анализа погрешностей оценивания [9-12], соответствующего развития используемых полимодельных комплексов [7-10].

Пример реализации. Для иллюстрации сформулированных положений и предложений по реализации квалиметрической концепции и методологии системного управления качеством объектов анализа на рисунке 1 приведен пример многокритериальной полимодельной квалиметрической оценки качества одного из вариантов системы управления объекта МТМТС с АПК=92,5 % при коэффициенте вариации (относительной среднеквадратической погрешности оценивания АПК), равном КВ=0,73 %.

Принятые исходные данные приведены, как показано на рисунке 1, для 40 частных показателей качества при заданном размахе погрешностей исходных данных (для упрощения принят равным РП=15% для всех ЧПК, см. нижнюю строку рисунка 1) и принятом равномерном законе распределения разброса оценок.

Заданные 40 ЧПК агрегированы в восемь ГПК, которые сведены в четыре СПК. Последние, в свою очередь, сведены в три МПК с различными матрицами индексов критериальной значимости (весовых показателей), отражающими различные условия применения моделируемой системы управления. Наконец, эти три МПК агрегированы в главный (агрегированный, обобщенный) показатель качества АПК=92,5%. При этом так называемый индекс сложности модели оценивания (полимодельного комплекса

(ПК) «КаСис 1.1») составляет по числу использованных критериев $SM=40+8+4+3+1=56$.

