



А.С. Баев  
Санкт-Петербургский государственный  
морской технический университет

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СБАЛАНСИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Рассмотрены признаки сбалансированности комплексов, методика их количественной оценки и фрагмент компьютерной программы формирования сбалансированных комплексов, исходя из требований по импортозамещению к энергетическим установкам судов.

Компьютерная программа, сбалансированность комплексов, импортозамещение, аддитивная методика.

Компьютерная программа – это модульная программа на базе пакета Excel, которая первоначально использовалась главным образом для учебных целей. Использование Excel делало программу удобной и доступной для обучающихся с различным уровнем компьютерной грамотности. В дальнейшем модульный принцип построения программы позволил дополнить ее блоком оценки и обеспечения необходимой сбалансированности комплексов (далее блок сбалансированности), который оказался пригодным для решения, как традиционных задач по обоснованию состава различных энергетических и транспортных комплексов, так и задач, обусловленных современными вызовами [1–3].

В соответствии с государственными стандартами под комплексом понимается два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, а сбалансированностью называется соотношение взаимобусловленных элементов комплекса, обеспечивающее эффективную его работу.

Пригодность блока сбалансированности программы для различных комплексов обеспечивается универсальностью используемых признаков сбалансированности комплексов и методики их количественной оценки.

В современных условиях, исходя из требований по обеспечению технологической независимости страны, в качестве основных признаков сбалансированности комплексов выступают [4, 5]:

- отечественная локализация (импортозамещение) элементов, составляющих комплекс;
- согласованность взаимобусловленных элементов между собой;
- способность комплекса оптимально выполнять необходимые функции (функциональный признак);
- безопасность (в том числе экологическая) комплекса;
- надежность комплекса.

Для количественной оценки этих признаков сбалансированности используются (далее индексы сбалансированности):

первого признака – индекс локализации (коэффициент унификации по локализации), который характеризует долю элементов отечественных изготовителей в составе комплекса;

второго – индекс согласованности (коэффициент конкордации), который характеризует соответствие показателей взаимобусловленных элементов комплекса требуемым значениям;

третьего – функциональный индекс, значение которого равно единице свидетельствует о том, что существует режим работы взаимобусловленных элементов комплекса, позволяющий комплексу оптимально выполнять необходимые функции в соответствии с его назначением;

четвертого – индекс безопасности, который интегрально характеризует уровень безопасности комплекса;

пятого – индекс надежности, который интегрально характеризует уровень надежности комплекса.

Комплекс считается сбалансированным, если перечисленные индексы сбалансированности комплекса не менее регламентируемых значений.

Методика количественной оценки значений индексов локализации, согласованности, безопасности и надежности базируется на использовании аддитивной функции полином

$$E_c = \sum a_i i_i < 1; i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

а функциональный индекс и сбалансированность комплекса в целом оценивается с помощью логической функции из импликации (ЕСЛИ(.....)) и конъюнкции (И(...)) в виде [4]

$$\text{индекс} = \text{ЕСЛИ}(\text{И}(\text{логическое выражение 1}; \text{логическое выражение 2}; \text{логическое выражение 3}; \dots); \mathbf{1;0}), \quad (2)$$

где  $0 \div 1$  – индекс k-го признака сбалансированности комплекса, относительное значение показателя, характеризующего i-й элемент комплекса, и коэффици-

ент значимости  $i$ -го элемента по функции (функциям), которые он выполняет в комплексе (далее коэффициент функциональной значимости элемента);

$m$  – количество взаимообусловленных элементов комплекса, учитываемых при расчете  $K_k$ ;

логическая единица **1** в формуле (2) свидетельствует о наличии режима работы взаимообусловленных элементов комплекса, позволяющего ему оптимально выполнять необходимые функции (при определении функционального индекса) или о сбалансированности состава комплекса (при оценке сбалансированности), а логический ноль **0** – об отсутствии такого режима или о недостаточной сбалансированности комплекса соответственно.

Коэффициенты функциональной значимости в формуле (1) определяются методом экспертных оценок путем построения матрицы попарного ранжирования элементов по их функциональной значимости (табл. 1) и расчета  $a_i$  с помощью следующей формулы:

$$a_i = \sum y_{ij} / \sum \sum y_{ij}, \quad (3)$$

где  $y_{ij}$  – экспертная оценка значимости  $i$ -го элемента по сравнению с  $j$ -ым;

$\sum y_{ij}$  – сумма экспертных оценок значимости  $i$ -го элемента по сравнению с  $j$ -ым;

$\sum \sum y_{ij}$  – сумма экспертных оценок значимости элементов комплекса, учитываемых при расчете  $K_k$ .

