

УДК 629.12.03



А.С. Байёв

Российская Академия Естественных Наук

СБАЛАНСИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ КАК СПОСОБ ДОСТИЖЕНИЯ ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТИ СТРАНЫ

Отмечено, что сбалансированность сложной техники в машиностроении – важное реально существующее их свойство, которое все больше выдвигается на первый план при решении задач по обеспечению технологического суверенитета и безопасности страны. Рассмотрены методология оценки согласованности и сбалансированности комплексов различного уровня, фрагменты компьютерной программы и способ достижения импортонезависимости страны.

Машиностроение, универсальная методика, сбалансированность комплексов, цифровая технология, импортонезависимость.

В соответствии с государственными стандартами [1] сложная техника машиностроения (суда, корабли, автомобили, самолеты, локомотивы и т.п. (далее – техника или изделия)), 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 стандартного унифицированного оборудования.

В составе комплексов комплектующее оборудование приобретает новое дополнительное свойство согласованности – соответствие оборудования друг другу по тому или иному свойству, а комплексы – свойство сбалансированности. Сбалансированность – это сочетание свойств комплексов, состав которых определяется их назначением и решаемыми задачами [2].

В современных условиях соответствующими Постановлениями Минпромторга предусмотрено поэтапное расширение производства отечественного комплектующего оборудования [3–5]. Однако замена импортного оборудования на отечественные аналоги пока не всегда адекватна, что негативно сказывается и на сбалансированности комплексов.

В том числе и в связи с этим обеспечение необходимой сбалансированности сложной техники все больше выдвигается на первый план при решении важной государственной задачи – обеспечения технологического суверенитета и безопасности страны [6–8].

Между тем до настоящего времени сбалансированность техники не оценивается и не контролируется, а в основном декларируется вербально. И это при том, что по определению сбалансированность имеет

количественную оценку (измерение) и конкретна, то есть оценивается по определенным свойствам техники (далее – признакам сбалансированности).

Положенная в основу программы проектирования комплексов с оценкой их сбалансированности (сбалансированного проектирования) методика позволяет выполнять ее количественную оценку (рассчитывать индекс сбалансированности) в общем случае по семи директивным и функциональным признакам сбалансированности, состав которых варьируется автоматически в зависимости от типа судовых комплексов и наличия необходимых данных по комплектующему оборудованию [2].

В программе:

- в качестве директивного признака сбалансированности используется импортозамещение, оцениваемое долей отечественного оборудования в составе комплексов, а функциональных – свойства комплексов (назначение, безопасность (в том числе экологическая), надежность, эффективность и компактность), которые определяют эффективность их технической эксплуатации (технического использования, технического обслуживания и ремонта), и уровень которых (свойств) зависит, в том числе, и от результатов импортозамещения и импортонезависимости;

- для соответствия оборудования и комплексов (далее – объектов) по тому или иному признаку сбалансированности используется термин согласованность, а под сбалансированностью комплексов понимается сочетание согласованностей по признакам сбалансированности (по сути, по перечисленным выше свойствам комплексов);

- количественная оценка (расчет индексов) как согласованности, так и сбалансированности комплексов

сов выполняется с помощью аддитивной функции «полином» с той лишь разницей, что расчет индексов согласованности осуществляется в виде коэффициентов, а индексов сбалансированности – в виде процентов;

– индекс согласованности – это коэффициент (относительный показатель), который характеризует степень приближения проектного (реального) значения параметра, характеризующего то или иное свойство изделий, к базовому (требуемому) значению, а индекс сбалансированности – относительный показатель в виде процента, который характеризует степень приближения проектного (реального) уровня сбалансированности комплексов к потенциальному стопроцентному;

– для большей универсальности разработанных методик производится иерархическое структурирование насыщения изделий на:

- псевдоконкомплексы (комплексы нулевого уровня) – это взаимно обусловленное оборудование (табл. 1);

- комплексы первого уровня, включающие комплексы нулевого уровня, – это, например, *главный энергетический комплекс (ГЭК), вспомогательный энергетический комплекс (ВЭК)* (табл. 1);

- комплексы второго уровня, включающие комплексы первого уровня, – это *энергетическая установка (ЭУ) в целом, системы и устройства изделия (СУ) и управление изделием (УИ)* (табл. 2);

- комплекс третьего уровня, включающий комплексы второго уровня, – это изделие в целом.

