

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-2-20-32  
УДК 303.732.4



Научная статья | Системный анализ, управление и обработка информации

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

*Т.В. Аветисян, Я.Е. Львович, А.П. Преображенский*

*Современные электронные устройства характеризуются сложными схемотехническими решениями, что требует выполнять их проектирование с использованием высокопроизводительных схемотехнических систем автоматизированного проектирования. Разработка таких систем автоматизированного проектирования связана со значительными затратами временных и трудовых ресурсов и должна проводиться на основе новых подходов к построению математического и программного обеспечения с учетом специфических особенностей предметной области и характера решаемых задач. В данной работе рассмотрены проблемы, связанные с моделированием сопровождения электротехнического комплекса. Продемонстрирована методика прогнозирования компонентов на основе одного атрибута в рамках эксперимента. Рассматривается критерий с точки зрения оценки рисков для потребителя. Представлены результаты моделирования основных параметров, характеризующих качество электролитических конденсаторов. После завершения тестов значение прогнозируемого параметра определяется для каждой реализации. Показано оптимальное значение тока утечки, обеспечивающее минимальную вероятность ошибки, для танталовых электролитических конденсаторов с номинальной емкостью. Результаты исследований могут быть полезны для специалистов, работающих на электротехнических комплексах.*

**Ключевые слова:** системный анализ; проектирование; моделирование; электротехнический комплекс

**Для цитирования.** Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Системный анализ обслуживания электротехнического комплекса // *International Journal of Advanced Studies*. 2023. Т. 13, № 2. С. 20-32. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-2-20-32

Original article | System Analysis, Management and Information Processing

## SYSTEM ANALYSIS OF MAINTENANCE OF THE ELECTRICAL COMPLEX

*T.V. Avetisyan, J.E. Lvovich, A.P. Preobrazhensky*

*Modern electronic devices are characterized by complex circuit design solutions, which requires performing their design using high-performance circuit design computer-aided design systems. The development of such computer-aided design systems is associated with significant expenditure of time and labor resources and should be based on new approaches to the construction of mathematical and software, taking into account the specific features of the subject area and the nature of the tasks to be solved. In this paper, the problems associated with the modeling of maintenance of electrical complex are considered. A methodology for predicting components based on a single attribute within an experiment is demonstrated. The criterion in terms of risk assessment for the consumer is considered. The results of modeling the main parameters characterizing the quality of electrolytic capacitors are presented. After the tests are completed, the value of the predicted parameter is determined for each realization. The optimum value of leakage current, providing the minimum probability of error, for tantalum electrolytic capacitors with nominal capacity is shown. The results of the research can be useful for specialists working on electrical engineering complexes.*

**Keywords:** *system analysis; design; modeling; electrical complex*

**For citation.** *Avetisyan T.V., Lvovich J.E., Preobrazhensky A.P. System Analysis of Maintenance of the Electrical Complex. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 20-32. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-2-20-32*

## **Введение**

В ходе рассмотрения особенностей функционирования электротехнического комплекса необходимо провести формирование его моделей. Когда они создаются, необходимо опираться на методы системного анализа. Если на базе собранных данных требуется проводить прогнозы, то достаточно часто привлекают методы регрессионного анализа [1]. С тем, чтобы прогноз был достижим по заданным временным параметрам, внутри интересующего временного периода, необходимо опираться на значения параметров для предшествующего временного периода. Могут также применяться подходы, основывающиеся на классификационных методиках. Компоненты электротехнического комплекса ставятся в соответствие с некоторыми образами. Выбранные информативные параметры будут анализироваться с привлечением теории распознавания образов. С прогнозируемым параметром будут вероятностным способом соотноситься каждая из реализаций [2].

Цель данной статьи состоит в создании методики прогнозирования характеристик электротехнического комплекса на основе методов системного анализа и рассмотрение ее характеристик.

