

Правила составления и вычитания матриц значений по двум группам показателей для оценки качества больших технических систем

К.З. Билятдинов, Е.А. Кривчун

Аннотация — представлены базовая формула и универсальная табличная форма для разработки структурно-функциональных моделей больших технических систем. В методе учтены приоритеты выполняемых функций и структурных подразделений больших технических систем, а также максимальные и минимальные значения базовых показателей качества технических систем. Для сравнения «идеальной» и реальных моделей предлагается применять соответствующее вычитание матриц значений показателей качества. Для этого разработаны матрицы показателей по двум группам: первая - где лучшим считается наименьшее значение показателя и вторая - где лучшим считается наибольшее значение показателя. По результатам вычитания матриц сформулированы правила сравнения моделей. Разработана табличная форма обработки результатов вычитания матриц, а также формулы расчета нормированных весовых коэффициентов важности для каждого значения показателя и комплексного показателя качества эксплуатации оцениваемых систем. Предложено правило составления рейтинга качества систем. Основной положительный эффект: существенное снижение затрат времени и ресурсов на оценку качества систем и возможность программной реализации рациональной обработки информации в процессе управления эксплуатацией больших технических систем.

Ключевые слова — метод, оценка, структурно-функциональная модель, матрица показателей качества, управленческие решения, эффективность.

I. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Сегодня поиск наиболее рациональных путей совершенствования управления большими техническими системами (далее – БТС) в зависимости от условий эксплуатации и состояния технических систем (изделий) в их составе (далее – ТС или систем) заставляет обратить особое внимание на необходимость существенного снижения затрат времени и ресурсов при

подготовке управленческих решений по результатам оценки качества ТС, эксплуатируемых в их составе.

Обычно для достижения этой цели используют методы квалиметрии или методы многокритериальной оптимизации (МОО, multi-objective optimization) [1 - 4].

Методы квалиметрии [5] являются апробированным и надёжным инструментом, но требуют существенного развития математического аппарата для каждой оцениваемой предметной области, а также для детализации выполняемых функций системы.

В отношении применения методов многокритериальной оптимизации для комплексной оценки качества БТС в процессе эксплуатации не всё так однозначно.

Поэтому сегодня большое внимание уделяется разработке алгоритмов и методологий для решения задач методом многокритериальной оптимизации с использованием критерия Парето [1, 2].

Многие проблемы производственной инженерии, особенно проблемы принятия стратегических решений с участием различных заинтересованных сторон, обычно влекут за собой множественные и конфликтующие цели. Эти проблемы одними лишь методами многокритериальной оптимизации трудно решить, поскольку обычно невозможно определить наиболее рациональное решение по выбору лучшей БТС (или периода времени функционирования этой системы), которое полностью удовлетворяет всем критериям (ссылка на статью №2).

В особенности это проявляется при решении задач организации производства [1, 4], при решении задач логистики, возникающих при транспортировке опасных материалов [3] и при обосновании управленческих решений, когда присутствует определенная субъективность лица, принимающего решения (далее – ЛПР) [1, 5].

Современные научные исследования в этой области [6, 7] обосновывают наиболее рациональные пути интеграции знаний в сфере управления ресурсами сложных систем для устойчивого развития [8], а именно: снижение всевозможных рисков [7, 9] и повышения эффективности сложных промышленных систем за счет

К.З. Билятдинов – к.в.н., доцент ФГАОУВО «Национальный исследовательский университет ИТМО» (email: k74b@mail.ru).

Е.А. Кривчун – к.х.н., доцент ФГАОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (email: kkrivchun@yandex.ru).

рационального использования информационных ресурсов [6, 10].

Вышеприведённые обстоятельства заставляют обратить внимание многих ученых [11, 12, 13] на развитие и совершенствование прикладной теории матриц в интересах обеспечения итерационного подхода [11] к обработке информации и управляемости сложных систем [13, 14] с учетом динамики внешних воздействий. Совершенствование управления БТС без затрат дополнительных ресурсов возможно путем выполнения таких работ параллельно с непрерывным анализом полученных результатов и корректировкой последующих управленческих решений [7, 9, 11] на основе применения структурно-функциональных моделей (СФМ) БТС, формируемых в специально разработанных табличных формах. По сути, в этом случае, матрицы значений показателей качества систем (далее – Матрицы) будут составляться с учётом значений показателей качества, содержащихся в соответствующих СФМ БТС.