В таблице 1 и 2 представлены фрагменты упомянутой программы на примере сухогрузного судна смешанного плавания.

Таблица 1

Матрица оценки согласованности комплексов первого уровня по назначению

№ п/п	Наименование	Согласованность
Главный энергетический комплекс (ГЭК)		
1	Главные двигатели	0,95
2	Главные передачи	0,71
3	Движители	0,99
4	ГЭК	0,88
Вспомогательный энергетический комплекс (ВЭК)		
5	Автономный котел	0,85
6	Утилизационные котлы	0,98
7	Дизель-генераторы	0,83
8	Валогенераторы	0,99
9	Водопреснителы	0,80
10	ВЭК	0,89

В разработанной методике расчет индексов согласованностей (далее – для упрощения согласованностей) объектов выполняется при одинаковой их значимости, исходя из того, что сумма значений коэффициентов значимости, учитываемых при расчете, равна единице. При этом согласно иерархии комплексов расчет согласованностей производится последовательно, начиная с оборудования (комплексов нулевого уровня). Получаемые при этом согласованности являются исходными при расчете согласованности комплексов первого уровня, результаты которого в свою очередь исходные для расчета согласованности комплексов второго уровня, и так далее.

Таблица 2

Матрица оценки сбалансированности комплексов второго и третьего уровня

Наименование индекса	Признаки сбалансированности						
	импортозамещение	назначение	безопасность	надежность	эффективность	компактность	
Энергетическая установка (комплекс второго уровня)							
1	Согласованность ГЭК	0,67	0,88	0,97	0,84	0,65	0,67
2	Согласованность ВЭК	1,00	0,89	0,94	0,83	0,62	0,68
3	Согласованность систем ЭУ	0,73	0,83	1,00	0,84	0,60	0,35
4	Согласованность ЭУ	0,80	0,87	0,97	0,84	0,62	0,57
5	Сбалансированность ЭУ, %	80	83	88	87	82	78
6	Сбалансированность ЭУ без импортозамещения, %		87	92	89	82	77
Системы и устройства (комплекс второго уровня)							
7	Согласованность СУ	0,74	0,75	0,97	0,73	0,72	0,83
8	Сбалансированность СУ, %	74	75	82	80	78	79
9	Сбалансированность СУ без импортозамещения, %		75	86	82	79	80
Управление изделием (комплекс второго уровня)							
10	Согласованность УИ	0,72	0,79	0,98	0,72	0,83	0,87
11	Сбалансированность УИ, %	72	76	88	80	81	82
12	Сбалансированность УИ без импортозамещения, %		79	89	83	83	84
Изделие (комплекс третьего уровня)							
13	Согласованность изделия	0,75	0,80	0,97	0,76	0,72	0,76
14	Сбалансированность изделия, %	75	78	84	82	80	80
15	Сбалансированность изделия без импортозамещения, %		80	89	85	82	80

Так, например, согласованность комплексов первого уровня по назначению (табл. 1):

– ГЭК 0,88 (позиция 4) складывается из 3 составляющих 0,95(1/3), 0,71(1/3) и 0,99(1/3), где 0,95, 0,71 и 0,99 – это соответственно согласованности комплексов нулевого уровня (главных двигателей, главных передач и движителей в данном случае по мощности, крутящему моменту и частоте вращения соответственно), а 1/3 – это коэффициенты значимости главных двигателей, главных передач и движителей;