## **Характеристики обучающего эксперимента и основные особенности методики прогнозирования**

Подбор порогового значения признака  $x_{KL}$  базируется на использовании данных обучающего эксперимента. Величина вероятности ошибочных решений должна быть минимальной. Исходим из некоторого выбранного критерия. Оценивается риск для потребителя. На его основе можно рассматривается соответствующий критерий

$$\text{Criteria} = P(K_2 | \text{реш}K_1) \quad (1)$$

Реализация, если она будет считаться, что связана с классом  $K_1$ , рассматривается в виде исправной, в реальности будет связана с классом  $K_2$ , будет дефектной. Видно, что используется условная вероятность.

При оценке качества элементов, которые будут входить в состав электротехнического комплекса удобно пользоваться подобным подходом [3, 4].

Внутри таких элементов следует проводить выбор по наиболее информативному показателю процесса. Для него следует осуществлять процедуры прогнозирования [5, 6]. Для элемента электротехнического комплекса важно указать признака, связанный с характеристикой стабильности.

Применяется соответствующая методика для того, чтобы ставить на испытания прогнозируемые элементы. Значение по прогнозируемому параметру будет определяться по каждой из реализаций, если будет завершение испытаний. Осуществляется классификация в рамках двух классов, если задается граничное значение по прогнозируемому параметру  $y_{\text{bound}}$ .

Если элементы будут отвечать требованиям, они исправные, тогда выбирается класс  $K_1$  – класс, показывающий реализации, в случае дефектных реализаций выбирается класс  $K_2$ . Если требуется определять общее число решений, необходимо опираться на такое выражение

$$n(\text{solut}K_1) + n(\text{solut}K_2) = n \quad (2)$$

В ходе моделирования  $n(\text{solut}K_1)$ ,  $n(\text{solut}K_2)$  – будут связаны с соответствующими решениями. Они направлены на то, чтобы в классы  $K_1$  и  $K_2$  были включены компоненты.

Относительно априорных вероятностей, а также ошибочных решений необходимо реализовывать рассмотрение оценок вероятностей.

Использование компонентов связано со следующим риском

$$P(K_2 | \text{solut}K_1) = \frac{n(K_2 | \text{solut}K_1)}{n(\text{solut}K_1)}, \quad (3)$$

Изготовление компонентов связано с таким риском

$$P(K_1 | \text{solut}K_2) = \frac{n(K_1 | \text{solut}K_2)}{n(\text{solut}K_2)}. \quad (4)$$

Если принимаются ошибочные решения, то опираемся на выражения, соответствующие условным вероятностям:

$$P(\text{solut}K_1 | K_2) = \frac{n(\text{solut}K_1 | K_2)}{n(K_2)}; \quad (5)$$

$$P(\text{solut}K_2 | K_1) = \frac{n(\text{solut}K_2 | K_1)}{n(K_1)}$$

Компонент к классу  $K_1$  принадлежит в рамках априорных вероятностей

$$P(K_1) = \frac{n(K_1)}{n}. \quad (6)$$

Тогда в любой реализации вероятность относится к тому, что будет наблюдаться исправность в компоненте [7].

Компонент к классу  $K_2$  принадлежит в рамках априорных вероятностей

$$P(K_2) = \frac{n(K_2)}{n}. \quad (7)$$

Тогда в любой реализации вероятность относится к тому, что будет наблюдаться дефект в компоненте [8].

Включается реализация компонента в класс  $K_1$ , основываясь на априорных вероятностях

$$P(\text{solut}K_1) = \frac{n(\text{solut}K_1)}{n} \quad (8)$$

Включается реализация компонента в класс  $K_2$ , основываясь на априорных вероятностях

$$P(\text{solut}K_2) = \frac{n(\text{solut}K_2)}{n} \quad (9)$$

Процесс переименования класса  $K_1$  в класс  $K_2$ , а также класса  $K_2$  в класс  $K_1$  может быть связан с потерями. По вероятностям требуется осуществить необходимые оценки.