Таким образом, будет логичным сформулировать следующую постановку задачи: разработать метод оценки качества БТС (ТС в их составе) на основе сравнения базовой и реальной структурно-функциональных моделей БТС (далее – Метод), пригодный для программной реализации оценки качества и обработки информации при эксплуатации различных ТС, в интересах существенного снижения затрат времени и ресурсов при подготовке управленческих решений.

II. ОСНОВА РАЗРАБОТКИ МЕТОДА: БАЗОВАЯ ФОРМУЛА СФМ БТС

Анализ результатов научных исследований [11, 16-22] и необходимость обеспечения требуемой детализации при подготовке управленческих решений обосновывают разработку требуемых СФМ в виде табличных форм (пример – рис. 1 - 6).

Базовая формула для структурно-функционального моделирования БТС в заданных табличных формах (рис. 1 – 5) представляет собой следующее выражение (на примере базовой СФМ – M_B):

$$M_B = (O, F_N, ST, P, \varphi, S_B, \Delta T_B),$$

в котором $O=(орг., M)$, где орг. – оператор организации, а M – технические системы (ТС);

- $F_N = (Rg., f)$, где Rg. – оператор ранжирования, а f – функции системы;

- ST – структура БТС, структурные подразделения, в примере (на Рис. 1 - 5) – это «1, 2 и 3 подсистемы»;

- P – множество показателей качества ТС: в таблице 1 – от P_1 до P_k ;

- S_B – базовые (требуемые) затраты ресурсов;

- ΔT_B – базовое (требуемое) время эксплуатации.

- φ – множество коэффициентов вето в виде установленных ограничений для значений P : Q_{min} и Q_{max} .

Базовая формула СФМ БТС определяет, что в СФМ БТС ранжирование функций, а также структурных подразделений и ТС, которые обеспечивают выполнение этих функций, проводится в зависимости от их важности для достижения цели функционирования БТС (Рис. 1).

При построении СФМ системы рекомендуется важные показатели ранжировать в зависимости от их значимости для достижения цели функционирования БТС от 1 до k .

В представленном примере базовой СФМ системы (Рис. 1) соответственно, на первом месте будет самый важный показатель качества БТС (по мнению разработчика СФМ системы), то есть количество выпускаемой продукции (P_1), а на последнем месте k будет наименее важный показатель: время простоя оборудования (P_5).

Здесь и далее в Методе: k – это количество выбранных для оценки показателей качества (P).

В Матрицах количество строк равняется числу m (количеству значений показателей в таблице СФМ), а количество столбцов (n) равно произведению: $n=2k$.

Важно отметить, что использование предлагаемых унифицированных табличных форм СФМ может быть рациональным и при оценке эффективности и рисков сложных систем [23, 24, 25], а также в информационных системах [10, 20, 26].

Таким образом, можно обоснованно сформулировать назначение, область применения, принятые допущения и ограничения Метода, в котором будут применяться представляемые правила составления и вычитания Матриц.

Назначение Метода – расчёт значений комплексных показателей качества функционирования однотипных систем (периода времени функционирования одной системы) и составление их рейтинга для обоснования управленческих решений по выбору лучшей системы и (или) лучшего периода времени функционирования одной системы.

Область применения – оценка качества функционирования БТС в процессе эксплуатации.

Допущения – существует множество требуемых и действительных значений показателей качества систем, характеризующих выполнение функций БТС в процессе эксплуатации.

Ограничения:

- оцениваемые БТС однотипны по составу систем;

- оцениваемые БТС выполняют одинаковые функции в одинаковых условиях эксплуатации в течении всего оцениваемого периода времени.

III. СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПОВ, ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ И МАТРИЦ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Метод включает в себя выполнение трех этапов:

Поэтапное применение и сущность Метода целесообразно рассмотреть на основе примера его практического применения при использовании программы для ЭВМ «Оценка качества систем с помощью структурно-функционального моделирования и вычитания матриц значений показателей качества»

(рис. 1 – 6). При этом в представленном примере приведены в достаточной степени универсальные показатели качества (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5), пригодные для комплексной оценки качества функционирования

большинства БТС: промышленных предприятий, объектов транспортной инфраструктуры, объектов связи, различных информационных систем, объектов топливно-энергетического комплекса и др.

