DOI: 10.25515/PMI.2018.2.167

УДК 65.012.3

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

С.В.КОЛЕСНИЧЕНКО, **О.В.АФАНАСЬЕВА**
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Приведены результаты анализа методов, позволяющих провести оценку технического уровня электротехнического комплекса (ЭТК) и представлена оригинальная методика, базирующаяся на применении интегрального показателя. Дана характеристика каждого этапа методики. Предложенный научно-методический аппарат оценки технического уровня ЭТК проиллюстрирован на примерах сравнения исполнительных элементов ЭТК (двигателей внутреннего сгорания) с использованием интегрального показателя качества, связывающего как основные характеристики образцов, так и средства, затраченные на их достижение.

Предложенный подход к оценке технического уровня и качества ЭТК на основе интегрального показателя целесообразно проводить уже на ранних стадиях жизненного цикла при решении следующих задач: обоснование экономической целесообразности разработки новых или улучшения качества выпускаемых ЭТК; выбор наилучшего варианта разрабатываемых ЭТК; обоснование требований к ЭТК; принятие решения о постановке и снятии ЭТК с производства; обоснование правил эксплуатации ЭТК в различных условиях.

Ключевые слова: технический уровень, качество, методика, электротехнический комплекс, двигатель внутреннего сгорания

***Как цитировать эту статью*:** Колесниченко С.В. Теоретические аспекты оценки технического уровня электротехнических комплексов / С.В.Колесниченко, О.В.Афанасьева // Записки Горного института. 2018. Т. 230. С. 167-175. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.167

Введение. Задача, связанная с совершенствованием отечественного научно-технического и проектного потенциала за счет разработки техники и технологий мирового уровня, весьма актуальна [15-17, 19, 20]. Одним из основных подходов решения поставленной задачи является использование передовых технологий, обширный научный поиск, внедрение современных достижений науки и технологии, а также постоянный рост требований к качеству создаваемых сложных технических систем.

Анализ ряда источников [8-11] показывает, что оценка качества продукции (изделий, образцов, систем) проводится на этапе разработки (оценивается технический уровень), на этапе приемки опытного образца и принятия решения о постановке продукции на производство (оценивается технический уровень) и на этапе производства продукции, причем в последнем случае оценивается технический уровень и качество изготовления.

Важными свойствами для оценки качества электротехнических комплексов (ЭТК) являются [11-14]: технический уровень, который отражает материализацию в продукции научно-технических достижений; эксплуатационный уровень, связанный с технической стороной использования продукции (уход за изделием, ремонт и т.п.); техническое качество, предполагающее взаимосвязь ожидаемых и фактических потребительских свойств при эксплуатации изделия (функциональная точность, надежность, срок службы); эстетический уровень, который характеризуется комплексом эстетических чувств и взглядов.

Под оценкой технического уровня сложных электротехнических комплексов (СЭТК) понимается совокупность действий, включающая, во-первых, выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, во-вторых, определение значений этих показателей и, в-третьих, сопоставление их с базовыми [9, 11, 12].

Известны различные методы сравнения вариантов образцов ЭТК и оценки их качества [3, 4, 6, 12, 18, 20]. Например, в работе [5] предлагается методика создания карт технического уровня и качества двигательных энергетических установок на основе полученных авторами критериев: безразмерного комплекса, характеризующего степень форсированности, массу, безотказность и долговечность двигателя; выражения для вычисления коэффициента готовности (технологичность двигателя); критериального уравнения технического уровня судовых двигателей. В работе [2] предложены критерии для оценки качества тепловых двигателей.

