УДК 629.12.03
2.5.6. Технология машиностроения



А.С. Баёв
Российская Академия Естествознания

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Выполнено обобщение использования свойства сбалансированности сложной техники машиностроения при ее проектировании для повышения эксплуатационной эффективности и конкурентоспособности, выявления проблемных свойств техники, а также для достижения технологической независимости страны в машиностроении.

Согласованность, сбалансированность, цифровая технология, эксплуатационная эффективность, конкурентоспособность, нормирование, технологическая независимость.

В соответствии с государственными стандартами сложная техника машиностроения, такая как суда, корабли, автомобили, самолеты, локомотивы и т.п., а также и их функционально значимые составные части, в частности энергетические установки, представляют собой определенные комплексы соответствующей сложности и структуры.

Основополагающим принципом проектирования комплексов является комплектование их состава из имеющегося на рынке стандартного оборудования (двигателей, механизмов, аппаратов и т.д.), сходственные показатели которого порой в разы отличаются и, как правило, не полностью удовлетворяют требованиям конкретного комплекса. В такой ситуации, учитывая, что работа оборудования в составе комплексов взаимообусловлена, эффективность их (комплексов) технической эксплуатации определяется не только индивидуальными показателями оборудования, характеризующими его свойства (назначение, безопасность, надежность, эффективность и т.д.), но и их (показателей) согласованностью друг с другом (далее согласованностью оборудования), а комплексов в целом их сбалансированностью [1].

В связи с этим в современных условиях оценка и анализ согласованности оборудования комплексов и их сбалансированности в целом – это объективная необходимость, особенно у энергонасыщенной техники [2–12].

Основные положения

Сбалансированность технических комплексов – это согласованное сочетание свойств комплексов, определяющих эффективность их технической эксплуатации (то есть безопасное выполнение ими в компактном виде необходимых функций в заданных режимах и условиях применения с возможно большим КПД в течение нормативного срока службы при регламентируемых затратах на поддержание и восстановление работоспособности комплексов) [11].

Применение термина «согласованное» в данном случае многозначно:

- во-первых, как уже отмечалось, эффективность технической эксплуатации (технического использования, технического обслуживания и ремонта) комплексов в значительной степени зависит от согласованности их оборудования;

- во-вторых, согласованность как соотношение параметров оборудования комплексов друг с другом является наиболее близким синонимом к термину сбалансированность. Методически принято использовать термин согласованность на уровне одного свойства оборудования, а сбалансированность – на уровне всех рассматриваемых свойств;

- в-третьих, оценка сбалансированности комплексов выполняется на основе сравнения значений индексов согласованности оборудования комплексов с нормативным их (индексов) значением (нормой).

Например (рис. 1), сбалансированность судового комплекса S при норме согласованности оборудования 0,75 [7, 11]:

S=ЕСЛИ(И(D24*F24>=0,75*F24;D25*F25>=0,75*F25;
D26*F26>=0,75*F26;D27*F27>=0,75*F27;
D28*F28>=0,75*F28;D29*F29>=0,75*F29);1;0) = 1,

где D24,D25,D26,D27,D28,D29 и F24,F25,F26,F27, F28,F29 – номера соответствующих ячеек, в которых располагаются значения индексов согласованности оборудования, и ячеек, отражающих наличие необходимых данных по индексам. При этом индексы согласованности оборудования определяются как отношения номинальных показателей оборудования и их базовых (расчетных или требуемых) значений;

логическая единица 1 означает, что сбалансированность комплекса достаточна, а логический нуль 0 – недостаточна

Состав свойств комплексов при оценке их сбалансированности (признаков сбалансированности) также зависит от назначения комплексов и решаемых задач (практических приложений сбалансированности комплексов).

