

## **О количественной оценке эргономических показателей систем жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов**

© И.В. Глебов<sup>1</sup>, А.Л. Потёмкин<sup>1</sup>, О.И. Глебова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва,  
Московская область, г. Королёв, 141070, Россия

<sup>2</sup>Институт общественных наук Российской академии народного хозяйства  
и государственной службы при Президенте Российской Федерации,  
Москва, 119571, Россия

*Рассмотрена количественная оценка эргономических требований, предъявляемых к системам жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов, на этапах комплексных и межведомственных испытаний. Разработаны группы и подгруппы критериев, позволяющих проводить оценку эргономических требований, предъявляемых к составным частям этих систем жизнеобеспечения. На основе принципов и методов квалиметрии предложен подход к количественной оценке эргономических требований по результатам разработки систем жизнеобеспечения таких аппаратов с использованием комплексного показателя их эргономичности, который учитывает степень влияния (значимость) величин отдельных свойств с помощью коэффициентов весомости. Определены коэффициенты весомости, т. е. количественные характеристики значимости групп и подгрупп эргономических требований к составным частям систем жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов.*

**Ключевые слова:** система жизнеобеспечения, показатели качества, эргономические требования, квалиметрия, комплексный показатель эргономичности, коэффициент весомости

**Введение.** В настоящее время ведущие мировые страны в области освоения космического пространства разрабатывают пилотируемые космические аппараты (ПКА) для полетов за пределы орбиты Земли. В процессе длительного автономного пилотируемого космического полета основной задачей является обеспечение жизнедеятельности, здоровья и безопасности экипажа ПКА. Это обуславливает ужесточение существующих и определяет новые требования к процессу достоверной оценки качества разработки и изготовления систем жизнеобеспечения (СЖО).

С учетом условий длительного автономного пилотируемого космического полета предъявляются особые требования к процессу проектирования СЖО [1], заключающиеся в необходимости:

- проектирования системы с учетом взаимосвязей подсистем между собой и с другими системами ПКА;
- выбора конструкторских и технологических решений, обеспечивающих надежное функционирование проектируемой системы;

– разработки новых подходов для достоверной оценки показателей качества системы на всех этапах ее жизненного цикла.

Выбор номенклатуры показателей качества устанавливает перечень наименований количественных характеристик свойств системы, обеспечивающих возможность оценки уровня качества продукции. Номенклатура показателей закладывается на этапе проектирования систем и окончательно формируется на этапе разработки конструкторской документации.

К показателям предъявляются следующие требования [2, 3]:

- монотонная связь с качеством и надежностью при условии постоянства остальных показателей;
- простота определения, измерения и контроля;
- соответствие рассматриваемым свойствам и т. д.

Для наглядности и удобства все показатели качества можно подразделить на две группы, условно называемые «цена» и «качество». В первую группу объединены экономические показатели, во вторую — технические. К техническим относятся показатели назначения, надежности, безопасности, стандартизации и унификации, эргономические, эстетические и др.

Большинство показателей качества СЖО оценивают по конкретным количественным критериям, которые вычисляются с помощью строгих математических выражений или вероятностно-статистическими методами. Например, надежность системы оценивается таким показателем, как вероятность безотказной работы. Требования назначения можно оценить по основному показателю назначения, который определяет выход целевого продукта (количество получаемой воды, кислорода, количество удаляемого диоксида углерода и газообразных микропримесей и т. д.) [2]. Требования стандартизации и унификации оцениваются коэффициентами применяемости или повторяемости и т. д. Одни из основных задач квалиметрии — задачи обоснования номенклатуры показателей качества, а также разработки методов определения показателей качества систем. В отличие от метода экспертных оценок объектов экспертизы, при квалиметрии, для того чтобы уменьшить влияние человеческого фактора и повысить объективность оценки, экспертов привлекают только к выбору критериев оценивания и к оценке парциальных значимостей отдельных параметров сравнения [4].