DOI: 10.25515/PMI.2018.2.167



Рис.1. Структурно-логическая схема методики оценки технического уровня ЭТК

Методология и методы исследования. Анализ положений теории эффективности ЭТК и нормативно-технической документации по управлению качеством продукции позволил разработать общую методику оценки технического уровня ЭТК, состоящую из следующих этапов (рис.1):

1) выбор номенклатуры показателей качества и обоснование ее необходимости и достаточности;

2) выбор или разработка методов определения значений показателей качества;

3) выбор базовых значений показателей и исходных данных для определения фактических значений показателей качества оцениваемых вариантов ЭТК;

4) определение фактических значений показателей качества оцениваемых вариантов СЭТК;

5) сравнительный анализ вариантов возможных решений и нахождение наилучшего.

Важнейшим этапом оценки качества любой технической системы, например двигателя внутреннего сгорания (ДВС), при ее создании, испытаниях, сертификации и эксплуатации является выбор и обоснование номенклатуры показателей сравнения. В соответствии с определениями ГОСТов [8, 9] показателем качества называют количественную характеристику одного или нескольких свойств продукции (образцов, изделий), составляющих качество, которую рассматривают применительно к определенным условиям создания и эксплуатации продукции. Показатели качества определяются с учетом особенностей каждого вида изделий [1, 11, 12]. Например, за характеристику качества двигателя внутреннего сгорания часто принимают вектор показателей потенциальных эффективностей функционирования ДВС, как правило, это мощность, масса двигателя, частота вращения коленчатого вала, диаметр цилиндра, среднее эффективное давление, средняя скорость поршня и т.д. [2, 6].

Построение векторного показателя существенно сложнее, чем скалярного. Поэтому на практике наиболее распространенным является подход, при котором от нескольких частных показателей переходят к единственной функции соответствия, т.е. к единственной целевой функции показателей [6, 12]. Все эти методы используют дополнительную информацию об относительной важности отдельных показателей.

DOI: 10.25515/PMI.2018.2.167

Рассмотрим краткую характеристику каждого этапа предложенной методики.

Известно, что номенклатура показателей качества весьма многочисленна и устанавливается с учетом: назначения и условий использования изделий; требований заказчиков; задач управления качеством изделий на всех стадиях жизненного цикла; состава и структуры характеризуемых свойств изделий. В общем случае имеется 10 групп единичных показателей [1, 9, 10]: 1) назначения; 2) надежности и долговечности; 3) экономичности; 4) эргономичности; 5) технологичности; 6) унификации; 7) экологичности; 8) безопасности; 9) эстетического; 10) патентно-правового.

Заметим, что существует несколько методов, применяемых для сравнения вариантов образцов сложной системы с целью оценки их технического уровня и качества [9, 12]. Эти методы позволяют проранжировать сравниваемые варианты по условным критериям предпочтения в зависимости от выбранных качественных показателей. Результаты таких исследований обычно записываются в виде матрицы, элементами которой являются ранги (порядковый номер) соответствующего образца. Номер строки каждого элемента этой матрицы соответствует номеру рассматриваемого показателя, а номер столбца – номеру рассматриваемого образца. Количество строк равно числу рассматриваемых качественных показателей, а количество столбцов – числу рассматриваемых вариантов образцов. Коэффициенты ранговой корреляции выступают в качестве интегральной меры предпочтения одного варианта перед другим [11, 12].

Рациональная номенклатура показателей сравнения, как правило, основывается либо на основе анализа заданной совокупности показателей, либо с помощью методов экспертного оценивания.

При оценке функциональной однородности сравниваемых типов ЭТК, а также выборе аналогов и базы сравнения предлагается использовать методы на основе динамических сгущений (для случаев одномерного сравнения) и многомерной иерархической классификации.

Алгоритм применения метода сравнения на основе количественных показателей включает следующие основные стадии:

1) определение перечня сравниваемых вариантов и эталона;

2) определение номенклатуры единичных показателей, характеризующих перспективный вариант ЭТК;

3) нормировка единичных показателей (приведение к безразмерной шкале в интервале от нуля до единицы, вычисление показателей q_i);

4) определение значимости («веса») каждого единичного показателя (α_i);

5) расчет коэффициентов близости (ρ_j) сравниваемых вариантов к эталону: чем меньше значение ρ_j, тем ближе сравниваемый вариант к эталону ($\rho_j \in [0\ldots1]$).