Загрузить систему

Выберите файл

Создать новую систему

Название системы:

Количество ТС:

Количество Показателей качества:

Название:

	Количество выпускае		Брак (P2), проценты		Количество персонал		Ресурс эксплуатации		Время простоя обору	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	289	311	0	5	28	34	0	15	0	24
2 подсистема	40	40	0	7	6	10	0	10	0	8
3 подсистема	142	153	0	3	17	19	0	10	0	16

Рис. 1. Программная реализация разработки базовой структурно-функциональной модели БТС при выполнении первого этапа Метода (определение базовых требований к качеству функционирования БТС в оцениваемом квартале)

Название:

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	294	294	0	4	28	30	0	11	0	0
2 подсистема	40	40	0	6	8	8	0	9	0	2
3 подсистема	150	150	0	1	17	17	0	9	0	5

Q1=3.5892

Рис. 2. Программная реализация разработки реальной структурно-функциональной модели БТС в I квартале

Название Реальная СФМ БТС во II кв										
	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	302	302	0	7	29	33	0	9	0	4
2 подсистема	40	40	0	7	6	8	0	5	0	6
3 подсистема	144	144	0	3	17	17	0	7	0	5

Система Реальная СФМ БТС во II квартале не участвует в рейтинге, так как не соответствует базовым требованиям

Рис. 3. Программная реализация разработки реальной структурно-функциональной модели БТС во II квартале с выводами о несоответствии базовым требованиям согласно правил составления матриц (процент бракованной продукции в 1-й подсистеме выше установленных требований в базовой СФМ БТС)

Первый этап. Разработка базовой СФМ БТС посредством систематизации функций, требований и ограничений к БТС и ТС в ее составе в специально разработанной табличной форме (Рис. 1).

В базовой СФМ предусмотрено введение коэффициента вето ($\varphi(Q_i)$), так как в любой БТС есть требования к установленным параметрам, снижение которых категорически недопустимо, то есть в примере (Рис. 1) это выражено в применении базовых требований к значениям показателей качества Q_{min} и Q_{max} .

На основе базовой структурно-функциональной модели БТС (Рис. 1) для дальнейших расчетов целесообразно составить матрицу базовых значений показателей качества (B_{Qmn}) – формула (2):

$$B_{Qmn} = \begin{pmatrix} Q_{1.1.1min} & Q_{1.1.1max} & \dots & Q_{1.1.kmin} & Q_{1.1.kmax} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{1.j.1min} & Q_{1.j.1max} & \dots & Q_{1.j.kmin} & Q_{1.j.kmax} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{i.j.1min} & Q_{i.j.1max} & \dots & Q_{i.j.kmin} & Q_{i.j.kmax} \end{pmatrix} \quad (2)$$

На первом этапе применяются три специально разработанных правила составления Матриц.

В соответствии с этими правилами и в зависимости от групп показателей качества матрицу (2) рационально преобразовать в две матрицы:

$$B_{Qmn} = B_{1mn} + B_{2mn}.$$

Первое правило составления Матриц для первой группы показателей качества (B_{1mn}), где лучшим считается наименьшее значение показателя оценки качества (Q_{min}). В примере на рисунке 1 показателями первой группы являются:

- процент бракованной продукции (P_2), единица измерения показателя, соответственно, проценты;
- затраты ресурса эксплуатации оборудования (P_4), единица измерения – проценты;

- время простоя оборудования (P_5), единица измерения – часы.

В матрице B_{1mn} вместо всех минимальных значений показателей качества (Q_{min}) ставиться ноль. И тогда матрица B_{1mn} приобретает вид (3):

$$B_{1mn} = \begin{pmatrix} 0 & Q_{1.1.1max} & \dots & 0 & Q_{1.1.kmax} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & Q_{1.j.1max} & \dots & 0 & Q_{1.j.kmax} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & Q_{i.j.1max} & \dots & 0 & Q_{i.j.kmax} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Второе правило составления Матриц для второй группы показателей качества (B_{2mn}) где лучшим считается наибольшее значение показателя оценки качества (Q_{max}).

Соответственно по аналогии с формулой (3) в матрице B_{2mn} вместо всех максимальных значений показателей качества (Q_{max}) ставиться ноль.

И тогда матрица B_{2mn} приобретает вид (4):

$$B_{2mn} = \begin{pmatrix} Q_{1.1.1min} & 0 & \dots & Q_{k.1.1min} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{1.j.1min} & 0 & \dots & Q_{1.j.kmin} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{i.j.1min} & 0 & \dots & Q_{i.j.kmin} & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

В примере (Рис. 1) отсутствуют показатели, которые могут входить только во вторую группу.

Третье правило: если для какого-то показателя задан диапазон базовых значений от Q_{min} до Q_{max} , то в этом случае эти значения учитываются по вышеизложенным правилам и в первой и во второй группе. То есть значения Q_{min} будут присутствовать в матрице B_{2mn} , формула (4), а значения Q_{max} войдут в состав матрицы B_{1mn} – формула (3).