*Квалиметрия* — это научная дисциплина, в рамках которой изучаются методология и проблематика комплексной, количественной оценки качества объектов любой природы. Являющаяся в значительной степени научной дисциплиной межотраслевого характера, квалиметрия по многим вопросам смыкается с конкретными инженерными, экономическими, правовыми, управленческими и гуманитарными

дисциплинами: стандартизацией, метрологией, экономикой, организацией производства, правом, психологией и педагогикой. Квалиметрия объединяет количественные методы оценки качества, используемые для обоснования решений по управлению качеством и по смежным с ним вопросам управленческой деятельности, а также включает взаимосвязанную систему теории [5].

При оценке качества разработки и изготовления СЖО ПКА необходимо учитывать, что данные системы являются сложными техническими системами, которые рассматриваются во взаимосвязи с экипажем ПКА, другими составными частями (СЧ) СЖО и представляют самостоятельную область исследования, образуя функциональную систему «Экипаж — СЖО». Вопросами изучения взаимодействия человека с другими элементами системы на основе использования теории, принципов, данных и методов для обеспечения благополучия человека и оптимизации общей производительности системы занимается такая научная дисциплина, как *эргономика* (изучение факторов, влияющих на человека) [6, 7].

В настоящее время оценка эргономических требований СЧ СЖО осуществляется в соответствии с программой эргономического обеспечения, разрабатываемой на этапе эскизного или технического проектирования. Эргономическая экспертиза проводится комиссионно на основе экспертных методов, которые включают эргономическую оценку предлагаемой конструкции и оборудования пилотируемых транспортных кораблей, макетирование для оптимизации рабочих мест и функциональных зон экипажа, экспериментальную отработку его интерфейсов [9]. При этом количественной оценке подвергаются лишь такие показатели, как уровень шума, освещенность, углы расположения суставов операторов, находящихся в креслах. Необходимо отметить, что уровень шума и освещенность косвенно относятся к требованиям эргономики, а их проверка сводится к верификации требований технического задания. Кроме того, эргономическая экспертиза не предусматривает комплексную количественную оценку эргономических требований в связи с отсутствием соответствующих критериев оценки. Субъективность эргономической оценки может приводить к эргономическим просчетам и необходимости длительных и дорогостоящих доработок на этапе летных испытаний. Поэтому следует разработать ранжированные критерии оценки эргономических требований, а также комплексный показатель эргономичности, позволяющий повысить объективность эргономической экспертизы.

**Выбор критериев оценки эргономических требований на основе принципов и методов квалиметрии.** Процедура количественной оценки отдельных свойств качества систем, в том числе и эргономических, основанная на принципах и методах квалиметрии, включает следующие этапы: разбиение множества параметров на группы

близких по смыслу, ранжирование внутри группы, нормировка и вычисление коэффициентов весомости параметров в группах и подгруппах [8].

Оценка полноты выполнения эргономических требований по результатам разработки системы должна быть основана на эргономических критериях [7]. Эргономические критерии, характерные для СЖО ПКА, можно разделить на три группы, связанные:

- с влиянием на здоровье и безопасность экипажа (1-я группа);
- влиянием на производительность работы экипажа (2-я группа);
- удовлетворенностью экипажа (3-я группа).

Первой группе соответствуют критерии, позволяющие оценивать реализованные проектно-конструкторские решения, которые могут оказывать влияние на здоровье и безопасность экипажа ПКА при управлении и эксплуатации СЧ СЖО. К ним можно отнести:

- доступность расположения органов управления СЧ СЖО;
- оптимальность расположения органов управления СЧ СЖО с учетом других систем;
- достаточность визуальных и акустических средств отображения информации при функционировании СЧ СЖО.

Второй группе соответствуют критерии, связанные с обеспечением высокой производительности экипажа ПКА при управлении и эксплуатации СЧ СЖО:

- уровень физической нагрузки при работе с СЧ СЖО;
- удобство управления СЧ СЖО;
- простота управления СЧ СЖО.