6) на основе рассчитанных значений коэффициентов близости формируется кортеж предпочтения рассматриваемых вариантов.

Коэффициент близости

$$\rho_j = \left[\sum_{i=1}^{n} \alpha_i \left(1 - \tilde{q}_{ij}\right)^2\right]^{1/2},$$

где q_{ij} – значение показателя i-го варианта образца, сравниваемого по j-му показателю; n – число альтернативных вариантов ЭТК.

Пример 1. Предположим, что ЭТК представляет собой совокупность технических устройств, среди которых можно выделить исполнительные устройства – двигатели внутреннего сгорания. Рассмотрим применение метода кластерного анализа для создания группы близких по оцениваемым характеристикам объектов на примере сравнения четырех типов среднеоборотных ДВС. Численные значения их характеристик взяты из каталога изделий, выпускаемых ОАО «РУМО», ОАО «Коломенский завод» и работы [6]. В табл.1 приведены исходные данные для сравнения следующих двигателей: 6ЧН22/28 ($Д_1$), 6ЧРН36/45 ($Д_2$), 8ЧН26/26 ($Д_3$) и 6ЧН20/30 ($Д_4$).

Сравнение дизелей будем проводить по характеристикам X_1 – X_{11}: X_1 – отношение хода поршня к диаметру втулки цилиндра; X_2 – среднее эффективное давление; X_3 – средняя скорость поршня; X_4 – форсированность двигателя; X_5 – цилиндровая мощность; X_6 – поршневая мощность; X_7 – стандартная удельная масса; X_8 – литровая масса; X_9 – габаритная мощность; X_{10} – удельная материалоемкость; X_{11} – удельная энергонасыщенность, – и потенциалу характеристик ω_j.

Таблица 1

Исходные данные для исследования

Показатель	Технические характеристики энергетических установок										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
Объект											
Д1	1,27	1,76	9,33	16,47	156,67	0,412	13,83	20,37	124,24	0,17	5785
Д2	1,25	1	7,5	7,53	191,67	0,188	25,13	10,52	55,18	0,42	2388
Д3	1	1,36	8,67	11,76	156,25	0,294	8,4	9,51	148,67	0,11	8929
Д4	1,5	2,42	10	24,17	190	0,605	9,39	18,93	113,87	0,12	8523
Количественные характеристики											
$\tilde{m}_{X_j}$	1,255	1,635	8,875	14,983	173,648	0,375	14,188	14,833	110,49	0,205	6406,25
$\tilde{G}_{X_j}$	0,204	0,609	1,065	7,131	19,859	0,179	7,668	5,609	39,654	0,146	3020,882
ω_j	0,000066	0,000196	0,000343	0,002298	0,006399	0,000058	0,002471	0,001808	0,012779	0,000047	0,973534

Применение кластерного анализа в общем виде сводится к следующим этапам: отбор выборки объектов для кластеризации; определение множества переменных, по которым будут оцениваться объекты в выборке; нормализация значений переменных (при необходимости); вычисление значения меры сходства между объектами; применение метода кластерного анализа для создания группы сходных объектов (кластеров); представление результатов анализа.

Вычислив математическое ожидание ($\tilde{m}_{X_j}$) и среднеквадратическое отклонение ($\tilde{G}_{X_j}$) каждой из характеристик объекта по формулам, приведенным в работах [11-13], получим нормированную матрицу (табл.2), элементы которой вычислены по формуле

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \tilde{m}_{X_j}}{\tilde{G}_{X_j}},$$

где $j = 1 \div 11$; $i = 1 \div 4$.