A1	B	C	D	E	F	G	H
2							
3	СУХОГРУЗНОЕ СУДНО СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ						
4	ВОДОИЗМЕЩЕНИЕМ	9000	тонн				
5	*Технология интеллектуальной поддержки принятия решений*						
6	Модуль оценки целевых индикаторов						
7	Разработал д.т.н., профессор Баёв А.С.						
8	Санкт-Петербург	Доля отечественного оборудования		Технологическая независимость			
9	2025	(1-обеспечена; 0-недостаточная)		(1-обеспечена; 0-недостаточная)			
10	Типоразмер судна	17	1			0	
11							
12	П А Р А М Е Т Р Ы, размерность			Предикаты (формулы)			
13							
14	ПОКАЗАТЕЛИ СУДНА						
15	Водоизмещение, т	9000					
16	Скорость в полном грузу, км/ч	19,50					
17	Осадка в полном грузу, м	4,60					
18	Нормирование по Единому плану:	2026 год					
19	уровень технологической независимости, %	43					
20	доля отечественного оборудования	0,35					
21	Проект			в том числе		при индексе сбалансированности 85%	необходимая доля
22	*Доля отечественного оборудования*			0,35			0,51
23	*Индекс согласованности оборудования по:*		всего	отечественного			
24	*назначению*		0,96	0,95	1	1	1
25	*безопасности (в т.ч. экологической)*		0,97	0,98	1	1	1
26	*надежности*		0,93	0,84	1	1	1
27	*эффективности*		0,80	0,77	1	1	1
28	*компактности*		0,75	0,68	1	0	1
29	*удельным затратам*		0,87	0,85	1	1	1
30	Сбалансированность при норме согласованности 0,75		1				
31	Сбалансированность при норме согласованности 0,80		0			1	
32	Индекс сбалансированности, %		88	85			
33	Индекс технологической независимости, %			30			

Рис. 1. Фрагмент цифровой технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (далее – цифровой технологии) при сбалансированном проектировании судна смешанного плавания

Первая задача, которая решалась с использованием свойства сбалансированности, это так называемое сбалансированное проектирование судовых комплексов, то есть проектирование комплексов с оценкой сбалансированности их состава и выявлением наиболее проблемного свойства (свойства с минимальным значением индекса согласованности оборудования комплекса). Комплексы, согласованность оборудования которых при этом обеспечивалась не ниже нормы, именуются сбалансированными техническими комплексами (или, более обобщенно, сбалансированная техника).

Сбалансированная техника – это удешевление и сокращение сроков строительства, повышение эффективности ее технической эксплуатации. По опыту судостроения даже при частичной реализации увеличение согласованности оборудования в составе техники обеспечивает паритетное повышение эффективности ее технической эксплуатации.

Способ обеспечения страны сбалансированной техникой включает следующие основные действия:

- разработку сетки перспективного типажа сложной техники и организацию ее серийного производства на модернизированных и новых машиностроительных мощностях страны с обеспечением их специализации и кооперирования;

- поэтапное нормирование согласованности оборудования в составе перспективной техники;

- выявление и производство необходимой номенклатуры отечественного оборудования с показателями, обеспечивающими согласованность оборудования в составе перспективной техники не ниже нормативной;

- целенаправленное формирование состава перспективной техники при ее проектировании с обеспечением согласованности оборудования в составе техники не ниже нормативной;

- контроль согласованности оборудования в составе перспективной техники при ее производстве;

- стимулирование проектировщиков и производителей перспективной техники, а также изготовителей отечественного оборудования, обеспечивающих согласованность оборудования в составе техники не ниже нормативной;

- проведение НИР и опережающую подготовку необходимых специалистов.

В настоящее время начальные шаги по реализации этих действий, например для судов смешанного плавания, сделаны. Также ведется подготовка необходимых специалистов и разработаны теоретические основы обеспечения нормативной согласованности оборудования судовых комплексов, которые прошли практическую апробацию и показали свою эффективность и универсальность (возможность использования для различной сложной техники машиностроения).