В примере на рисунке 1 показателями, значения которых будут входить в матрицы первой и второй группы являются:

- количество выпускаемой продукции (P_1), единица измерения – комплект;
- количество персонала, задействованного в производстве этой продукции (P_3), единица измерения – специалист.

Таким образом, на первом этапе Метода с помощью структурно-функционального моделирования и Матриц определяются базовые требования к системе.

Второй этап. Построение на основе базовой СФМ (Рис. 1) реальных СФМ БТС (Рис. 2 – 5) в табличной форме путем заполнения данных о структуре и функциях реальной БТС, а также внесением в соответствующие ячейки табличной формы действительных значений показателей качества (P) диапазонов значений: $Q_{i,j,zpmin}$ и $Q_{i,j,zpmax}$.

На основе практического опыта в качестве рекомендации при выполнении второго этапа Метода стоит отметить, что важно соблюдать при построении реальных СФМ соответствие установленным единицам

измерения показателям качества для всех разрабатываемых СФМ систем.

Например, если время простоя оборудования (P_5) принято измерять в базовой СФМ в часах (Рис. 1), то данная единица измерения для данного показателя качества должна использоваться при разработке всех реальных СФМ оцениваемой БТС (Рис. 2 – 5).

Далее на втором этапе аналогично формулам Матриц (3) и (4) проводится составление матриц действительных значений показателей качества первой группы (R_{Q1}) и матрицы второй группы (R_{Q2}) – пример: Рис. 2 – 5.

В представленном примере демонстрируется вариант составления реальных СФМ БТС (Рис. 2 – 5) для комплексной оценки качества функционирования одной БТС за четыре равных периода времени – квартал (три месяца года).

Название Реальная СФМ БТС в III кв:										
	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	310	310	0	2	28	34	0	14	0	20
2 подсистема	40	40	0	5	9	10	0	10	0	7
3 подсистема	150	150	0	2	18	18	0	10	0	15

Q3=2.2925

Рис. 4. Программная реализация разработки реальной структурно-функциональной модели БТС в III квартале

Название Реальная СФМ БТС в IV кв:										
	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	295	295	0	4	29	32	0	12	0	18
2 подсистема	40	40	0	3	9	9	0	6	0	4
3 подсистема	152	152	0	3	19	19	0	3	0	10

Q4=2.8323

Рис. 5. Программная реализация разработки реальной структурно-функциональной модели БТС в IV квартале

Таблица I. Значения разностей показателей качества (ΔQ_i), полученных при сравнении базовой и реальных СФМ БТС с учетом нормированных весовых коэффициентов важности для каждого значения показателя (q_i)

Номера строк/ столбцов	Произведение значения разностей показателей качества (ΔQ_i) и q_i					
	1	2	...	k	...	n
1	$q_1 \Delta Q_1$	$q_2 \Delta Q_2$	...	$q_k \Delta Q_k$	...	$q_n \Delta Q_n$
2	$q_{n+1} \Delta Q_{n+1}$	$q_{n+2} \Delta Q_{n+2}$	...	$q_{n+k} \Delta Q_{n+k}$	...	$q_{2n} \Delta Q_{2n}$
...
z	$q_{(z-1)n+1} \Delta Q_{(z-1)n+1}$	$q_{(z-1)n+2} \Delta Q_{(z-1)n+2}$	...	$q_{(z-1)n+k} \Delta Q_{(z-1)n+k}$	...	$q_{zn} \Delta Q_{zn}$
...
m	$q_{(m-1)n+1} \Delta Q_{(m-1)n+1}$	$q_{(m-1)n+2} \Delta Q_{(m-1)n+2}$	...	$q_{(m-1)n+k} \Delta Q_{(m-1)n+k}$	...	$q_{mn} \Delta Q_{mn}$

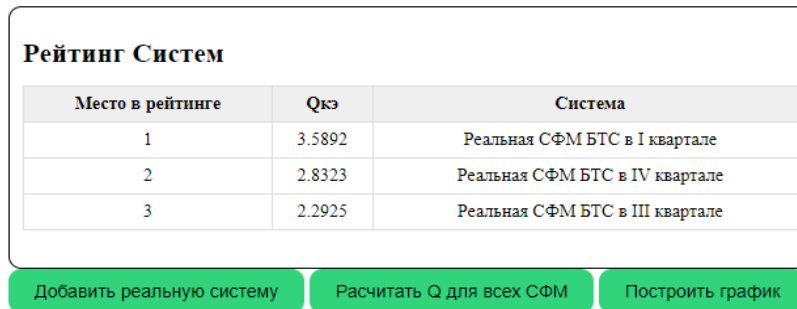


Рис. 6. Программная реализация построения рейтинга качества систем

Третий этап. Оценка качества БТС путем сравнения «идеальной» и реальной структурно-функциональных моделей БТС с систематизацией результатов в унифицированной табличной форме (таблица).