Таблица 2

Нормированная матрица показателей сравнения образцов

Объект	Нормированные значения характеристик										
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9	z_{10}	z_{11}
Д1	0,073	0,2054	0,4270	0,2086	–0,8549	0,2085	–0,0466	0,9873	0,3467	–0,2402	–0,2057
Д2	–0,0245	–1,0436	–1,2906	–1,0451	0,9075	–1,0451	1,4271	–0,7689	–1,3948	1,4755	–1,3302
Д3	–1,2477	–0,4519	–0,1924	–0,4519	–0,8761	–0,4519	–0,7548	–0,9489	0,9628	–0,6519	0,8351
Д4	1,1988	1,2901	1,0559	1,2884	0,8234	1,2885	–0,6259	0,7305	0,0852	–0,5833	0,7007

Поскольку каждый вариант проектируемого образца ЭТК характеризуется набором технических характеристик, оценка (сравнение) вариантов проводится по их совокупности. В этом случае расчет весовых коэффициентов (потенциалов) характеристик объектов выполняется в предположении того, что в качестве меры близости используется «взвешенное» евклидово расстояние. Потенциалы характеристик можно определять, используя выражение

$$\omega_j = \frac{\tilde{G}_{X_j}}{\sum_{j=1}^{m} \tilde{G}_{X_j}},$$

где m – число рассматриваемых качественных показателей.

DOI: 10.25515/PMI.2018.2.167

Известно [11, 12], что за степень близости (меру отклонения) объектов в данном случае может быть принята евклидова метрика. Расчет «взвешенного» евклидова расстояния выполняется по формуле

$$d_{ik}^2 = \sum_{j=1}^{m} (x_i^{(j)} - x_k^{(j)})^2 \omega_j ,$$

где d_{ik} – расстояние (суммарное) между объектами i и k; $x_i^{(j)}$ – j-я характеристика i-го объекта; $x_k^{(j)}$ – j-я характеристика k-го объекта.

В результате получили матрицу, состоящую из четырех столбцов и четырех строк (табл.3). На каждой итерации (в данном примере три итерации) вначале определяется минимальное расстояние между элементами в получаемой матрице d_{pq} (где p и q – номера наиболее близких кластеров). После их определения выполняется объединение этих кластеров, элементы нового кластера, например p*, вычисляются по формуле

$$d_{rp*}^2 = d_p d_{pp*}^2 + d_q d_{qp*}^2,$$

где d_p, d_q – средневзвешенные меры близости, $d_p = m_p/(m_p + m_q)$, $d_q = m_q/(m_p + m_q)$, m_p – количество элементов в кластере p; m_q – количество элементов в кластере q.

Таблица 3

Пошаговое выделение кластеров

Кластер	1-я итерация			
	1	2	3	4
1	0	1,3057881	1,0687414	0,82279457
2	1,3057881	0	4,66911446	4,0738512
3	1,0687414	4,66911446	0	0,05971028
4	0,82279457	4,0738512	0,05971028	0
D_{min} = 0,05971028	d_p = 1/2		d_q = 1/2	
Кластер	2-я итерация			
	1	2	3*	
1	0	1,3057881	0,94576798	
2	1,3057881	0	4,37148283	
3*	1,0687414	4,66911446	0	
D_{min} = 0,94576798	d_p = 2/3		d_q = 1/3	
Кластер	3-я итерация			
	1*	2		
1*	0	1,3057881		
2	3,34958459	0		

Графическое представление результатов многомерного сравнения вариантов целесообразно выполнять в виде графа иерархии (рис.2). Он строится следующим образом: на основе матрицы сходств выделяется два наиболее близких объекта, т.е. имеющих максимальный коэффициент сходства, затем в матрице пересчитываются сходства между всеми оставшимися объектами и этим новым объектом и так далее.

В результате проведенных вычислений получен итоговый кортеж предпочтения сравниваемых образцов сложных технических систем (двигателей): Д1 > Д3 ~ Д4 > Д2.