Подгруппы критериев первой и второй групп позволяют оценивать выполнение эргономических требований с учетом антропометрических и психофизиологических возможностей членов экипажа. При этом следует учитывать, что на отдельных участках полета ПКА экипаж может находиться в скафандрах, зафиксированных в креслах.

Третьей группе соответствуют критерии, связанные с удовлетворенностью экипажа и используемые для оценивания функционально-конструктивной приспособленности СЧ СЖО ПКА с учетом санитарно-гигиенических потребностей экипажа, психологического восприятия и дизайна СЧ СЖО:

- функционально-конструктивная приспособленность СЧ СЖО с учетом санитарно-гигиенических потребностей экипажа;
- психологическое восприятие СЧ СЖО;
- дизайн СЧ СЖО.

Проектная и рабочая конструкторская документация СЧ СЖО ПКА разрабатывается с учетом предъявляемых эргономических требований. Однако по чертежам и компьютерным моделям провести оценку вышеперечисленных критериев в полной мере невозможно, так как при этом в основном используется экспертная оценка.

В достаточной мере дать оценку выполнению эргономических требований, предъявляемых к СЖО ПКА, можно провести только в условиях, максимально приближенных к реальным (условиям космического полета), или на макетах ПКА при проведении комплексных и (или) межведомственных испытаний СЖО с участием космонавтов или испытателей.

**Методика количественного оценивания показателей эргономичности СЧ СЖО ПКА.** Решение задачи оценивания эргономических требований в системе «Экипаж — СЖО» на этапах разработки ПКА — одно из необходимых условий, обеспечивающих эффективное взаимодействие экипажа с ПКА при летных испытаниях или эксплуатации корабля [9]. Поэтому требуется внедрять в практику разработки перспективных СЖО ПКА принципы, методы и алгоритмы количественной оценки показателей эргономичности данных систем.

Оценить свойства показателей эргономичности СЧ СЖО с помощью строгих математических выражений или вероятностно-статистических методов затруднительно. В настоящее время оценка выполнения этих требований основана на концепции пригодности использования с применением методов экспертной оценки, в которой нет стандартного набора показателей эргономичности системы [7]. Поскольку соответствующие показатели разрабатываются для каждого конкретного случая оценивания качества системы, включая и эргономичность, для оценки эргономических требований СЖО далее будут использоваться показатели, соответствующие описанным выше группам и подгруппам предложенных критериев.

При соблюдении всех необходимых процедур и правил проведения экспертной оценки погрешность этого метода находится в пределах 5...10 %, что сопоставимо с погрешностью методов технического измерения [10]. Отметим, что при проведении экспертной оценки эргономических показателей СЖО следующим этапом после определения номенклатуры показателей свойств является определение коэффициентов их весомости (значимости).

*Коэффициент весомости* — количественная характеристика значимости данного показателя качества продукции среди других показателей ее качества. Коэффициенты весомости можно определять социологическим или экспертным методом, а также путем анализа влияния данного показателя на эффективность создания, эксплуатации или потребления продукции [10].

Обычно в расчетах используют долевы коэффициенты весомости при условии, что сумма всех значений коэффициентов весомости равна единице:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (1)$$

Для определения значений коэффициентов весомости, как правило, используются предпочтительные числа геометрических прогрессий. Международной организацией по стандартизации установлено четыре основных десятичных ряда предпочтительных чисел с такими знаменателями  $\varphi$  [10]:

$$\text{ряд } R5 \quad \varphi_1 = \sqrt[5]{10} = 1,5849 \approx 1,60;$$

$$\text{ряд } R10 \quad \varphi_2 = \sqrt[10]{10} = 1,2589 \approx 1,25;$$

$$\text{ряд } R20 \quad \varphi_3 = \sqrt[20]{10} = 1,1120 \approx 1,12;$$

$$\text{ряд } R40 \quad \varphi_4 = \sqrt[40]{10} = 1,0593 \approx 1,06.$$

При экспертном методе коэффициент весомости  $i$ -го свойства определяется по формуле

$$K_i = \frac{A_i}{\sum A_i}, \quad (2)$$

где  $K_i$  — коэффициент весомости  $i$ -го свойства;  $A_i$  — значение  $i$ -й важности свойства;  $\sum A_i$  — суммарное значение  $i$ -х важностей свойств.