При возникновении ошибки вероятность будет

$$P_{\text{err}} = \frac{n(\text{solut}K_1 | K_2) + n(\text{solut}K_2 | K_1)}{n}; \quad (10)$$

по принятию правильных решений вероятность будет

$$P_{\text{right}} = 1 - P_{\text{err}}. \quad (11)$$

В приведенном выражении  $P(K_1 | \text{solut}K_2)$  – является условной вероятностью того, что реализация компонента фактически является исправной и принадлежит классу  $K_1$ , но принято решение считать его дефектным [9, 10];  $P(\text{solut}K_1 | K_2)$  – является условной вероятностью принятия решения о включении реализации компонента в класс  $K_2$  при условии, что она фактически принадлежит классу  $K_1$ ;  $n(\text{solut}K_1 | K_2)$ ,  $n(K_2 | \text{solut}K_1)$  – числа ошибочных решений, состоящие в том, что реализации компонентов класса  $K_2$  будут отнесены к классу  $K_1$ , равные числу реализаций компонентов, которые отнесены к исправным, при этом величина признака не будет превышать пороговое значение  $x_{KL}$ . Граничное значение  $y_{bound}$  будет меньше, чем прогнозируемый параметр;  $n(K_1 | \text{solut}K_2)$ ,  $n(\text{solut}K_2 | K_1)$  – числа ошибочных решений, когда компоненты будут отнесены к классам  $K_1$  и  $K_2$ . При этом величина признака будет больше, чем пороговое значение  $x_{KL}$ . Значение прогнозируемого параметра не будет больше, чем граничное значение  $y_{bound}$ ;  $n(K_1)$ ,  $n(K_2)$  – соответственно классам  $K_1$  и  $K_2$ .

Важно выбирать пороговое значение признака  $x_{KL}$ . Исходим из того, что не должен быть превышен заданный допуск по вероятностям ошибочных решений.

Предположим, что при переименовании класса  $K_1$  в класс  $K_2$ , а также класса  $K_2$  в  $K_1$ , будет найдено равенство вероятностей. Тогда в качестве наилучшего значения  $x_{KL}$  принимается такое, по которому будет минимальное ( $P_{err} \rightarrow \min$ ) общее количество решений двух видов Минимальное или допустимое значение по риску потребителей (3) будет определять наилучшее значение  $x_{KL}$ .

## Результаты

Качество электролитических конденсаторов связано с таким параметром, как ток утечки. Определяется он тем, какие параметры рабочего электролита и оксидной пленки. То, насколько неустойчива их структура в ходе хранения и эксплуатации соотносят со значением тока утечки, который в результате проведения испытаний будет определен. Тогда в виде признака стабильности мы будем считать

ток утечки  $I_0$ , который получился после измерений через 10 минут после того, как конденсатора был подключен к испытательному напряжению. Прогнозируемый параметр рассматривался в виде относительного изменения тока утечки во времени  $a$ . Априорная информация позволяет определять граничное значение тока утечки.

Необходимо было определить оптимальное значение по току утечки  $I_0$ , при котором будет минимальная вероятность ошибки  $P_{\text{err}}$  (10). Проводился анализ по танталовым электролитическим конденсаторам, имеющим номинальную емкость  $C_{\text{ном}} = 2\text{мкф}$ .

Таблица 1.