Нетрудно заметить (рис. 1), что результат оценки сбалансированности комплексов зависит не только от согласованности оборудования, но и от количества анализируемых его свойств и от установленной нормы согласованности оборудования. При норме согласованности 0,75 комплекс по шести анализируемым свойствам сбалансирован, а с повышением нормы до 0,80 – оказывается недостаточно сбалансированным. В связи с этим полноформатная реализация способа обеспечения страны сбалансированной техникой возможна путем поэтапного нормирования (регулирования) по сути одного числа – согласованности оборудования сложной техники. О том, что это возможно, говорил еще Пифагор: «Число правит миром!».

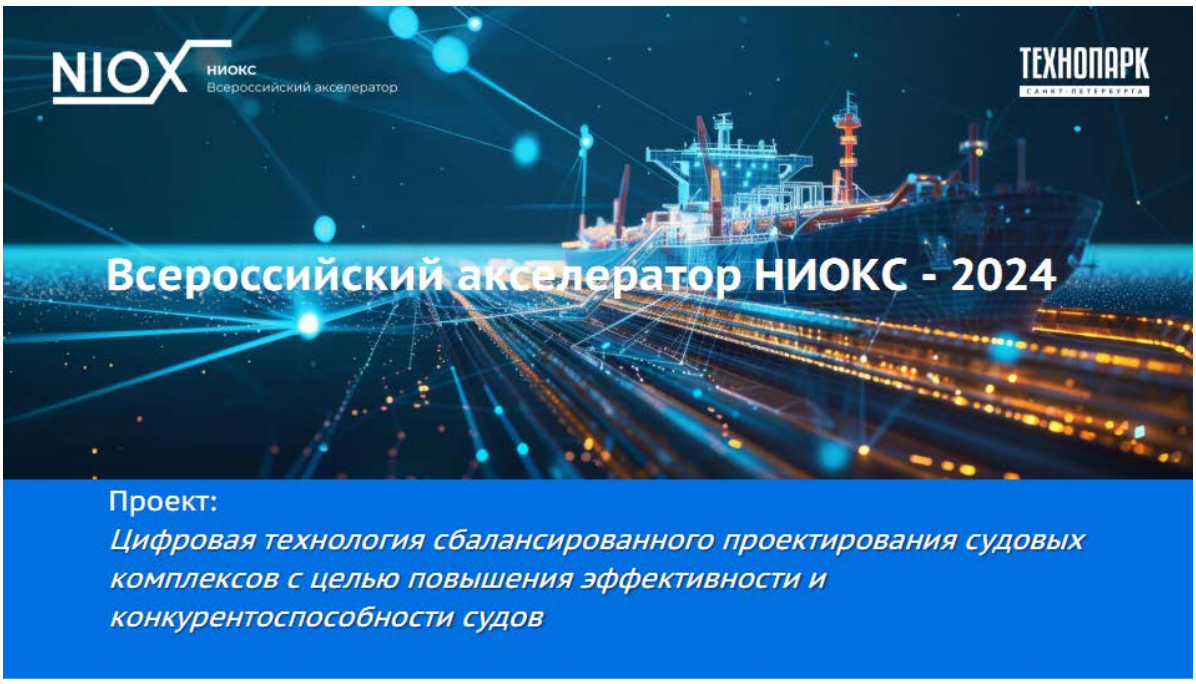


Рис. 2. Титульный лист проекта на Всероссийском акселераторе НИОКС (Научные исследования и образование для конструирования судов)

История сбалансированного проектирования судовых комплексов насчитывает десятилетия [2–12], а использование цифровой технологии сбалансированного проектирования судовых комплексов для повышения эксплуатационной эффективности и конкурентоспособности судов рассматривалось на отраслевых научно-технических конференциях «Новые технологии в судостроении» [13, 14] и на Всероссийском акселераторе НИОКС (рис. 2).