Следует отметить, что те или иные оцениваемые свойства эргономичности могут являться эквивалентными, т. е. свойствами, эквивалентными по своему влиянию на удовлетворение какой-либо потребности. В этом случае значения коэффициентов весомости данных свойств принимаются одинаковыми. Оценка эквивалентности свойств эргономичности СЧ СЖО ПКА проводится экспертно-аналитическим методом.

Любое измерение или количественное оценивание чего-либо осуществляется с использованием соответствующей шкалы. В квалиметрии шкала измерений является средством адекватного сопоставления и определения численных значений отдельных свойств и качеств различных объектов. Измерительные шкалы, основанные на использовании рядов предпочтительных чисел, обычно являются метрическими шкалами интервалов или абсолютных величин [10].

Учитывая градацию по геометрической прогрессии ряда предпочтительных чисел  $R10$ , предлагаются следующие численные значения оценок показателей эргономичности СЧ СЖО:

1,00 — полностью удовлетворяет;

0,80 — в целом удовлетворяет;

0,63 — частично удовлетворяет;

0,50 — не удовлетворяет.

Указанные значения выбираются экспертами, участвующими в эргономической экспертизе СЧ СЖО ПКА.

Группа экспертов, используя формулы (1) и (2), а также коэффициент  $\varphi_2$  (ряд  $R10$ ), предложила значения коэффициентов весомости, соответствующие группам и подгруппам критериев эргономичности СЧ СЖО ПКА с учетом важности влияния критериев на выполнение программы полета ПКА (табл. 1). В группу экспертов входили специалисты по разработке и эксплуатации систем жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов, а также сотрудники лётно-испытательного центра и профессиональные космонавты.

Таблица 1

**Значения коэффициентов весомости, соответствующие группам и подгруппам критериев эргономичности СЧ СЖО ПКА**

Номер	Группы и подгруппы критериев эргономичности СЧ СЖО ПКА	Коэффициенты весомости	
		$K_i$	$K_j$
<b>1</b>	<b>Влияние на здоровье и безопасность экипажа</b>	<b>0,520</b>	
1.1	Доступность расположения органов управления СЧ СЖО		0,453
1.2	Оптимальность расположения органов управления СЧ СЖО с учетом других систем		0,362
1.3	Достаточность визуальных и акустических средств отображения информации при функционировании СЧ СЖО		0,185
<b>2</b>	<b>Влияние на производительность экипажа</b>	<b>0,267</b>	
2.1	Уровень физической нагрузки при работе с СЧ СЖО		0,453
2.2	Удобство управления СЧ СЖО		0,362
2.3	Простота управления СЧ СЖО		0,185
<b>3</b>	<b>Удовлетворенность экипажа</b>	<b>0,213</b>	
3.1	Функционально-конструктивная приспособленность СЧ СЖО с учетом санитарно-гигиенических потребностей экипажа		0,431
3.2	Психологическое восприятие СЧ СЖО		0,431
3.3	Дизайн СЧ СЖО		0,138

Предложенные коэффициенты весомости необходимы для комплексной оценки эргономичности той или иной СЧ СЖО ПКА с учетом значимости каждого из эргономических критериев. Прежде чем определить комплексный показатель эргономичности СЧ СЖО ПКА, необходимо рассмотреть понятие комплексного показателя и его свойства.

**Математическая модель расчета и оценки комплексного показателя эргономичности.** Комплексный показатель совокупности различных свойств должен учесть значимость (весомость) каждого из

них, т. е. учесть степень влияния величин отдельных свойств на итоговый показатель.