– ВЭК 0,89 (позиция 10 табл. 1) складывается из 5 составляющих 0,85(1/5), 0,98(1/5), 0,83(1/5), 0,99(1/5) и 0,80(1/5), где 0,85, 0,98, 0,83, 0,99 и 0,80 – это соответственно согласованности комплексов нулевого уровня (автономного котла, утилизационных котлов, дизель-генераторов, валогенераторов и водоопреснителей в данном случае по теплопроизводительности котлов, мощности дизель-генераторов и валогенераторов и производительности водоопреснителей), а 1/5 – это коэффициенты значимости автономного котла, утилизационных котлов, дизель-генераторов, валогенераторов и водоопреснителей.

Далее на основе этих согласованностей последовательно выполняется расчет согласованностей комплексов второго и третьего уровня (табл. 2).

То есть, например, согласованность ЭУ (комплекса второго уровня) по назначению 0,87 (позиция 4) складывается из 3 составляющих 0,88(1/3), 0,89(1/3) и 0,83(1/3), где 0,88, 0,89 и 0,83 – это соответственно согласованности ГЭК, ВЭК и систем ЭУ по назначению, а 1/3 – это коэффициенты значимости ГЭК, ВЭК и систем ЭУ, а изделия (комплекса третьего уровня) 0,80 (позиция 13) складываются также из 3 составляющих 0,87(1/3), 0,75(1/3) и 0,79(1/3), где 0,87, 0,75 и 0,79 – это соответственно согласованности ЭУ, СУ и УИ по назначению, а 1/3 – это коэффициенты значимости ЭУ, СУ и УИ.

Что касается расчета индексов сбалансированности (далее – сбалансированности) комплексов, то он (расчет) выполняется по признакам сбалансированности с использованием аналогичной методики и рассчитанных согласованностей комплексов.

Так, сбалансированность ЭУ (табл. 2 позиция 5):

- по импортозамещению 80 % складывается из 1 составляющего 100(1/1)0,80, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/1 – коэффициент значимости импортозамещения в данном случае, а 0,80 – согласованность ЭУ по импортозамещению;

- по импортозамещению и назначению 83 % складывается из 2 составляющих 100(1/2)0,80 и 100(1/2)0,87, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/2 – коэффициенты значимости импортозамещения и назначения, а 0,80 и 0,87 – согласованности ЭУ по импортозамещению и назначению соответственно;

- по импортозамещению, назначению и безопасности 88 % складывается из 3 составляющих 100(1/3)0,80, 100(1/3)0,87 и 100(1/3)0,97, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/3 – коэффициенты значимости импортозамещения, назначения и без-

опасности, а 0,80, 0,87 и 0,97 – согласованность ЭУ по импортозамещению, назначению и безопасности соответственно.

Далее аналогично, то есть, например, сбалансированность ЭУ:

– по всем 6 признакам сбалансированности 78 % (позиция 5 табл. 2) складывается из 6 составляющих 100(1/6)0,80, 100(1/6)0,87, 100(1/6)0,97, 100(1/6)0,84, 100(1/6)0,62 и 100(1/6)0,57, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/6 – коэффициенты значимости импортозамещения, назначения, безопасности, надежности, эффективности и компактности, а 0,80, 0,87, 0,97, 0,84, 0,62 и 0,57 – согласованность ЭУ по импортозамещению, назначению, безопасности, надежности, эффективности и компактности соответственно;

– без учета импортозамещения (по 5 признакам сбалансированности – назначению, безопасности, надежности, эффективности и компактности) 77 % (позиция 6 табл. 1) складывается из 5 составляющих 100(1/5)0,87, 100(1/5)0,97, 100(1/5)0,84, 100(1/5)0,62 и 100(1/5)0,57, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/5 – коэффициенты значимости назначения, безопасности, надежности, эффективности и компактности, а 0,87, 0,97, 0,84, 0,62 и 0,57 – согласованность ЭУ по назначению, безопасности, надежности, эффективности и компактности соответственно;