В этом случае проектирование комплексов выполняется на альтернативной основе с помощью оригинальной методики, позволяющей автоматически выбирать вариант комплекса с возможно большим индексом сбалансированности, а соответственно и повышенной эксплуатационной эффективностью техники. Причем для создания такого проекта, в частности судового комплекса, достаточно задаться типоразмером судна (ячейка C10, рис. 1).

Индексы сбалансированности альтернативных комплексов определяются как среднее (в общем случае средневзвешенное) индексов согласованности оборудования с помощью формулы, состав которой рассмотрим на примере значения индекса сбалансированности 88 % (рис. 1).

$$88\ \% = 100*(D24*F24+D25*F25+ +D26*F26+D27*F27+D28*F28+D29*F29)/ /(F24+F25+F26+F27+F28+F29).$$

Используемые при альтернативном проектировании комплексов в качестве признаков сбалансированности такие свойства оборудования, как назначение, безопасность, надежность, эффективность, компактность и удельные приведенные эксплуатационные затраты, являются основными составляющими такого понятия, как качество оборудования [15]. В связи с этим индекс сбалансированности комплексов можно использовать и как показатель их качества, а для повышения конкурентоспособности техники машиностроения с повышенной сбалансированностью отмечать ее знаком качества.

Использование цифровой технологии сбалансированного проектирования комплексов для достижения технологической независимости в судостроении и в машиностроении в целом рассмотрено в работах [16, 17] и на Международной научно-практической конференции «Современные проблемы науки и образования» (рис. 3).

Как известно, вот уже второе десятилетие в машиностроении страны идет компания импортозамещения. Однако результаты ее пока не совсем оптимистичны. В связи с этим Единым планом по достижению национальных целей развития Российской Федерации до 2030 года и на перспективу до 2036 года (далее – Единый план) [18] внесен ряд изменений в стратегию достижения национальных целей развития Российской Федерации, в частности установлены поэтапные нормы комплексного индекса технологической независимости страны и уровни технологической независимости секторов ее экономики: судостроения, авиастроения, железнодорожного транспорта и т.д.

Для достижения целевых нормативов Единого плана по технологической независимости (в дальнейшем также технонезависимости) машиностроения страны целесообразно:

а) поэтапного нормировать долю отечественного оборудования в *составе!* сложной техники по количеству критического взаимообусловленного оборудования;

б) использовать для оценки:

- качества отечественного оборудования в составе техники индекс его сбалансированности,

- уровня технологической независимости состава техники следующий постулат:

при нормировании доли отечественного оборудования в составе того или иного объекта (сложной техники, отрасли) индекс качества отечественного оборудования с учетом его доли – это интегральный показатель отражения технологической независимости машиностроения страны в составе объекта (далее индекс технологической независимости объекта или индекс технонезависимости объекта t_n).



Рис. 3. Диплом участника Международной научно-практической конференции «Современные проблемы науки и образования»

Согласно этому постулату, если состав отечественного оборудования (ОО) объекта формируется исходя из максимально возможной ситуации с ОО на рынке, то индекс технонезависимости объекта прямо пропорционален количеству и качеству отечественного оборудования в его составе и, соответственно, определяется как произведение значения доли отечественного оборудования в составе объекта на индекс его качества. Поэтапное же нормирование доли отечественного оборудования в составе объекта играет роль задания («кнута»), обязывающего использовать именно такой подход при выборе состава объекта (максимально использовать ситуацию с отечественным оборудованием на рынке).

Так (рис. 1), при норме отечественного оборудования 35,2 %, если ситуация с ним на рынке позволяет обеспечить в составе судна его долю 0,35 с индексом сбалансированности 85 %, то индекс технонезависимости судна t_n = 0,35*85 % = 30 %, а для обеспечения плановых показателей технологической независимости судостроительной отрасли страны в 2026 году 43 % средневзвешенная доля отечественного оборудования на судах должна быть 0,51 или 0,43 в случае паритетной замены импортного оборудования отечественным.