Требования, предъявляемые к комплексному показателю [10]:

1) репрезентативность — представленность в нем всех основных оцениваемых характеристик;

2) монотонность изменения при изменении любого из единичных показателей и фиксированных значениях остальных показателей;

3) критичность (чувствительность) к варьируемым параметрам. Это требование состоит в том, что комплексный показатель должен согласованно реагировать на изменение каждого из единичных показателей. Комплексный показатель является функцией оценок всех показателей свойств, а его чувствительность определяется первой производной этой функции. Значение комплексного показателя должно быть особенно чувствительно в тех случаях, когда какой-либо единичный показатель выходит за допустимые пределы. При этом комплексный показатель качества должен значительно уменьшить свое численное значение;

4) нормированность — численное значение комплексного показателя, заключенного между наибольшим и наименьшим значениями относительных показателей. Это требование нормировочного характера предопределяет размах шкалы измерений комплексного показателя;

5) сравнимость (сопоставимость) результатов комплексной оценки обеспечивается одинаковостью методов их расчетов, в которых показатели свойств должны быть выражены в безразмерных величинах.

Учитывая, что взаимосвязь эргономических критериев подчиняется нелинейной зависимости, в качестве комплексного показателя эргономичности предлагается использовать средневзвешенный геометрический показатель, численное значение которого определяется следующим образом:

$$K_3 = \prod_{i=1}^n \left( \prod_{j=1}^{N_i} (A_{i,j}^{K_j}) \right)^{K_i}, \quad (3)$$

где  $K_3$  — комплексный показатель эргономичности;  $n$  — количество групп;  $N_i$  — количество критериев в  $i$ -й группе;  $A_{i,j}$  — значение экспертной оценки соответствующего критерия эргономичности;  $K_i$ ,  $K_j$  — коэффициенты весомости критериев эргономичности групп и подгрупп.

Для анализа соответствия СЧ СЖО ПКА требованиям эргономичности предлагается использовать шкалу геометрической прогрессии ряда предпочтительных чисел  $R10$ . При численном значении комплексного показателя эргономичности СЧ СЖО ПКА  $K_3 = 1$  система полностью удовлетворяет требованиям эргономичности;

при  $0,8 \leq K_3 \leq 1$  — в целом удовлетворяет; при  $0,63 \leq K_3 < 0,8$  — частично удовлетворяет; при  $0,5 \leq K_3 < 0,63$  — не удовлетворяет.

С помощью выражения (3) можно рассчитать комплексный показатель эргономичности системы как некоторую среднюю величину из показателей отдельных свойств (критериев). Однако при таком подходе возможен случай, когда значение одного из важных свойств выйдет за пределы допустимого интервала, а комплексный показатель  $K_3$  останется достаточно высоким. Для того чтобы исключить подобные ситуации, предлагается использовать коэффициент «Вето» — это когда показателю эргономичности группы и одновременно комплексному показателю присваивается выбранное значение минимальной экспертной оценки свойств подгрупп.

Для разработанных критериев очевидно, что критерий «Доступность расположения органов управления СЧ СЖО» является определяющим, поскольку от него напрямую зависит возможность использования ручных средств управления важнейшими элементами (например, арматурой подачи кислорода, удаления углекислого газа, регулирования давления и т. д.). Поэтому коэффициент «Вето» применяется к показателю эргономичности группы и одновременно комплексному показателю тогда, когда численное значение экспертной оценки коэффициента  $A_{11}$  «Доступность расположения органов управления СЧ СЖО» (табл. 2, столбец «Экспертная оценка  $A_{i,j}$ ») равно 0,5. Таким образом, численное значение комплексного показателя эргономичности СЧ СЖО определяется следующим образом:

$$K_3 = \begin{cases} \prod_{i=1}^n \left( \prod_{j=1}^{N_i} (A_{i,j}^{K_j}) \right)^{K_i} & \text{при } A_{11} > 0,5; \\ 0,5 & \text{при } A_{11} = 0,5. \end{cases} \quad (4)$$

Пример расчета комплексного показателя эргономичности на основе результатов, полученных при эргономической оценке одной из подсистем СЖО ПКА нового поколения на эргономическом макете, с учетом и без учета коэффициента «Вето» приведен в табл. 2.