**Значения результатов, которые были получены в результате экспериментов**

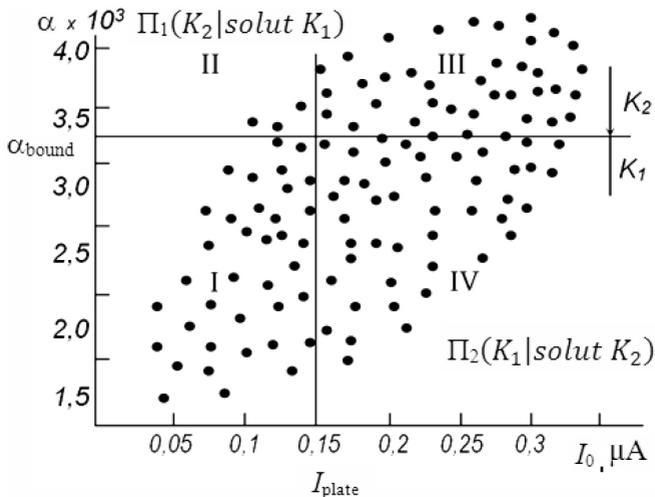
n	$I_0, \mu\text{A}$	a	N	$I_0, \mu\text{A}$	a	n	$I_0, \mu\text{A}$	a	n	$I_0, \mu\text{A}$	a
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,04	0,7	26	0,14	2,75	51	0,18	3,30	76	0,22	3,4
2	0,04	1,75	27	0,15	2,1	52	0,11	3,4	77	0,24	3,8
3	0,06	1,5	28	0,16	1,9	53	0,12	3,4	78	0,24	4,1
4	0,07	1,9	29	0,17	1,8	54	0,15	3,3	79	0,23	4,2
5	0,075	1,75	30	0,17	1,75	55	0,17	3,4	80	0,23	4,3
6	0,076	1,4	31	0,185	2,1	56	0,17	3,4	81	0,26	3,6
7	0,08	1,25	32	0,16	2,4	57	0,18	3,4	82	0,26	2,7
8	0,06	2,9	33	0,19	1,9	58	0,21	3,4	83	0,17	3,1
9	0,075	2,75	34	0,22	1,9	59	0,18	3,7	84	0,3	2,8
10	0,075	3,15	35	0,22	2,2	60	0,16	3,8	85	0,32	3,2
11	0,09	3,1	36	0,21	2,4	61	0,21	3,8	86	0,27	3,4
12	0,09	2,4	37	0,21	2,7	62	0,18	3,9	87	0,3	3,4
13	0,11	1,6	38	0,21	2,9	63	0,16	3,9	88	0,32	3,4
14	0,1	2,0	39	0,21	3,1	64	0,22	3,4	89	0,31	3,4
15	0,11	2,6	40	0,23	2,3	65	0,22	3,8	90	0,34	3,4
16	0,11	2,8	41	0,23	2,6	66	0,17	3,6	91	0,34	3,9
17	0,12	3,1	42	0,23	2,4	67	0,16	3,7	92	0,31	3,8
18	0,12	2,4	43	0,23	3,1	68	0,18	3,9	93	0,31	4,2
19	0,13	2,4	44	0,26	2,75	69	0,16	4,0	94	0,34	4,2
20	0,013	2,2	45	0,27	2,7	70	0,21	4,2	95	0,26	4,1
21	0,13	1,7	46	0,26	3,1	71	0,23	2,3	96	0,28	4,3
22	0,14	1,4	47	0,3	2,8	72	0,23	2,6	97	0,31	4,5
23	0,14	1,8	48	0,31	3,1	73	0,23	2,7	98	0,33	4,4
24	0,14	2,3	49	0,14	3,25	74	0,23	3,1			
25	0,13	2,5	50	0,16	3,25	75	0,23	3,4			

Таблица 2.

## Необходимые данные для принятия решений

№	$I_{plate}, \mu A$	$n_1$	$n_2$	$P_{err}$
1	0,05	0	60	0,612
2	0,1	0	48	0,489
3	0,15	4	30	0,346
4	0,20	11	16	0,275
5	0,25	18	5	0,234
6	0,3	23	2	0,255
7	0,35	31	80	0,316

Было проведено испытание партии случайным образом отобранных конденсаторов ( $n=98$ ). Значение температуры было  $t=700C$ . Время наблюдения составило  $T=2000$  ч. С учетом пульсирующего напряжения была получена выборка значения тока утечки  $I_0$  и коэффициента  $a$  (таблица 1). На основе данных таблицы 2 проведем построение поля корреляции (рисунок 1). В ходе моделирования считалось, что I – область  $K_1$  (исправных конденсаторов); II – область  $(K_2|solutK_1)$ ; III – область  $K_2$  (дефектных конденсаторов); IV – область  $(K_1|solutK_2)$ .