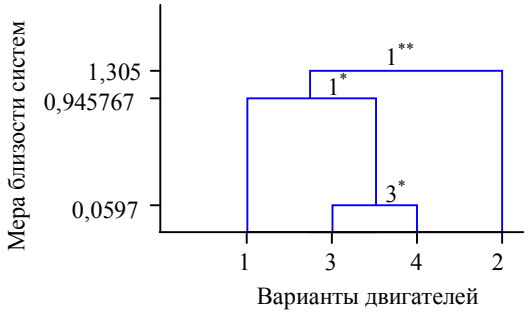


Рис.2. Граф иерархии (дендрограмма)

DOI: 10.25515/PMI.2018.2.167

Таким образом, проведенные исследования показали, что двигатели $Д_3$ и $Д_4$ по рассматриваемым характеристикам близки между собой и являются наиболее близкими к $Д_1$.

Пример 2. Рассмотрим пример интегрального показателя качества, связывающего как основные характеристики образцов, так и средства, затраченные для их достижения. Известно, что при выборе методов сравнения ЭТК используют единичные, комплексные и интегральные показатели качества [7, 13, 14, 16].

Комплексный показатель качества продукции вычисляют как сумму произведений показателей оцениваемых свойств на коэффициент весомости этого показателя [7, 11]. Как правило, вес показателя устанавливается экспертными методами [2, 3, 5-7].

Мультипликативная форма комплексного показателя качества системы (объекта) на основе среднего геометрического взвешенного представлена выражением

$$\overline{У}_{q_j} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} У_{q_j}^{\alpha_i}},$$

где $\overline{У}_{qj}$ – нормированные значения показателей качества.

Сравнение перспективного ЭТК с существующими обычно осуществляется сопоставлением его показателей с показателями, установленными государственными стандартами. Поэтому при оценке уровня качества, например ДВС, определяют отношение единичного показателя какого-либо свойства к базовому значению или наоборот, в зависимости от влияния исследуемого показателя на качество.

Если необходимо дать оценку по совокупности показателей, то используют обобщенный показатель [2, 3, 5-7, 11, 12], который может быть представлен как: главный относительный единичный показатель качества, интегральный или комплексный показатель качества [2, 6, 7, 11, 12].

В работе [7] предлагается оценивать уровень качества дизеля на каждом этапе функционирования как функцию пяти аргументов: 1) экологической эффективности конструкции; 2) экономичности конструкции; 3) конструктивных особенностей двигателей; 4) технологичности изготовления, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта; 5) производственных трудозатрат на изготовление, монтаж, техническое обслуживание и ремонт.

Проведенный анализ показал, что при оценке образцов элементов ЭТК, например ДВС, целесообразно использовать интегральный показатель качества, который относится к важнейшим показателям конечной производственной эффективности и представляет собой соотношение полезного эффекта в натуральных единицах от применения (потребления) продукции к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию.

В общем виде интегральный показатель качества ЭТК может быть записан в виде функции [12, 13], зависящей от следующих характеристик: $P_{б\,k}$ – k-й измеряемый показатель качества базового ЭТК; $P_{б\,j}$ – j-й неизмеряемый показатель качества базового ЭТК; $з_с$ – суммарные капитальные (единовременные) затраты на создание ЭТК, условные единицы стоимости (усл. ед. ст.); $з_э$ – суммарные эксплуатационные (текущие) затраты за весь срок службы, усл. ед. ст.; $E_н$ – норматив приведения разновременных затрат; α_k и β_j – коэффициенты весомости соответствующих единичных показателей качества, вычисляемые экспертным методом; t – срок службы (гарантийный срок службы) изделий, лет.

Суммарные капитальные (единовременные) затраты вычисляют по формуле

$$з_с = З_с(1 - E_н)^{-h},$$

где $З_с$ – суммарные капитальные затраты на создание продукции в момент их вложения (без приведения к расчетному году); h – время от момента вложения капитальных затрат до расчетного года.