Полученные в табл. 2 результаты показывают, что численное значение комплексного показателя эргономичности СЧ СЖО ПКА без учета коэффициента «Вето» составляет 0,730 — «удовлетворяет частично». Очевидно, данная характеристика имеет ошибочный характер, поскольку важнейший критерий эргономичности «Доступность расположения органов управления СЧ СЖО», влияющий на здоровье и безопасность экипажа, оценен экспертами как неудовлетворительный. С учетом коэффициента «Вето» численное значение комплексного показателя эргономичности составляет 0,500, что объективно отражает существенные эргономические просчеты при создании СЧ СЖО.

Таблица 2

**Пример расчета комплексного показателя эргономичности  
с учетом и без учета коэффициента «Вето»**

Номер	Группы и подгруппы критериев эргономичности СЧ СЖО	Коэффициент весомости		Экспертная оценка $A_{i,j}$	Коэффициент эргономичности	
		$K_i$	$K_j$		без учета коэффициента «Вето»	с учетом коэффициента «Вето»
1	Влияние на здоровье и безопасность экипажа	0,520	–	–	<b>0,730</b>	<b>0,500</b>
1.1	Доступность расположения органов управления СЧ СЖО	–	0,453	0,500		
1.2	Оптимальность расположения органов управления СЧ СЖО с учетом других систем	–	0,362	0,630		
1.3	Достаточность визуальных и акустических средств отображения информации при функционировании СЧ СЖО	0,185	1,000	1,000		
2	Влияние на производительность экипажа	0,263	–	–		
2.1	Уровень физической нагрузки при работе с СЧ СЖО	–	0,453	1,000		
2.2	Удобство управления СЧ СЖО	–	0,362	0,800		
2.3	Простота управления СЧ СЖО	–	0,185	0,800		
3	Удовлетворенность экипажа	0,213	–	–		
3.1	Функционально-конструктивная приспособленность с учетом санитарно-гигиенических потребностей экипажа	–	0,431	0,800		
3.2	Психологическое восприятие СЧ СЖО	–	0,431	1,000		
3.3	Дизайн СЧ СЖО	–	0,138	0,630		

Конструктивный и эргономический просчет заключался в том, что рукоятки клапанов подачи кислорода были расположены таким образом, что управление ими из кресла космонавта было трудно реализуемо (требовался неестественный (выворачивающий) поворот руки в слепой зоне), а в зафиксированном (системой притяга) положении — практически невозможно. По результатам эргономической оценки потребовалось изменить конструкцию клапанов.

Подтверждение адекватности предложенного подхода к оценке комплексного показателя эргономичности планируется провести при комплексных и межведомственных испытаниях СЖО пилотируемого транспортного корабля нового поколения. С использованием предложенного авторами подхода для оценивания результатов методики выполнения измерений СЧ СЖО ПКА будет разработана типовая методика оценивания предъявляемых к СЧ СЖО ПКА эргономических требований и программы-методики межведомственных испытаний СЧ СЖО ПКА.

**Заключение.** В настоящее время оценка эргономических требований СЧ СЖО носит субъективный характер и не предусматривает проведение комплексной количественной оценки эргономических требований в связи с отсутствием соответствующих критериев оценки.

Предложенные авторами подход и математическая модель оценки комплексного показателя эргономичности СЧ СЖО ПКА разработаны с использованием основных принципов и методов квалиметрии. Это позволяет повысить объективность оценки, так как эксперты привлекаются только к оценке парциальных значимостей отдельных параметров сравнения заданных эргономических критериев. Разработаны группы и соответствующие им подгруппы эргономических критериев, включающие основные эргономические свойства СЧ СЖО ПКА. При расчете коэффициентов весомости критериев применен экспертно-аналитический метод, позволяющий формализовать выделенные эргономические критерии.