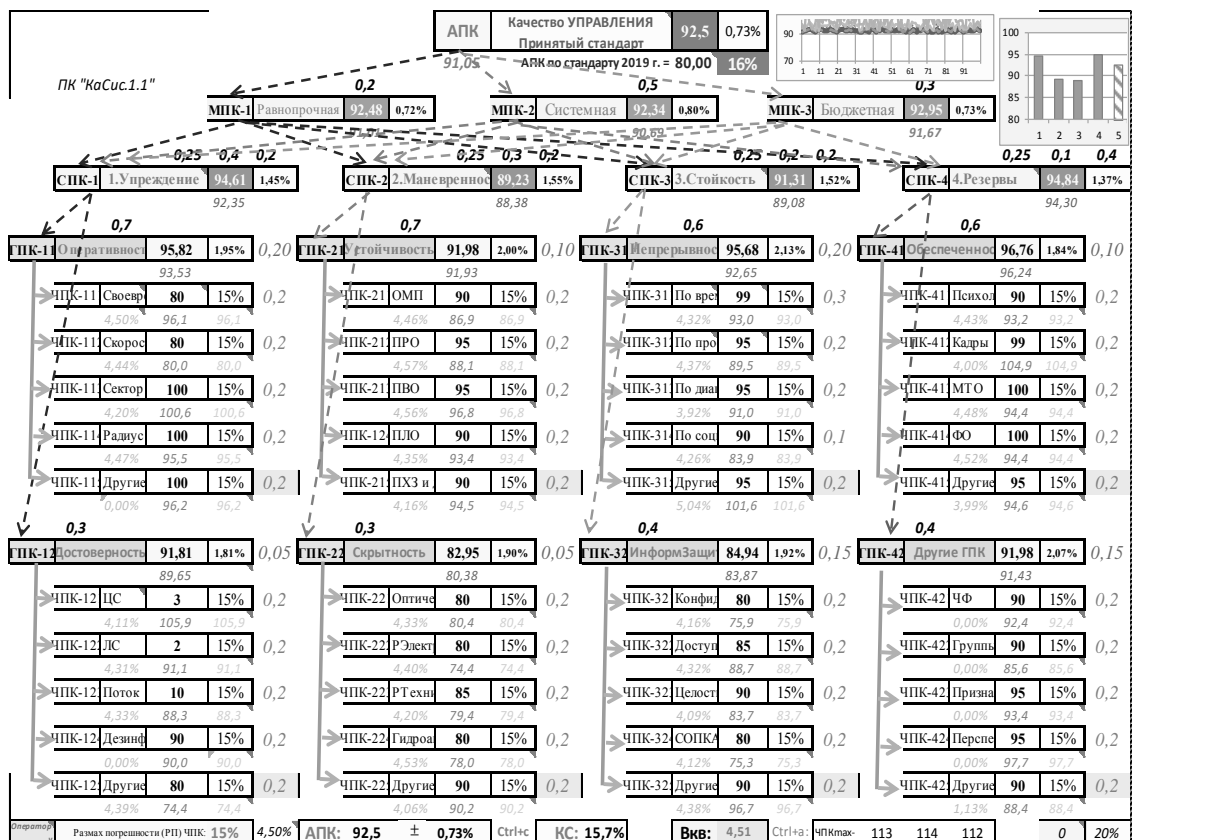


Рис. 1 – Пример оценки качества системы управления

Конкурентное превосходство в сравнении с заданным требованием по $APK=80\%$ составило $15,7\%$, а выигрыш по KB APK в сравнении с $ЧПК$ составил $V_{KB}=4,51$, что весьма значительно и говорит об устойчивости полученной оценки.

Как показывают приведенные результаты моделирования качества, практика внедрений [1-3, 8-14], именно инвариантность данного модельного, методического и технологического аппарата (полимодельного комплекса) позволяет их использовать фактически для любых как по содержанию, так и по масштабу задач оценки ПК, ЭЭ, КС и ПР сложных объектов, включая объекты МТМТС. При этом возможность масштабирования, например, ПК «КаСис 1.1» и его инвариантность к специфике задач функционирования объектов анализа позволяет оценивать качество с учетом достоверности получаемых результатов практически для любых по сложности объектов МТМТС, используемых систем критериев.

Другой пример реализации полимодельной квалиметрической концепции и метода системного управления качеством объектов анализа [13] на основе автоматизированной системы поддержки принятия решений (АСППР) «КСПР-18.2» приведен на рисунке 2. Он показывает возможность сравнительного (вариантного) анализа показателей системного качества и свойств пяти объектов МТМТС класса «Ледокол» по отношению к варианту «4.МАЛ «Вайгач», пр. 10580, 1990» при сложности представленного полимодельного комплекса более $SM=22+10+4+2=38$.