Опыт реализации в нулевые годы программы реновации флота судоходного холдинга ОАО «Северо-Западное пароходство» (ОАО «СЗП») [19] свидетельствует о том, что способ достижения технологической независимости машиностроения страны на основе сформулированных соображений [17] вполне может обеспечить достижение целевых нормативов Единого плана.

Дело в том, что упомянутая программа реновации флота, разработчиком которой являлся автор (в то время заместитель генерального директора и руководитель направления «Судостроение и судоремонт» ОАО «СЗП») представляла собой своеобразный план обеспечения технологической независимости судостроения и судоремонта не только холдинга, но и отчасти страны, так как предусматривала возрождение «Северной верфи» для строительства первой в новейшей истории страны серии судов смешанного плавания нового поколения типа «Валдай». И это было «…событие национального масштаба» [20], когда «...впервые в новейшей истории страны российский судовладелец строит на отечественной верфи на российские финансы» [21]. Проектирование Валдая осуществлял также отечественный проектант (КБ «Вымпел») в диалоге с заказчиком (ОАО «СЗП»).

Что касается холдинга, то до перестройки он обладал лучшей судостроительно-судоремонтной базой в Минречфлоте РСФСР, но ее загрузка в 2000 году не превышала 20 %. Строительство и ремонт основного флота пароходства производились на зарубежных и отечественных сторонних заводах. В связи с этим целью программы реновации было не только пополнение флота холдинга, но и возвращение строительства и ремонта судов на предприятия пароходства путем нормирования их загрузки, специализации, кооперирования и модернизации.

Следует сказать, что цель программы реновации флота ОАО «СЗП» в целом была достигнута [19–21] и автор предлагал рассматривать ее «…как модель решения проблемы обновления флота страны…, которая должна включать, в том числе, возрождение судостроительно-судоремонтной базы и производств судового оборудования требуемой номенклатуры, оптимизацию состава флота, серийное строительство новых перспективных судов, обновление актуальных «возрастных» судов, вывод из эксплуатации устаревших судов, государственную поддержку и преференции, а также необходимое финансовое, нормативно-правовое и кадровое обеспечение» [19].

Нормирование загрузки судостроительно-судоремонтных предприятий холдинга представляло собой обязательные для исполнения задания по ремонту, техническому обслуживанию, докованию и модернизации судов, а также и на изготовление необходимого судового оборудования и дельных вещей на предприятиях холдинга для строящихся Валдаев, которые (задания) по крайней мере на начальном этапе сыграли важную, можно сказать определяющую роль в успешности программы реновации флота холдинга.

Заключение:

1. В современных условиях оценка и анализ согласованности оборудования сложной техники машиностроения и ее сбалансированности в целом – объективная необходимость.

2. Рассмотрено использование свойства сбалансированности сложной техники при ее проектировании для повышения эксплуатационной эффективности и конкурентоспособности техники, а также для достижения целевых нормативов Единого плана по технологической независимости страны в машиностроении.

3. Использование свойства сбалансированности сложной техники позволяет комплексно выполнять необходимые оценки на различных этапах ее жизненного цикла, что в конечном итоге приводит к удешевлению и сокращению сроков строительства техники, повышению ее качества, а также более обоснованно проводить мероприятия по импортозамещению, обеспечивая технологический суверенитет и безопасность страны.

Литература

1. Баёв, А. С. Логико-семантическая методика оценки сбалансированности состава судовых энергетических установок / А. С. Баёв // Труды ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – 2021. – Специальный выпуск 1. – С. 125–127.

2. Путин дал поручение по развитию кораблестроения для сбалансированного развития ВМФ. – URL: https://morvesti.ru/news/1679/110497/ (дата обращения: 15.10.2024). – Текст : электронный.

3. Морской инжиниринговый центр СПб. – URL: https://mic-spb.ru/ru (дата обращения: 15.10.2024). – Текст : электронный.

4. Азимут на восток. – URL: https://fishnews.ru/rubric/krupnyim-planom/12053 (дата обращения: 15.10.2024). – Текст : электронный.