Для того чтобы исключить ситуацию, когда значение одного из важных свойств выйдет за пределы допустимого интервала, а комплексный показатель  $K_c$  останется достаточно высоким, авторами предложено использовать коэффициент «Вето» — это когда показателю эргономичности группы и одновременно комплексному показателю присваивается выбранное значение минимальной экспертной оценки важнейшего из свойств подгрупп.

Рассмотренные в статье подход и математическая модель являются универсальными, и их можно применять при разработке методик и программных продуктов для количественного оценивания объектов и свойств в различных областях науки и техники — машиностроении и приборостроении, образовании и педагогике, экономике и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глебов И.В., Курмазенко Э.А., Романов С.Ю., Железняков А.Г. Прогнозирование функционирования перспективной системы обеспечения газового состава для длительных пилотируемых космических полетов. *Труды МАИ*, 2014, № 73, с. 5–8. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=48477> (дата обращения 09.11.2022).
- [2] Глебов И.В., Коган И.Л. Имитационное моделирование при проектировании регенерационных систем жизнеобеспечения пилотируемого космического аппарата. *Космическая техника и технологии*, 2017, № 4 (19), с. 89–94.
- [3] *ГОСТ 15467—79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения*. Москва, Стандартинформ, 2009.
- [4] Гукасов В.М., Пирский Г.В., Фин В.А. Параметры квалитметрии НИИ Радиоэлектронного профиля. *Инноватика и экспертиза*, 2012, вып. 2 (9), с. 16–24.
- [5] Лашко А.Г. Сущность квалитметрического подхода как научной парадигмы. *Современная педагогика*, 2016, № 11 (48), с. 110–115.
- [6] *ГОСТ Р ИСО 9241-210—2016. Эргономика взаимодействия человек — система. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем*. Москва, Стандартинформ, 2018.
- [7] *ГОСТ Р 56274—2014. Общие показатели и требования в эргономике*. Москва, Стандартинформ, 2015.
- [8] Гукасов В.М., Леонов Д.В., Фин В.А. Программа поддержки решений экспертов, выполняющих квалитметрию или многокритериальное сравнение сложных объектов. *Инноватика и экспертиза*, 2013, вып. 2 (11), с. 96–103.
- [9] Калери А.Ю., Кукин О.Н., Серов М.В. Методология летно-испытательной деятельности космонавтов при создании пилотируемого транспортного корабля. *Космическая техника и технологии*, 2017, № 2 (17), с. 90–98.
- [10] Шапошников В.А. *Квалитметрия*. Москва, 2016.

Статья поступила в редакцию 29.06.2022

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Глебов И.В., Потёмкин А.Л., Глебова О.И. О количественной оценке эргономических показателей систем жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, вып. 11.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-11-2227>

**Глебов Игорь Васильевич** — канд. техн. наук, заместитель начальника отделения, ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва». e-mail: [igor.glebov4@rsce.ru](mailto:igor.glebov4@rsce.ru)

**Потемкин Артур Львович** — начальник сектора, аспирант, ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва». e-mail: [artur.potemkin3@rsce.ru](mailto:artur.potemkin3@rsce.ru)

**Глебова Олеся Игоревна** — студент Института общественных наук Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации. e-mail: [glebovaolesia2004@gmail.com](mailto:glebovaolesia2004@gmail.com)

## **On quantitative assessment of the ergonomic indicators of life support systems of the manned spacecraft**

© I.V. Glebov<sup>1</sup>, A.L. Potemkin<sup>1</sup>, O.I. Glebova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia,  
Moscow Region, Korolyov, 141070, Russia

<sup>2</sup>Institute for Social Sciences of the Russian Presidential Academy of National Economy  
and Public Administration, Moscow, 119571, Russia

*The paper considers quantitative assessment of the ergonomic requirements to life support systems of manned spacecraft at the stages of complex and interdepartmental testing. Groups and subgroups of criteria were developed making it possible to assess the ergonomic requirements to components of these life support systems. Based on the qualimetry principles and methods, an approach is proposed to quantitatively assess the ergonomic requirements based on the results of developing life support systems for such spacecraft using a comprehensive indicator of their ergonomics, which takes into account the influence (significance) degree of separate properties with the weight coefficients. Weight coefficients were determined, i.e. quantitative significance characteristics of groups and subgroups of ergonomic requirements for components of the life support systems of a manned spacecraft.*