Для снижения субъективизма выполняется нормирование  $a_i$  ( $\sum a_i = 1$ ) и ограничение их значений, которое как следует из таблицы, равно

$$a_{i,max} = (m - 1) / [(m - 1)m/2] = 2/m., \quad (4)$$

что следует из рассмотрения матрицы попарного ранжирования, составленной для максимально возможного случая, когда каждый последующий элемент комплекса абсолютно уступает предыдущему.

Для составления логических выражений в формуле (2) используются операции булевой логики.

Ниже представлен фрагмент программы применения рассмотренной методики для формирования состава сбалансированной энергетической установки типового судна водоизмещением 6000 тонн (рис.), выполненного в рамках реиндустриализации Санкт-Петербурга, с регламентацией индексов сбалансированности согласно плану мероприятий по импортозамещению в судостроительной отрасли [2], а именно:

отечественной локализации, согласованности и надежности не менее 0,75;

безопасности не менее 1,00; функционального признака 1 в данном случае, энергобаланса (баланса генерации и потребления энергий на режиме оптимального энергоиспользования), исходя из основной функции судовой энергетической установки (СЭУ) – обеспечение судна необходимыми энергиями.

В целом программа состоит из трех частей: адаптивно оцифрованных баз данных типовых судов, судов-прототипов и судового комплектующего оборудования, банка знаний и блока сбалансированности (на рис. приведен фрагмент модуля этого блока).

Банки знаний устанавливают отношения между объектами компьютерной программы и отражают логику и действия специалистов, обладающих необходимыми компетенциями в данной предметной области.

Оцифровывание баз данных осуществляется с помощью оригинальной методики, которая автоматически настраивает (обучает) их для решения конкретной задачи (конкретного судна) путем введения маркеров, устанавливающих суда и судовое оборудование, соответствующее решаемой задаче, степень этого соответствия и место их расположения в базах данных.

После адаптивного оцифровывания баз данных из оборудования, пригодного для конкретного судна, программа с помощью аддитивной функции (1) формирует вначале не менее трех вариантов главного энергетического комплекса (ГЭК), а затем из них выбирает вариант, который наилучшим образом отвечает по энергетическим, надежностным, массогабаритным, экономическим параметрам и индексам сбалансированности предъявляемым требованиям (вариант с импортозамещением) и традиционный вариант без импортозамещения (без учета требований по сбалансированности).

Далее для выбранных вариантов ГЭК программа формирует составы вспомогательных энергетических комплексов и систем СЭУ, рассчитывает индексы и делает заключительную оценку сбалансированности выбранных составов установки как с учетом функциональной значимости оборудования в составе установки, так и без ее учета (на рис. для варианта без импортозамещения индекс локализации без учета значимости оборудования составляет 0,83).

Таблица

Матрица расчета коэффициентов значимости при  $m = 5$

$\frac{I}{J}$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\sum y_{ij}$	$a_i$
$\Pi_1$	$\frac{I}{J}$	1	1	1	1	4	4/10
$\Pi_2$	0	$\frac{I}{J}$	1	1	1	3	3/10
$\Pi_3$	0	0	$\frac{I}{J}$	1	1	2	2/10
$\Pi_4$	0	0	0	$\frac{I}{J}$	1	1	1/10
$\Pi_5$	0	0	0	0	$\frac{I}{J}$	0	0/10
						$\sum \sum y_{ij} = 10$	$\sum a_i = 1$