5. Баёв, А. С. Методические указания по курсовому проектированию по дисциплине «Судовые энергетические установки». Специальность 140200 / А. С. Баёв. – Санкт-Петербург : ИПЦ СПГУВК, 1997. – 61 с.

6. Баёв, А. С. Судовые энергетические установки : методическое пособие по курсовому проектированию / А. С. Баёв. – Санкт-Петербург : СПбГМТУ, 2016. – 48 с.

7. Баёв, А. С. Дизельные энергетические установки: компьютерные интеллектуальные технологии поддержки принятия решений / А. С. Баёв. – Санкт-Петербург : СПбГМТУ, 2019. – 33 с.

8. Баёв, А. С. Цифровые технологии судовой энергетики : учебное пособие / А. С. Баёв. – Beau Bassin : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. – 117 с.

9. Баёв, А. С. Судовые энергетические установки: методическое пособие по практическим заданиям и курсовому проектированию / А. С. Баёв. – Санкт-Петербург : СПбГМТУ, 2021. – 60 с.

10. Баёв, А. С. Применение компьютерной программы для формирования сбалансированных комплексов / А. С. Баёв // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2023. – № 3(21). – С. 64–66.

11. Баёв, А. С. Сбалансированные энергетические комплексы судов / А. С. Баёв, А. А. Баёв // Транспорт на альтернативном топливе. – 2023. – № 6 (96). – С. 71–77.

12. Баёв, А. С. Сбалансированное проектирование судовых комплексов / А. С. Баёв // Судостроение. – 2024. – № 3 (874). – С. 24–28.

13. Баёв, А. С. Инновационная концепция судовых энергетических установок / А. С. Баёв // Сборник трудов отраслевой научно-технической конференции. «Новые технологии в судостроении» НТС-2022. – Санкт-Петербург : АО «ЦТСС», 2022. – С. 12–15.

14. Баёв, А. С. К развитию судостроения: суда со знаком качества / А. С. Баёв // Сборник трудов третьей отраслевой научно-технической конференции. «Новые технологии в судостроении» НТС-2024. – Санкт-Петербург :АО «ЦТСС», 2024. – С. 50–58.

15. Российская система качества. Учреждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.04.2015 г. № 780-р. – URL: https://roskachestvo.gov.ru/ (дата обращения: 15.10.2024). – Текст : электронный.

16. Баёв, А. С. Сбалансированное проектирование сложной техники в машиностроении как способ достижения импортонезависимости страны / А. С. Баёв // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2024. – № 4 (26). – С. 55–59.

17. Баёв, А. С. К достижению технологической независимости в машиностроении / А. С. Баёв // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2025. – № 4 (30) – С. 58–61.

18. Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации до 2030 года и на перспективу до 2036 года : утвержден Правительством Российской Федерации 13 февраля 2025 года. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411156963/ (дата обращения: 25.07.2025). – Текст : электронный.

19. Баёв, А. С. Опыт формирования и реализации программы реновации флота судоходного холдинга / А. С. Баёв // Судостроение. – 2019. – № 2 (843). – С. 14–18.

20. Астафьев, Н. Первенец российского торгового флота – событие национального масштаба / Н. Астафьев // Водник Северо-Запада. – 2002. – № 1(94952). – январь.

21. Саблин, В. «Северная верфь»: суда на потоке / В. Саблин // Транспорт Северо-Запада. – 2001. – № 8. – декабрь.

A.S. Bayov
Russian Academy of Natural Sciences

PRACTICAL APPLICATIONS OF BALANCING IN COMPLEX MECHANICAL ENGINEERING SYSTEMS

Generalization of the use of the property of balance of complex engineering equipment in its design, to increase operational efficiency and competitiveness, to identify problematic properties of equipment, as well as to achieve technological independence of the country in mechanical engineering.

Consistency, balance, mechanical engineering, digital technology, operational efficiency, competitiveness, rationing, technological independence.