**Keywords:** *life support system, quality indicators, ergonomic requirements, qualimetry, complex indicator of ergonomics, weight coefficient*

### REFERENCES

- [1] Glebov I.V., Kurmazenko E.A., Romanov S.Yu., Zheleznyakov A.G. Prognozirovaniye funktsionirovaniya perspektivnoy sistemy obespecheniya gazovogo sostava dlya dlitelnykh pilotiruemykh kosmicheskikh poletov [Prediction of the perspective regenerative air revitalization system functioning for long-term autonomous manned spaceflight]. *Trudy MAI*, 2014, no. 73, pp. 5–8. Available at: <https://trudymai.ru/published.php?ID=48477> (accessed November 9, 2022).
- [2] Glebov I.V., Kogan I.L. Imitatsionnoye modelirovaniye pri proektirovaniye regeneratsionnykh sistem zhizneobespecheniya pilotiruemogo kosmicheskogo apparata [Simulation modeling in designing regenerative life support systems for manned spacecraft]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii — Space Engineering and Technology*, 2017, no. 4 (19), pp. 89–94.
- [3] GOST 15467–79. *Upravleniye kachestvom produktsii. Osnovnyye ponyatiya. Terminy i opredeleniya* [Product quality control. Basic concepts. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2009.
- [4] Gukasov V.M., Pirsky G.V., Fin V.A. Parametry kvalimetrii NII radioelektronogo profilya [Parameters of qualimetry of the radio electronic profile research institute]. *Innovatika i ekspertiza — Innovatics and Expert Examination*, 2012, issue 2 (9), pp. 16–24.
- [5] Lashko A.G. Suschnost kvalimetricheskogo podkhoda kak nauchnoy paradigmy [The essence of the qualimetric approach as a scientific paradigm]. *Sovremennaya Pedagogika — Modern Pedagogy*, 2016, no. 11 (48), pp. 110–115.
- [6] GOST R ISO 9241-210–2016. *Ergonomika vzaimodeystviya chelovek-sistema. Chast 210. Cheloveko-orientirovannoye proektirovaniye interaktivnykh sistem* [Ergonomics of human—system interaction. Part 210. Human-centred design for interactive systems]. Moscow, Standartinform Publ., 2018.

- [7] *GOST R 56274–2014. Obschie pokazateli i trebovaniya v ergonomike* [General ergonomics requirements and properties]. Moscow, Standartinform Publ., 2015.
- [8] Gukasov V.M., Leonov D.V., Fin V.A. Programma podderzhki resheniy ekspertov, vypolnyayuschikh kvalimetriyu ili mnogokriterialnoe sravnenie slozhnykh obyektov [Decision support program for experts performing qualimetry or multi-criteria comparison of complex objects]. *Innovatika i ekspertiza – Innovatics and Expert Examination*, 2013, issue 2 (11), pp. 96–103.
- [9] Kaleri A.Yu., Kugin O.N., Serov M.V. Metodologiya letno-ispytatelnoy deyatel'nosti kosmonavtov pri sozdanii pilotiruemogo transportnogo korablya [Methodology of cosmonauts light-testing activities in the course of manned transportation spacecraft development]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii – Space Engineering and Technology*, 2017, no. 2 (17), pp. 90–98.
- [10] Shaposhnikov V.A. *Kvalimetriya* [Qualimetry]. Moscow, 2016.

**Glebov I.V.**, Cand. Sc. (Eng.), Deputy Chief of Department, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: igor.glebov4@rsce.ru

**Potemkin A.L.**, Chief of Section, PG, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. e-mail: artur.potemkin3@rsce.ru

**Glebova O.I.**, Student, Institute for Social Sciences of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration. e-mail: glebovaolesia2004@gmail.com