A1	B	C	D	E	F	G
2	Санкт-Петербургский государственный морской технический университет					
3	Кафедра судовых энергетических установок, систем и оборудования					
4	Технология интеллектуальной поддержки принятия решений					
5	ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА СУДНА ВОДОИЗМЕЩЕНИЕМ	6000	тонн			
6	бета версия					
7	Вариант	Типовой				
8	Разработал д.т.н., профессор Баёв А.С.					
9	Санкт-Петербург					
10	2019					
12	ПАРАМЕТРЫ, размерность		Предикаты (формулы)			
14	ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЕКТА СУДНА		С импортозамещением		Без импортозамещения	
15	Водоизмещение, т	6000			6000	
16	Скорость в полном грузу, км/ч	20,50			20,50	
17	Осадка в полном грузу, м	3,60			3,60	
18	Регламентация (2916 приказ Минпромторга) по:					
19	отечественной локализации	0,75				
20	согласованности	0,75				
21	функциональному признаку (энергобалансу)	1				
22	безопасности	1,0				
23	надёжности	0,75				
24	Режим работы судна (штатный)	1,00			1,00	
25	Требуемая мощность главного двигателя, кВт	714			714	
26	ГЛАВНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС					
27	Марка главных двигателей	0			4СН20/28	
28	Количество	2			2	
29	Номинальная мощность,кВт	0			720	
30	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)	0			0	
31	Марка главных передач	0			RR840	
32	Допустимый крутящий момент, кВт/(об/мин)	0			1,01	
33	Номинальное передаточное число	0			3,5	
34	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)	0			0	
35	Частота вращения гребных винтов, об/мин	0			286	
36	Диаметр,м	0			2,12	
37	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)	0			1	
38	Расчетная скорость в полном грузу, км/ч	0			21,1	
39	ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС					
40	Марка автономного котла				КОАВ-100	
41	Теплопроизводительность, кДж/ч				419000	
42	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)				1	
43	Количество утилизационных котлов				1	
44	Марка				КУВ-100	
45	Теплопроизводительность, кДж/ч				419000	
46	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)				1	
47	Количество основных дизель-генераторов				2	
48	Марка				ДГРА150/750	
49	Номинальная эффективная мощность, кВт				150	
50	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)				1	
51	Марка аварийно-стояночного дизель-генератора				ДГР75М1/1500	
52	Номинальная эффективная мощность, кВт				75	
53	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)				1	
54	Марка первого водоопреснителя				AFGU1-E1,5	
55	Производительность, т/сут.				1,5	
56	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)				0	
57	Марка второго водоопреснителя				AFGU1-E1,5	
58	Производительность, т/сут.				1,5	
59	Изготовитель (1- отечественный; 0 - зарубежный)		доля отечественного		0	доля отечеств
60	Индекс локализации				0,59	0,83
61	Индекс согласованности				0,87	
62	Индекс энергобаланса (1 - обеспечен; 0 - нет)				1	
63	Индекс безопасности				1,00	
64	Индекс надёжности				0,60	
65	Сбалансированность (1 - обеспечена; 0 - нет)				0	

Рис. Фрагмент программы формирования состава сбалансированной СЭУ

Как следует их таблицы, представленной на рисунке, для данного типового судна нет варианта сбалансированной энергетической установки из имеющейся номенклатуры отечественного судового оборудования, так как отсутствуют отечественные судовые дизели требуемой мощности и главные редукторные передачи необходимых параметров, для ликвидации дефицита которых, очевидно, и должны быть направлены усилия предприятий-изготовителей судового комплектующего оборудования.

Напротив традиционный вариант, в том числе и с использованием зарубежного оборудования имеется, но по индексам локализации и надежности он не отвечает предъявляемым требованиям к сбалансированным СЭУ. Следует заметить, что если при расчете индекса локализации не учитывать значимость оборудования, то его (индекса) значение вполне отвечает директивам по импортозамещению [2]. Между тем, даже отсутствие только главных двигателей является критичным не только для СЭУ, но и для судна в целом (нет главных двигателей – нет судна). В связи с этим только оценку индексов сбалансированности с учетом функциональной значимости судового оборудования следует считать объективной (корректной).

#### *Выводы*

1. Универсальность признаков сбалансированности комплексов и методики их количественной оценки делает блок сбалансированности программы пригодным для использования при формировании составов различных энергетических и транспортных комплексов.

2. Использование программы для формирования сбалансированных судовых энергетических установок и базы типовых судов позволяет выявить дефицит номенклатуры отечественного судового комплектующего оборудования и более обоснованно проводить мероприятия по импортозамещению.

3. Оценку индексов сбалансированности энергетических и транспортных комплексов целесообразно выполнять с учетом их (элементов) функциональной значимости в комплексах.

#### **Литература**

1. 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://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minpromtorga-Rossii-ot-06.07.2021-N-2468/> (дата обращения: 06.10.2023). – Текст : электронный.

2. 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://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minpromtorga-Rossii-ot-02.08.2021-N-2916/> (дата обращения: 06.10.2023). – Текст : электронный.

3. 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://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minpromtorga-Rossii-ot-06.07.2021-N-2469/> (дата обращения: 06.10.2023). – Текст : электронный.

4. Баев, А. С. Логико-семантическая методика оценки сбалансированности состава судовых энергетических установок / А. С. Баев. – DOI:10.24937/2542-2324-2020-1-S-I-125-127 // Труды ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2021. Специальный выпуск 1. – 2021. – С. 125–127.

5. Баев, А. С. Инновационная концепция судовых энергетических установок / А. С. Баев // Сборник трудов отраслевой научно-технической конференции. «Новые технологии в судостроении» НТС-2022. – Санкт-Петербург : АО «ЦТСС», 2022. – С. 12–15. – ISBN 978-5-902241-52-2.

*A.S. Bayev*

*St. Petersburg State Marine Technical University*

#### **APPLICATION OF COMPUTER PROGRAM TO FORM BALANCED COMPLEXES**

The article considers the signs of the balance of the complexes, the methodology of their quantitative assessment and the fragment of the computer program for the formation of balance complexes, based on the requirements for import substitution to power installation of ships.

The computer program, the balance of complexes, the import substitution, the additive procedure.