– сбалансированность изделия (комплекса третьего уровня) по всем 6 признакам сбалансированности 80 % (позиция 14 табл. 2) складывается из 6 составляющих 100(1/6)0,75, 100(1/6)0,80, 100(1/6)0,97, 100(1/6)0,76, 100(1/6)0,72 и 100(1/6)0,76, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/6 – коэффициенты значимости импортозамещения, назначения, безопасности, надежности, эффективности и компактности, а 0,75, 0,80, 0,97, 0,76, 0,72 и 0,76 – согласованность изделия в целом по импортозамещению, назначению, безопасности, надежности, эффективности и компактности соответственно.

Если кратко, то расчет согласованностей комплексов производится по вертикали (с использованием вертикальных данных таблиц), а сбалансированности – по горизонтали (с использованием горизонтальных данных таблиц) с адаптивной корректировкой коэффициентов значимости объектов. Реализация этого алгоритма в программе выполняется автоматически с помощью технологии интеллектуальной поддержки принятия решений – одного из видов технологий искусственного интеллекта [9] (далее – цифровая технология).

Дополнение существующих систем автоматизированного проектирования комплексов этой цифровой технологией позволяет не только оценивать их сбалансированность, но и, что важно, осуществлять целенаправленное ее формирование до заданного (далее – также нормативного или повышенного) уровня. В связи с этим появляется необходимость нормирования сбалансированности комплексов, что является предметом отдельного исследования.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что сбалансированность комплексов зависит не только от согласованности их по свойствам, но и от типа комплексов и от состава признаков сбалансированности. В этом плане рационально нормирование сбалансированности начинать с комплексов второго уровня, что в общем случае можно делать как с учетом, так и без учета доли отечественного оборудования в составе комплексов.

По определению индекс сбалансированности комплексов без учета импортозамещения – это относительный уровень эффективности их технической эксплуатации, а с учетом доли отечественного оборудования – количественная оценка уровня импортозамещения и импортонезависимости, что исключительно важно, когда при строительстве техники на отечественных предприятиях используется преимущественно импортное оборудование, а изготовленное отечественное оборудование при этом не пользуется спросом.

Индекс же сбалансированности комплексов с учетом доли отечественного оборудования характеризует, сколько отечественного оборудования используется в составе комплексов и какого оно качества, которое зависит, в том числе, и от технологий, применяемых при изготовлении оборудования.

Таким образом, проектирование комплексов с оценкой их сбалансированности – это, во-первых, количественная оценка уровня импортозамещения и импортонезависимости изделий, а во-вторых, при проектировании сбалансированной техники, когда он (уровень импортозамещения и импортонезависимости) выступает как целевой показатель – это способ (способ – это система действий для достижения цели) достижения технологической независимости страны, для реализации которого необходимо:

– при проектировании сложной техники производить оценку сбалансированности ее комплексов с выявлением критической номенклатуры комплектующего оборудования (КО) и его необходимых показателей;

– обеспечивать производство отечественного КО требуемой номенклатуры и параметров;

– по мере развития импортозамещения поэтапно нормировать сбалансированность комплексов (по сути, уровень их импортозамещения и импортонезависимости как целевого показателя);

– целенаправленно формировать при проектировании сложной техники сбалансированность их комплексов, обеспечивая ее не ниже заданной;

– контролировать сбалансированность (по сути, уровень импортозамещения и импортонезависимости) как проектов, так и строящейся и модернизируемой техники;

– стимулировать проектировщиков и строителей техники, а также производителей комплектующего оборудования, обеспечивающих уровень импортозамещения и импортонезависимости комплексов не ниже заданного;

– опережающе готовить необходимых специалистов.