АСПР "ИСПР-18.2": Оценка конкурентной способности (КС) и перспективности развития (ПР) объекта морской техники ледового класса "Ледокол"						
Назначение объекта морской техники (ОМТ): Прокладка пути в замерзших бассейнах						КП:
Основные конкурентные свойства ОМТ ледового класса варианта "5.Ледокол «Ямал»" по отношению к варианту "4.Ледокол «Вайгач»":						
1. Продукционное качество (энергoeffективность, водозамещение, количество видов продукции);						105,7%
2. Технологичность эксплуатации (экологичность, технологичность обслуживания, безопасность эксплуатации);						106,0%
3. Конструктивное качество (ресурсопрочность, эргономичность, дизайн);						109,1%
4. Экономичность владения (стоимость закупки, эксплуатации, расходных материалов, включая ремонт);						93,81%
Оценка КС, ПР и вариантной оптимизации ОМТ						
Критерии оценки качества \ Объект морской техники (ОМТ)	ПКС (вес)	1.Д.Л.1	2.А.1	3.А.1	4.М.А.1	5.М.А.1
		"Новая Урочей" пр.21180, 2017	"Арктика" пр.22220, 1975-2008	"Россия" пр. 10520, 1983-2013	"Вайгач" пр. 10580, 1990	"Ямал" пр.10520, 1992
ГПК: 1. Энергoeffективность, %	15	52	129	119	100	120
ЧПК: 1.1. Мощность ГЭУ, МВт	15	12,0	55,0	55,0	36,7	55,0
1.2. Мощность СЭС, кВт	15	1600	1700	1600	1500	1200
1.3. Скорость судна, узл.	20	15,0	18,6	13,1	18,5	21,0
1.4. Ледопробиваемость, м	30	1,0	2,0	2,0	1,77	2,0
1.5. Автономность плавания, мес	20	2,0	7,5	7,0	4,0	6,0
2. Водоизмещение, т.	10	3100	23460	23635	21100	23460
3. Количество видов продукции, ус.ед.	7	4	2	3	3	3
4. Экономичность ЭЭС, %	10	83	90	94	100	104
4.1. Мин. удельный расход топлива, г/(д.с.*ч)	20	131	145	142	139	135
4.2. Мин. удельный расход масла, г/(д.с.*ч)	10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4.3. КПД, %	70	30	35	37	40	42
5. Ресурсная прочность, %	10	48	111	104	100	115
5.1. Автономность судна, сут.	40	30	180	140	120	220
5.2. Экипаж, чел.	20	32	150	118	89	107
5.3. Дедвейт	40	500	3800	3850	3581	2750
6. Экологичность, ус.ед.	5	65	86	90	100	112
6.1. Токсичность, г/кВтч	50	1,5	1,0	0,9	0,8	0,7
6.2. Шумность, дБ	50	70	60	60	55	50
7. Технологичность обслуживания, ус.ед.	10	130	89	90	100	103
7.1. Сложность эксплуатации, ус.ед.	60	50	90	85	80	81
7.2. Ремонтпригодность, ус.ед.	30	50	55	50	48	54
7.3. Ресурсоемкость обслуживания, тыс.руб.	10	25	45	40	15	15,2
8. Безопасность эксплуатации, %	15	104	94	100	100	106
8.1. Безрисковость эксплуатации, в.е.	40	80	75	80	80	85
8.2. Локализуемость аварийных ситуаций, в.е.	60	90	80	85	85	90
9. Экономичность владения, %	10	309	100	107	100	94
9.1. Закупочная стоимость, млн.руб.	45	300	700	650	850	900
9.2. Расходные материалы на 1т.км, тыс.руб.	25	12	55	50	40	45
9.3. Стоимость обслуживания, млн.руб.	30	1,0	3,5	3,4	3,3	3,4
10. Эргономичность, дизайн, другие ГПК, ед	8	90	80	80	80	91
Конкурентная способность (КСг), ед.	КСа	104,0	99,7	99,8	100,0	107,3
	КСм	91,7	99,0	99,4	100,0	107,2
Ранжирование вариантов по уровню КС, РКС	КСс	80,9	98,3	98,9	100,0	107,0
Перспективность развития (ПР) варианта 5 к 4, %	РКС	5	4	3	2	1

Рис. 2 – Пример вариантного анализа качества и свойств объектов МТМТС класса «Ледокол»

Безусловно, точность получаемых при этом оценок определяется точностью задаваемых Заказчиком исходных данных, типом и параметрами алгоритма агрегирования показателей качества, и при их учете может и должна количественно представляться одновременно с оценками ПК, ЭЭ, КС, ПР, например, как показано на рисунке 1. Вместе с тем важным преимуществом квалиметрической концепции и методологии системного управления качеством объектов анализа следует считать отмеченную выше высокую устойчивость получаемых оценок системных показателей, которая тем выше, чем сложнее используемая система критериев. Это обстоятельство обусловлено эффектом снижения дисперсии оценки АПК при усреднении по ансамблю ЧПК, аналогичным для процессов временного накопления оценок, определяемых их числом.

Ожидаемый эффект при реализации предложений. С учетом накопленного опыта проведенных многочисленных оценок системных показателей качества объектов анализа, включая объекты МТМТС [11-14], ожидаемый эффект от реализации рассмотренных предложений будет состоять, прежде всего, в практической возможности количественного обоснования и сравнительного анализа по системным показателям ПК, ЭЭ, КС (включая военно-техническое превосходство) и ПР разнородных средств и систем, а также в возможности поиска технологических путей их синтеза и направлений перспективного развития. В сочетании с другими методами и полимодельными комплексами это создаст дополнительные условия и возможности снижения проектных, инновационных и инвестиционных рисков развития объектов МТМТС [14,15].