Непосредственно комплексная оценка качества производится путем вычитания матриц по формулам:

- для матриц первой группы показателей:

$$C_{1mn} = B_{1mn} - R_{1mn};$$

- для матриц второй группы показателей:

$$C_{2mn} = R_{2mn} - B_{2mn}.$$

Основное правило сравнения СФМ БТС: если матрицы C_{1mn} и C_{2mn} содержат в своем составе отрицательное число ($\Delta Q_i < 0$), то делается вывод, что реальная СФМ БТС не соответствует требованиям и данная БТС не участвует в оценке качества (Рис. 3).

Далее осуществляется сложение матриц:

$$C_{mn} = C_{1mn} + C_{2mn}.$$

В итоге матрица разностей значений показателей (C_{mn}) приобретает следующий вид:

$$C_{mn} = \begin{vmatrix} \Delta Q_1 & \Delta Q_2 & \dots & \Delta Q_{2k-1} & \Delta Q_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta Q_{2k(z-1)} & \Delta Q_{2k(z-1)+1} & \dots & \Delta Q_{2kz-1} & \Delta Q_{2kz} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta Q_{2k(m-1)} & \Delta Q_{2k(m-1)+1} & \dots & \Delta Q_{2mk-1} & \Delta Q_{2mk} \end{vmatrix}$$

На основе полученной матрицы разностей значений показателей (C_{mn}) заполняется вспомогательная таблица «Значения разностей показателей качества (ΔQ_i), полученных при сравнении базовой и реальных СФМ БТС с учетом нормированных весовых коэффициентов

важности для каждого значения показателя (q_i)» (далее – таблица).

IV. СОСТАВЛЕНИЕ РЕЙТИНГА КАЧЕСТВА БТС

Для усиления практической значимости Метода целесообразно составить таблицу разностей значений показателей качества (таблица) на основе матрицы разностей значений показателей (C_{mn}).

В таблице нормированные весовые коэффициенты важности для каждого значения показателя в зависимости от приоритетов выполняемой функции технической системой в составе БТС (q_i), рассчитываются по формуле (5):

$$q_i = \frac{2((mn - l) + 1)}{mn + (mn)^2} \quad (5)$$

Используя формулу (5) и данные из таблицы наиболее рационально рассчитать комплексный показатель качества функционирования БТС (Q_K) по формуле (6):

$$Q_K = \sum_{l=1}^{l=mn} \Delta Q_l \frac{2((mn - l) + 1)}{mn + (mn)^2} \quad (6)$$

Применяя в Методе формулу (6), рационально оценивать множество реальных БТС (ТС эксплуатируемых в их составе) с построением рейтинга качества БТС по принципу: чем больше значение Q_K (лучше значения ΔQ), тем выше качество системы.

Правило составления рейтинга выражается формулой (7):

$$Q_{кэ\max} > Q_{кэ\gamma} > \dots > Q_{кэ\min} \Rightarrow 1, 2, \dots, x \quad (7)$$

Таким образом, составление рейтинга будет способствовать принятию своевременных и обоснованных управленческих решений по повышению эффективности эксплуатации БТС (Рис. 6).

Кроме того, применение предлагаемых СФМ и правил составления и вычитания Матриц существенно снижает влияние субъективности и личной заинтересованности ЛПР и должностных лиц органов управления БТС при оценке качества систем.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях программная реализация представленного Метода повышает эффективность управления БТС за счет принятия своевременных и обоснованных управленческих решений по результатам оценки качества систем в процессе эксплуатации.

Метод позволяет совершенствовать интерактивные процедуры оценки качества, эффективности и надежности [16, 27, 28], что в целом основывается на возможности его рациональной практической реализации в различных подсистемах управления БТС, используя доступные программные средства.

Важным достоинством Метода и предлагаемых табличных форм СФМ систем заключается в оценке качества БТС на основе динамики действительных значений показателей качества ТС в режиме реального времени с использованием информации, получаемой из внутренних и внешних источников. При этом в отличие от методологии SADT представленный Метод, благодаря разработанным в его составе правилам составления СФМ и вычитания матриц, может быть интегрирован с другими методами оценки качества [28, 29]. Поэтому в рассматриваемой предметной области применение Метода имеет ряд преимуществ перед методами квалиметрии [5] и методами многокритериальной оптимизации с использованием критерия Парето [1, 2]. Эти преимущества заключаются в следующем: типовые унифицированные табличные формы, Матрицы и формулы вычитания Матриц способствуют реализации сравнительного анализа результатов оценки. Сегодня это особенно важно для рациональной обработки информации и своевременного обоснования различных вариантов управленческих решений по выбору лучших систем, изменению состава систем и (или) модернизации оборудования.