Полноформатная реализация этих действий – достаточно объемная задача, которую рационально решать параллельно при координации (регулировании) Минпромторга путем нормирования по сути одного числа – уровня импортозамещения и импортонезависимости сложной техники. О том, что такое возможно, говорил еще Пифагор: «Число правит миром!». Тем более что подобный опыт у Минпромторга уже имеется при проведении мероприятий по импортозамещению [3–5] и уже осуществляется подготовка профильных специалистов.

В конечном итоге это позволит:

– повысить эффективность технической эксплуатации сложной техники и, как следствие, ее конкурентоспособность;

– выявлять критическую номенклатуру комплектующего оборудования и его показатели, обеспечивающие уровень импортонезависимости сложной техники не ниже заданного;

– стимулировать и более обоснованно проводить мероприятия по импортозамещению и импортонезависимости, обеспечивая технологический суверенитет и безопасность страны.

Заключение

1. Сбалансированность сложной техники в машиностроении – ее важное комплексное свойство, обеспечение необходимого уровня которого все больше выдвигается на первый план при решении задач по импортонезависимости и безопасности страны.

2. Отработана универсальная методика количественной оценки и формирования повышенной сбалансированности сложной техники.

3. Разработанная цифровая технология позволяет уже на стадии проектирования сложной техники прогнозировать эффективность ее технической эксплуатации и оценивать уровень импортозамещения и импортонезависимости изделий.

4. Предложен способ достижения импортонезависимости страны на основе формирования уровня импортозамещения и импортонезависимости техники не ниже заданного.

Литература

1. ГОСТ Р 2.101 – 2023. Виды изделий : издание официальное : введен 2024-03-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2023.

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

3. План мероприятий по импортозамещению в автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2024 года : Приказ Минпромторга России от 06 июля 2021 г. № 2468. – URL: <https://bod.frprf.ru/public/documents/plan-importozameshheniya-v-avtomobilnoj-promyshlennosti> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

4. План мероприятий по импортозамещению в судостроительной отрасли Российской Федерации на

период до 2024 года : Приказ Минпромторга России от 02 августа 2021 г. № 2916. – URL: <https://frprf.ru/download/plan-po-importozameshcheniyu-v-sudostroitelnoy-promyshlennosti.pdf> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

5. План мероприятий по импортозамещению в отрасли железнодорожного машиностроения Российской Федерации на период до 2024 года : Приказ Минпромторга России от 06 июля 2021 г. № 2469. – URL: <https://frprf.ru/download/plan-po-importozameshcheniyu-v-transportnom-mashinostroenii.pdf> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

6. Чирков, В. В. Сбалансированный флот адмирала Кузнецова / В. В. Чирков. – URL: [https://www.admiralchirkov.ru/sbalansirovannyj-flot-admirala-](https://www.admiralchirkov.ru/sbalansirovannyj-flot-admirala-kuzneczo)

[kuzneczo/](https://www.admiralchirkov.ru/sbalansirovannyj-flot-admirala-kuzneczo) (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

7. Путин дал поручение по развитию кораблестроения для сбалансированного развития ВМФ. – URL: <https://morvesti.ru/news/1679/110497/> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

8. Патрушев, Н. П. Модернизация российского флота идет недопустимо низкими темпами / Н. П. Патрушев. – URL: <https://t.me/morvestirussia/2335> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

9. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года / Указ Президента Российской Федерации от 10.10. 2019 года № 490. – 23 с.

A.S. Bayov

Russian Academy of Sciences

BALANCED DESIGN OF COMPLEX EQUIPMENT IN MECHANICAL ENGINEERING AS A WAY TO ACHIEVE IMPORT INDEPENDENCE OF THE COUNTRY

It was noted that the balance of complex equipment of mechanical engineering is an important real property of it and it is increasingly highlighted when solving problems of ensuring the technological sovereignty and security of the country. The methodology of assessing the consistency and balance of complexes of various levels as well as the fragments of the computer program and the way to achieve country's import independence were considered.

Mechanical engineering, universal technique, balance of complexes, digital technology, import independence.