Суммарные эксплуатационные (текущие) затраты за весь срок службы вычисляют по формуле

$$з_э = \sum_{i=1}^{t} з_{i\,э}(1 + E_н)^{i-1-l},$$

где $з_{i\,э}$ – эксплуатационные затраты, осуществленные в i-м году, усл. ед. ст.; l – время от начала эксплуатации до расчетного года, лет.

DOI: 10.25515/PMI.2018.2.167

Значение норматива $E_н$ устанавливается компетентными органами. При отсутствии утвержденного норматива приведения в наиболее распространенном диапазоне разновременности вложения затрат (до 10 лет) для оценки качества продукции рекомендуется принимать $E_н = 0{,}04 \div 0{,}015$ [11-13].

Подробное описание вычисления составляющих интегрального показателя качества приведено в работе [12]. В данном виде интегральный показатель позволяет более гибко оценивать качество существующих и проектируемых изделий, а также проводить сравнение альтернативных вариантов систем по количественным и качественным показателям [10, 12].

Таким образом, интегральный показатель качества ЭТК

$$I = F(P_{б\,k},\ P_{б\,j},\ з_с,\ з_э,\ t,\ E_н,\ \alpha_k,\ \beta_j).$$

Пример 3. С целью проверки работоспособности методики рассмотрим оценку технического уровня перспективного ДВС на основе сравнения с существующими по показателям, представленным в табл.4. Данные для исследования взяты из работы [6], значения весов α_k и β_j – из работ [6, 17].

Перечень учитываемых показателей в зависимости от требуемой точности оценки может быть расширен (например, значениями критериев, полученных проф. О.К.Безюковым).

Таблица 4

Показатели качества сравниваемых образцов

Показатель	Объект				Значения α_k и β_j
	Д1	Д2	Д3	Д4	
Технологичность, баллы	6	6	7	6	0,3
Степень автоматизации, баллы	8	6	7	8	0,25
Контролепригодность, баллы	7	4	7	8	0,2
Эргономичность, баллы	6	6	6	7	0,04
Степень стандартизации и унификации, баллы	6	2	4	6	0,1
Эстетические качества, баллы	4	2	3	4	0,03
Удельные средневзвешенные выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами на режиме номинальной мощности, г/кВт·ч:					
Оксиды азота	6,2	15	13	11,2	0,02
Оксиды углерода	0,5	3,4	0,4	0,6	0,02
Углеводороды	0,2	0,2	1	0,3	0,02
Сумма дополнительных показателей качества с учетом их весовых коэффициентов, баллы	6,6	5	6,4	6,8	0,02
Назначенный ресурс до капитального ремонта, тыс.ч	60	55	40	45	–
Эксплуатационные затраты, усл. ед. ст.	15	17	18	17	–
Стоимость (цена), усл. ед. ст.	37	31	35	37	–

В соответствии с принятой методикой [13] для вычисления интегрального показателя качества необходимо вычислить суммарный полезный эффект ($П_с$) от эксплуатации за весь срок службы, выраженный в натуральных единицах. Для этого найдем полезный эффект оцениваемого ЭТК, отличающегося от базового ($П_{баз}$) по шести измеряемым и семи неизмеряемым показателям качества, по формуле

$$П_1 = П_{баз}\left\{1 + \sum_{k=1}^{3}\alpha_k \frac{\Delta P_k}{\Delta P_{баз\,k}} + \sum_{j=1}^{7}\beta_j \frac{\Delta P_j}{P_{баз\,j}}\right\},$$

где α_k – коэффициент, вычисляемый экспертным методом; β_j – коэффициент, вычисляемый экспертным методом; ΔP_j – приращение j-го показателя качества ЭТК ($\Delta P_j = P_j - P_{баз\,j}$); $P_{баз\,j}$ – j-й неизмеряемый показатель качества базового ЭТК; ΔP_k – приращение k-го показателя качества ЭТК ($\Delta P_k = P_k - P_{баз\,k}$); $P_{баз\,k}$ – k-й измеряемый показатель качества базового ЭТК.