Заключение

В результате обобщения и развития ранее полученных результатов показаны и подтверждены результатами комплексного моделирования новые и уникальные возможности использования квалиметрической концепции и методологии комплексного моделирования системного управления проектным качеством, эксплуатационной эффективностью, конкурентной способностью и перспективностью развития современных сложных эрготехнических систем и объектов МТМТС.

Приведенные примеры реализации сделанных предложений и варианты их программной реализации, включая полимодельный программный комплекс «КаСис 1.1» и автоматизированную систему поддержки принятия решений «КСПр-18.2», подтвердили практическую возможность количественного обоснования и сравнительного анализа по системным показателям ПК, ЭЭ, КС и ПР разнородных средств и систем, а также возможности поиска технологических путей их синтеза, оптимизации и направлений перспективного развития. Это создаст дополнительные условия и возможности снижения проектных, инновационных и инвестиционных рисков развития объектов МТМТС.

Показана возможность квалиметрического контроля погрешностей моделирования процедур агрегирования показателей системного качества, а также сравнительно высокая устойчивость получаемых оценок и достоверность результатов в целом.

Литература

1. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** Модель и технология цифровизации управления инвестиционными проектами и развитием предприятия // Пятая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2019). Труды конференции – М. Издательство Перо, 2019, с. 30-35.
2. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** Цифровизация и интеллектуализация ранговой сертификации качества как элемент системы обеспечения конкурентной способности продукции // Первая отраслевая научно-практическая конференция «Производственные технологии в судостроении – вопросы информатизации» (ПТС ВИ-2021). Труды конференции – СПб.: АО ЦТСС, 2021, с. 31-35.
3. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В.** От декларации и сертификации соответствия к цифровизации и интеллектуализации управления качеством и конкурентной способностью морской техники // Актуальные проблемы морской энергетики: материалы десятой международной научно-технической конференции в рамках Пятого Всероссийского научно-технического форума «Корабельная энергетика: из прошлого в будущее». – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2021 (в печати).
4. **Соколов И.А.** Основные методологические подходы к созданию автоматизированных систем управления, создаваемых для обороны страны и обеспечения безопасности государства // Оружие наследников Победы. – М.: «Оружие и технологии», 2015, с. 96-107.
5. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В., Мусатенко Р.И., Шаталов Г.В.** Прогнозирование и мониторинг реализации дорожной карты цифровой трансформации предприятий кораблестроения // Актуальные проблемы морской энергетики: материалы восьмой международной научно-технической конференции в рамках Третьего Всероссийского научно-технического форума

- «Корабельная энергетика: из прошлого в будущее». – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2019, с. 33-40.
6. **Субетто А.И.** Синтетическая квалиметрия. Книга 1 // Под ред. Л.А. Зеленова. – Санкт-Петербург – Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова, 2011. – 620 с.
 7. **Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. – М.: РАН, 2018. – 314 с.
 8. **Бобрович В.Ю., Алексеев А.В., Антипов В.В., Смольников А.В., Кузнецов В.В., Тычинин И.Ю.** Конкурентная способность как главный фактор инвестиционной привлекательности // IV Санкт-Петербургский международный экономический конгресс (СПЭК-2018): материалы. – СПб.: НИИР им. С.Ю. Витте, 2018.
 9. **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 энергетике: материалы седьмой Всероссийской межотраслевой научно-технической конференции Второго Всероссийского научно-технического форума «Корабельная энергетика: из прошлого в будущее». – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2018, с. 411-415.
 10. **Бобрович В.Ю., Антипов В.В., Смольников А.В., Алексеев А.В., Мусатенко Р.И.** Ранговая партнерская сертификация качества и конкурентной способности объектов морской техники /Материалы 9-й конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2016). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016, с. 263.
 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.** Модель инвариантной оценки качества и эффективности объектов морской техники // Морские интеллектуальные технологии / Marine intellectual technologies, № 2, том 2, 2020, с. 53-60/№ 2 part 2, 2020, pp. 53-60.
 14. **Алексеев А.В.** Концептуальные аспекты управления развитием критических объектов морской техники и морской инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии. Научный журнал № 2 (28), Т.1, 2015, с. 47-57.