Рис. 1. Поле корреляции признака  $I_0$  и прогнозируемого параметра  $a$

Вероятность ошибки, что годные изделия будут признаваться дефектными, а дефектные – рассматриваться в виде годных, определяется на основе выражения (10).

Исходя из данных эксперимента, для  $n_1=4$ ,  $n_2=30$  и вероятность ошибки при заданном пороговом значении  $I_0=0,15$  равна  $P_{err}=0,346$ .

Чтобы определить оптимальное значение  $P_{err}$ , проведем построение зависимости  $P_{err} = f(I_{plate})$  (рисунок 2). Тогда при  $a = var$  найдем значения  $P_{err}$  (таблицы 2). Из анализа зависимости вероятности ошибки от  $I_{plate}$  (рисунок 2) были определены значения  $I_{plate}=0,25$ ;  $P_{err} = 0,234$ .

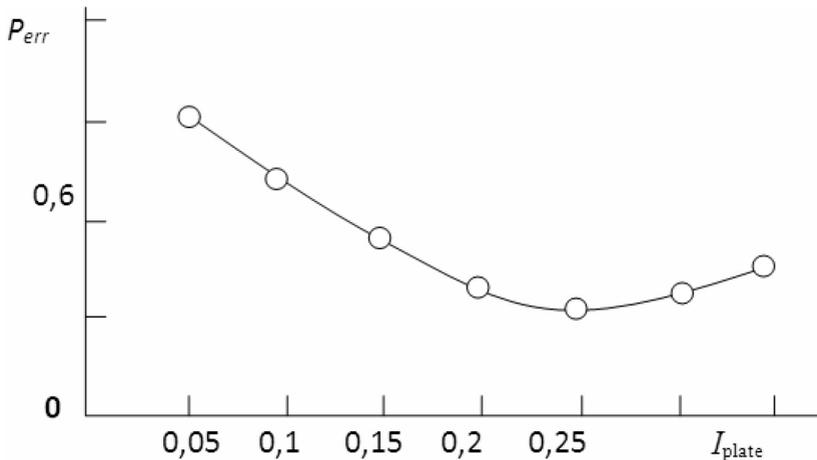


Рис. 2. Определение оптимальной величины  $P_{err}$

## Выводы

В статье рассмотрены особенности модельного обеспечения электротехнического комплекса на основе методов системного анализа. Основными результатами работы являются: методика прогнозирования для компонентов на основе одного атрибута в рамках обучающего эксперимента, результаты моделирования параметров конденсаторов. По результатам математического моделирования показано оптимальное значение вероятности ошибки.

### *Список литературы*

1. Токарев Д.А., Разинкин К.А. Методика топологической оптимизации изделий авиационной промышленности: алгоритм построения ассоциативно связанной сборочной единицы // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1(40). С. 46-53.
2. Чупринская Ю.Л., Фролов В.Н. Анализ моделей движения в электронно-механических системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 2 (41). С. 130-133.
3. Суворов А.А., Зеленина А.Н. Разработка подсистемы информационной поддержки объемного планирования производства // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 3 (42). С. 125-131.
4. Ковнев В.В., Токарев Д.А., Постникова И.В., Фролов В.Н. Анализ особенностей радиоустройств с программируемыми параметрами // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 3 (42). С. 13-16.
5. Зайцев Д.Л., Зеленина А.Н. Классификация интерактивных взаимодействий пользователя с программным обеспечением // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 3 (42). С. 43-48.
6. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022. Т. 10. № 1 (36).
7. Рихтер Т.В., Белоус А.В. Автоматизация процесса учета оборудования на предприятии // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 2. С. 69-85.
8. Калашников П.В. Задача выбора оптимального варианта конструкции сложной системы в условиях интервальной неопределенности // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 3. С. 94-108.