Заметим, что должно выполняться условие

$$\sum_{k=1}^{3}\alpha_k + \sum_{j=1}^{7}\beta_j = 1.$$

DOI: 10.25515/PMI.2018.2.167

Если капитальные затраты вносятся в расчетный год и эксплуатационные затраты по годам остаются постоянными, то приведенные затраты вычисляют с помощью следующего выражения:

$$З_{\text{пр.з}\,t} = з_{\text{с}} + З_{t\,\text{э}}\frac{(1+E_{\text{н}})^{t-1}}{E_{\text{н}}},$$

$$З_{t\,\text{э}} = \sum_{i=1}^{t} З_{i\,\text{э}}\left(1+E_{\text{н}}\right)^{i-1-t},$$

где $З_{i\,\text{э}}$ – эксплуатационные затраты, осуществленные в i-м году.

В остальных случаях приведенные затраты вычисляются как

$$З_{\text{пр.з}\,t} = З_{\text{с}}\left(1-E_{\text{н}}\right)^{-t} + \sum_{i=1}^{t} З_{i\,\text{э}}\left(1+E_{\text{н}}\right)^{i-1-t}.$$

В общем случае интегральный показатель качества определяется исходя из следующего выражения [11]:

$$I(t) = \frac{П_{\text{с}}}{з_{\text{с}} + з_{\text{э}}},$$

где $П_{\text{с}}$ – суммарный полезный эффект от эксплуатации за весь срок службы, выраженный в натуральных единицах.

Суммарный полезный эффект от эксплуатации изделий за весь срок службы t в случае, когда ежегодный эффект $П_1$ одинаков, вычисляют по формуле

$$П_{\text{с}} = \sum_{i=1}^{t} П_i = П_1 t,$$

где t – время от момента вложения капитальных затрат до расчетного года, лет.

В примере 1 было доказано, что рассматриваемые двигатели по сравниваемым характеристикам разбиваются на два отдельных класса, в первый входят двигатели под номерами один, три и четыре, а двигатель под номером два необходимо рассматривать отдельно. Поэтому двигатель $Д_2$ будем считать базовым, его полезный эффект принимается равным единице. Результаты вычислений приведены в табл.5.

Полезный эффект двигателя $Д_1$ равен 1,44. Это означает, что его полезный эффект в 1,44 раза выше, чем у базового двигателя $Д_2$. Несмотря на то, что у двигателя $Д_4$ полезный эффект оказался равным 1,52, суммарный полезный эффект у двигатель $Д_1$ (с учетом назначенного ресурса до капитального ремонта) выше почти на 27 %.

Таблица 5

Результаты вычисления значения интегрального показателя качества

Показатель	Объект			
	$Д_1$	$Д_2$	$Д_3$	$Д_4$
Полезный эффект $П_1$	1,440941	1	1,421953	1,515663
Суммарный полезный эффект $П_{\text{с}}$	9,86946	6,278539	6,492936	7,785939
Приведенные затраты $З_{\text{пр.з}\,t}$, усл. ед. ст.	69,08736	60,27277	53,0255	61,99276
Интегральный показатель качества $I(t)$, 1/условные единицы стоимости	0,142855	0,104169	0,122449	0,125594
Изменение (индекс качества)	+	–	+	+

Интегральный показатель технического уровня двигателя $Д_1$ выше базового $Д_2$ в 1,4 раза, хотя и приведенные затраты на его создание выше, чем у базового образа.

Заключение. Таким образом, проведенная комплексная оценка технического уровня перспективного ЭТК математически доказала как техническую, так и экономическую целесообразность разработки ЭТК, включающего ДВС данного типа ($Д_1$), причем изложенный научно-методический аппарат позволяет учитывать влияние различных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ахмин А.М.* Основы управления качеством продукции: Учебное пособие / А.М.Ахмин, Д.П.Гасюк. СПб: Изд-во «Союз», 2002. 192 с.