На практике множество СФМ БТС, результатов оценки качества и вариантов управленческих решений, полученных в различные периоды времени и в различных условиях эксплуатации будут выступать важнейшей частью интеграционных резервов повышения эффективности эксплуатации БТС без затрат дополнительных ресурсов и времени.

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] Duddy C., Piggins A. A foundation for Pareto optimality // Journal of

- Mathematical Economics. 2020. 88. P. 25-30.
- [2] Petchrompo S., Coit D. W., Brintrup A., Wannakrairot A., Kumar Parlikad A. A review of Pareto pruning methods for multi-objective optimization // Computers & Industrial Engineering. 2022. 167. 108022.
- [3] Men J., Chen G., Zhou L., Chen P. A pareto-based multi-objective network design approach for mitigating the risk of hazardous materials transportation // Process Safety and Environmental Protection. 2022. 161. 860-875.
- [4] Andria J. A computational proposal for a robust estimation of the Pareto tail index: An application to emerging markets // Applied Soft Computing. 2022. 114. 108048.
- [5] Azgaldov G., Kostin A. Applied Qualimetry: Its origins, errors and misconceptions // Benchmarking: An International Journal, Volume 18, Number 3, 2011. P. 428-444.
- [6] Freund, L., Al-Majeed, S., Millard, A. Towards the Definition of a Strategic Complexity Management Framework for Complex Industrial Systems // 16th International System of Systems Engineering Conference, SoSE 2021. 9497491, с. 210-215.
- [7] Ilic, M., Jaddivada, R. Unified value-based feedback, optimization and risk management in complex electric energy systems // Optimization and Engineering. 2020. 21(2), с. 427-483
- [8] Katina, P.F., Pyne, J.C., Keating, C.B., Komljenovic, D. Complex system governance as a framework for asset management // Sustainability (Switzerland). 2021. 13(15), 8502
- [9] Cox, T., Lowrie, K. Improving Risk Management of Complex Systems // Risk Analysis. 2021. 41(1), с. 1-2.
- [10] Vartanyan, A.A. Improving the efficiency of an industrial enterprise due to the architectural approach to a complex information management system // Research in World Economy. 2020. 11(3), с. 311-319.
- [11] Adhikari, S., Chakraborty, S. Random matrix eigenvalue problems in structural dynamics: An iterative approach // Mechanical Systems and Signal Processing. 2021. 164,108260.
- [12] Fang, L., Damanik, D., Guo, S. Generic spectral results for CMV matrices with dynamically defined Verblunsky coefficients // Journal of Functional Analysis. 2020. 279(12),108803.
- [13] Liu, B., Su, H., Wu, L., Shen, X. Controllability for multi-agent systems with matrix-weight-based signed network // Applied Mathematics and Computation. 2021. 411,126520.
- [14] Mongia, A., Majumdar, A. Matrix completion on learnt graphs: Application to collaborative filtering // Expert Systems with Applications. 2021. 185,115652.
- [15] Kesarwani, A., Pandey, S.K., Sarkar, S., Venkateswarlu, A. Recursive MDS matrices over finite commutative rings // Discrete Applied Mathematics. 2021. с. 384-396.
- [16] Билягдинов К.З. Комплексная методика оценки качества технических систем в процессе эксплуатации // Научно-технический вестник Поволжья. №11, 2020. – С. 20 – 23.
- [17] Cox, T., Lowrie, K. Improving Risk Management of Complex Systems // Risk Analysis. 2021. 41(1). P. 1-2.
- [18] Martins, L.A., Afonso, P., Freire, A.P., Costa, H. Evolution of quality assessment in SPL: A systematic mapping // IET Software. 14(6), 2020. P. 572-581.
- [19] Minnullina A., Minnullin R., Kopytova A., Savoskina E. Production strategy development for an energy company based on SADT // E3S Web of Conferences. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020", 2020. 07015.
- [20] Nski, M.J., Sikorski, T., Kaczorowska, D., (...), Nda, J.S., Janik, P. A case study on power quality in a virtual power plant: long term assessment and global index application // Energies. 2020. 13(24). 6578.
- [21] Oluwatobi, A.O., Alli-Johnson, V.A., Ayedun, C.A., Akinjare, O.A. Assessment of the effectiveness of maintenance management systems in delivering quality maintenance services in higher institutions // Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1299(1). 012015.
- [22] Riahinezhad, M., Masson, J.-F., Collins, P., (...), Lacasse, M.A., Johansen, J. Innovative Construction Products: From Qualification and Performance Assessment to Quality Control // Journal of Architectural Engineering. 2021. 27(3). 04021021.
- [23] Calabrese R., Osmetti S.A. A new approach to measure systemic risk: A bivariate copula model for dependent censored data // European Journal of Operational Research. 2019. Vol. 279(3). - P. 1053-1064.
- [24] Gerami J. An interactive procedure to improve estimate of value efficiency in DEA // Expert Systems with Applications. 2019. № 137. - P. 29-45.
- [25] Pačaiová H., Sinay J., Nagyová A. Development of GRAM – A risk measurement tool using risk based thinking principles // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. 2017. № 100. - P. 288-296.