2. *Безюков О.К.* Критерии технического уровня основных элементов судовых газотурбинных двигателей // Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление: Материалы международ. научно-практической конференции. СПб: СПГУВК, 2010. Кн. 2. С. 113-121.

3. *Безюков О.К.* Методика формирования карты технического уровня и качества судовых дизелей / О.К.Безюков, И.В.Ивашин // Журнал Университета водных коммуникаций. 2009. № 1. С. 76-84.

4. *Безюков О.К.* Методы оценки виброактивности энергоустановок с использованием теории подобия и анализа размерностей / О.К.Безюков, О.В.Афанасьева // Записки Горного института. 2015. Т. 213. С. 36-46.

5. *Безюков О.К.* Оценка технического уровня и качества дизелей / О.К.Безюков, Д.А.Первухин, И.В.Ивашин // Двигателестроение. 2009. № 2. С. 52.

6. *Безюков О.К.* Оценка технического уровня и конкурентоспособности продукции Российского судостроения / О.К.Безюков, И.В.Ивашин // Водный транспорт России: инновационный путь развития: Международная научно-практическая конференция 6-7 октября 2010 г.: Сборник научных трудов. Т. 2 / Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций. СПб, 2011. С. 333-341.

7. *Боровикова И.А.* Оценка технического уровня качества судового двигателя // Вестник Государственного университета морского и речного флота адмирала С.О.Макарова. 2014. № 4. С. 138-146.

8. ГОСТ Р ISO 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2015. 27 с.

9. ГОСТ 15.467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1991. 34 с.

10. *Клавдиев А.А.* Оценка технического уровня отечественной и зарубежной ЭКБ / А.А.Клавдиев, В.А.Бабенко // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XIII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН. Т. 5. Экстремальная робототехника. СПб: НПО специальных материалов, 2010. С. 486-491.

11. *Колесниченко С.В.* Актуальные вопросы формирования однородных групп в задачах сравнения вариантов сложных технических систем // Современный менеджмент и экономика: проблемы и перспективы развития: Труды Международ. научно-практической конференции. СПб: СПИЭУ, 2015. С. 189-194.

12. *Колесниченко С.В.* Исследование подходов по оценке качества сложных технических систем на различных стадиях разработки // Записки Горного института, 2014. Т. 208. С. 244-248.

13. Методика определения и применения интегральных показателей качества промышленной продукции. М.: Изд-во стандартов, 1983. 26 с.

14. *Прохоренко В.А.* Прогнозирование качества систем / В.А.Прохоренко, А.Н.Смирнов. Минск: Наука и техника, 1976. 200 с.

15. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 февраля 2016 г. № 327-р. URL:http://government.ru./docs/22004/ (дата обращения 05.10.2017).

16. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и дальнейшую перспективу // Судостроение. 2007. № 6. С. 7-11.

17. *Тузов Л.В.* Вибрация судовых двигателей внутреннего сгорания / Л.В.Тузов, О.К.Безюков, О.В.Афанасьева. СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. 348 с.

18. *Филюстин А.Е.* Оценка вариантов технических систем на этапах разработки. СПб: Михайловская военная артиллерийская академия, 1993. 72 с.

19. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. URL:http://minenergo.gov.ru (дата обращения 05.10.2016).

20. *Bezyukov O.K.* Protection methods for ship crew and passengers against the vibration of power plants / O.K.Bezyukov, O.V.Afanasyeva // Life Science Journal, 2014. № 11 (5). P. 483-486. URL: http://www.lifesciencesite.com/lsj/life1105/070_24450life110514_483_486.pdf (дата обращения 05.10.2016).

***Авторы*: С.В.Колесниченко**, *д-р экон. наук*, *профессор*, *serjkop@yandex.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*), **О.В.Афанасьева**, *канд. техн. наук*, *доцент*, *OVAf@rambler.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*).

Статья принята к публикации 09.11.2016.