- [26] Kalimoldayev M., Abdildayeva A., Mamyrbayev O. Information system based on the mathematical model of the EPS. *Open engineering*. 2016. Vol. 6. No. 1. Pp. 464-469.
- [27] Shafik M.B., Chen H., Rashed G. Planning and reliability assessment to integrate distributed automation system into distribution networks utilizing binary hybrid PSO and GSA algorithms considering uncertainties // *International Transactions on Electrical Energy Systems*. 2020. Article e12594
- [28] Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. Development and improvement of assessment means of technical systems quality in the process of maintenance // *Proceedings of the 9th International Conference «Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education» (GRID'2021)*, Dubna, Russia, July 5-9, 2021. Vol. 3041, p. 579-583.
- [29] Biliatdinov K.Z., Dosikov V.S., Meniailo V.V. Improvement of the paired comparison method for implementation in computer programs used in assessment of technical systems' quality // *Computer Research and Modeling*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 1125-1135.

Rules for compiling and subtracting matrixes of values for two groups of indicators for assessing the quality of big technical systems

K.Z. Bilyatdinov, E.A. Krivchun

Annotation — The article presents a basic formula and a universal table for development of structure functional models of big technical systems. The method takes into account priorities of performed functions and substructures of big technical systems, also, maximum and minimum values of basic indices of technical systems. In order to compare “ideal” and real models it is recommended to use a corresponding subtraction of matrixes of quality indices. For this purpose, matrixes of indices are sorted into two groups: the one, where the minimum value of an index is considered the best, and another, where the maximum value is considered the best. The results of matrixes subtraction make a basis for the rules of models comparison. The article demonstrates a specifically designed table for processing of the results of matrixes subtraction and calculation formulas of standardized weighting coefficients of importance for each index and a complex quality index of maintenance of the assessed systems. It also contains rules of making ratings of systems’ quality. The main positive effect from the application of the proposed method is a considerable decrease of time and resources needed for the quality assessment of systems and a possibility of software realization of a rational processing of information in the process of management of big technical systems’ maintenance.

Keywords — method, assessment, structure functional model, matrix of quality indices, managerial decisions, effectiveness.

REFERENCES

- [1] Duddy C., Piggins A. A foundation for Pareto optimality // *Journal of Mathematical Economics*. 2020. 88. P. 25-30.
- [2] Petchrompo S., Coit D. W., Brintrup A., Wannakrairoit A., Kumar Parlikad A. A review of Pareto pruning methods for multi-objective optimization // *Computers & Industrial Engineering*. 2022. 167. 108022.
- [3] Men J., Chen G., Zhou L., Chen P. A pareto-based multi-objective network design approach for mitigating the risk of hazardous materials transportation // *Process Safety and Environmental Protection*. 2022. 161. 860-875.
- [4] Andria J. A computational proposal for a robust estimation of the Pareto tail index: An application to emerging markets // *Applied Soft Computing*. 2022. 114. 108048.
- [5] Azgaldov G., Kostin A. Applied Qualimetry: Its origins, errors and misconceptions // *Benchmarking: An International Journal*, Volume 18, Number 3, 2011. P. 428-444.
- [6] Freund, L., Al-Majeed, S., Millard, A. Towards the Definition of a Strategic Complexity Management Framework for Complex Industrial Systems // *16th International System of Systems Engineering Conference, SoSE 2021*. 2021. 9497491, c. 210-215.
- [7] Ilic, M., Jaddivada, R. Unified value-based feedback, optimization and risk management in complex electric energy systems // *Optimization and Engineering*. 2020. 21(2), c. 427-483
- [8] Katina, P.F., Pyne, J.C., Keating, C.B., Komljenovic, D. Complex system governance as a framework for asset management // *Sustainability (Switzerland)*. 2021. 13(15),8502
- [9] Cox, T., Lowrie, K. Improving Risk Management of Complex Systems // *Risk Analysis*. 2021. 41(1), c. 1-2.
- [10] Vartanyan, A.A. Improving the efficiency of an industrial enterprise due to the architectural approach to a complex information management system // *Research in World Economy*. 2020. 11(3), c. 311-319.
- [11] Adhikari, S., Chakraborty, S. Random matrix eigenvalue problems in structural dynamics: An iterative approach // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2021. 164,108260.
- [12] Fang, L., Damanik, D., Guo, S. Generic spectral results for CMV matrices with dynamically defined Verblunsky coefficients // *Journal of Functional Analysis*. 2020. 279(12),108803.
- [13] Liu, B., Su, H., Wu, L., Shen, X. Controllability for multi-agent systems with matrix-weight-based signed network // *Applied Mathematics and Computation*. 2021. 411,126520.
- [14] Mongia, A., Majumdar, A. Matrix completion on learnt graphs: Application to collaborative filtering // *Expert Systems with Applications*. 2021. 185,115652.
- [15] Kesarwani, A., Pandey, S.K., Sarkar, S., Venkateswarlu, A. Recursive MDS matrices over finite commutative rings // *Discrete Applied Mathematics*. 2021. c. 384-396.
- [16] Bilyatdinov K Z. Complex methodology of technical systems quality assessment in the process of maintenance 2020 *Scientific and technical Volga region bulletin* 11 pp 20-23 (in Russian)
- [17] Cox, T., Lowrie, K. Improving Risk Management of Complex Systems // *Risk Analysis*. 2021. 41(1). P. 1-2.
- [18] Martins, L.A., Afonso, P., Freire, A.P., Costa, H. Evolution of quality assessment in SPL: A systematic mapping // *IET Software*. 14(6), 2020. P. 572-581.
- [19] Minnullina A., Minnullin R., Kopytova A., Savoskina E. Production strategy development for an energy company based on SADT // *E3S Web of Conferences*. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020", 2020. 07015.
- [20] Nski, M.J., Sikorski, T., Kaczorowska, D., (...), Nda, J.S., Janik, P. A case study on power quality in a virtual power plant: long term assessment and global index application // *Energies*. 2020. 13(24). 6578.
- [21] Oluwatobi, A.O., Alli-Johnson, V.A., Ayedun, C.A., Akinjare, O.A. Assessment of the effectiveness of maintenance management systems in delivering quality maintenance services in higher institutions // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 1299(1). 012015.
- [22] Riahinezhad, M., Masson, J.-F., Collins, P., (...), Lacasse, M.A., Johansen, J. Innovative Construction Products: From Qualification and Performance Assessment to Quality Control // *Journal of Architectural Engineering*. 2021. 27(3). 04021021.
- [23] Calabrese R., Osmetti S.A. A new approach to measure systemic risk: A bivariate copula model for dependent censored data // *European Journal of Operational Research*. 2019. Vol. 279(3). - P. 1053-1064.
- [24] Gerami J. An interactive procedure to improve estimate of value efficiency in DEA // *Expert Systems with Applications*. 2019. № 137. - P. 29-45.
- [25] Pačaiová H., Sinay J., Nagyová A. Development of GRAM – A risk measurement tool using risk based thinking principles // *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2017. № 100. - P. 288-296.
- [26] Kalimoldayev M., Abdildayeva A., Mamyrbayev O. Information system based on the mathematical model of the EPS. *Open engineering*. 2016. Vol. 6. No. 1. Pp. 464-469.
- [27] Shafik M.B., Chen H., Rashed G. Planning and reliability assessment to integrate distributed automation system into distribution networks utilizing binary hybrid PSO and GSA algorithms considering uncertainties // *International Transactions on Electrical Energy Systems*. 2020. Article e12594
- [28] Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. Development and improvement of assessment means of technical systems quality in the process of maintenance // *Proceedings of the 9th International Conference «Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education» (GRID'2021)*, Dubna, Russia, July 5-9, 2021. Vol. 3041, p. 579-583.
- [29] Biliatdinov K.Z., Dosikov V.S., Meniailo V.V. Improvement of the paired comparison method for implementation in computer programs used in assessment of technical systems’ quality // *Computer Research and Modeling*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 1125-1135.