9. Балаев Э.Ю.О., Клепиков Д.А., Елисеев В.Н., Шилов Г.В. Использование паяльного сплава  $\text{CuPbSnCo}$  для формирования адгезионного слоя, слоистого композитного покрытия ( $\text{CuPbSnCo-tinizr}$ ) высокоскоростным газопламенным напылением с финишной ТВЧ обработкой покрытие ( $\text{CuPbSnCo-tinizr}$ )-подложка (ст.45) для повышения адгезии // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 3. С. 66-82.
10. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 20-26.

### *References*

1. Tokarev D.A., Razinkin K.A. Metodika topologicheskoy optimizatsii izdeliy aviatsionnoy promyshlennosti: algoritm postroeniya assotsiativno svyazannoy sborochnoy edinitsy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2022. № 1(40). S. 46-53.
2. Chuprinskaya Yu.L., Frolov V.N. Analiz modeley dvizheniya v elektronno-mekhanicheskikh sistemakh // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2022. № 2 (41). S. 130-133.
3. Suvorov A.A., Zelenina A.N. Razrabotka podsistemy informatsionnoy podderzhki ob»emnogo planirovaniya proizvodstva // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2022. № 3 (42). S. 125-131.
4. Kovnev V.V., Tokarev D.A., Postnikova I.V., Frolov V.N. Analiz osobennostey radioustroystv s programmiruemyimi parametrami // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2022. № 3 (42). S. 13-16.
5. Zaytsev D.L., Zelenina A.N. Klassifikatsiya interaktivnykh vzaimod-eystviy pol'zovatelya s programmnyim obespecheniem // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2022. № 3 (42). S. 43-48.
6. Mel'nikova T.V., Pitolin M.V., Preobrazhenskiy Yu.P. Modelirovanie obrabotki bol'shikh massivov dannykh v raspredelennykh informatsionno-telekommunikatsionnykh sistemakh // Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2022. Т. 10. № 1 (36).

7. Rikhter T.V., Belous A.V. Avtomatizatsiya protsessa ucheta oborudovaniya na predpriyatii // International Journal of Advanced Studies. 2022. T. 12. № 2. S. 69-85.
8. Kalashnikov P.V. Zadacha vybora optimal'nogo varianta konstruktsii slozhnoy sistemy v usloviyakh interval'noy neopredelennosti // International Journal of Advanced Studies. 2022. T. 12. № 3. S. 94-108.
9. Balaev E.Yu.O., Klepikov D.A., Eliseev V.N., Shilov G.V. Ispol'zovanie payal'nogo splava cumnco dlya formirovaniya adgezionnogo sloya, sloistogo kompozitnogo pokrytiya (cumnco-tinizr) vysokoskorostnym gazoplammennym napyleniem s finishnoy TVCh obrabotkoy pokrytie (cumnco-tinizr)-podlozhka (st.45) dlya povysheniya adgezii // International Journal of Advanced Studies. 2022. T. 12. № 3. S. 66-82.
10. Erasov S.V. Optimizatsionnye protsessy v elektrodinamicheskikh zadachakh // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2013. № 10. S. 20-26.

### **ДАНИЕ ОБ АВТОРАХ**

**Аветисян Татьяна Владимировна**, преподаватель колледжа, специалист проектного отдела ВИВТ  
*Колледж ВИВТ; Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация*  
*vtyana\_avetisyan@mail.ru*

**Львович Яков Евсеевич**, профессор, доктор технических наук, профессор  
*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
*ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация*  
*Komkovvvt@yandex.ru*

**Преображенский Андрей Петрович**, профессор, доктор технических наук, профессор  
*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Воронежский институт высоких технологий*  
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация  
*Komkovvvt@yandex.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Tatiana V. Avetisyan**, project specialist VIVT  
*Voronezh Institute of High Technologies*  
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation  
*vtatyana\_avetisyan@mail.ru*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3559-6070>

**Jakov E. Lvovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
*Voronezh Institute of High Technologies*  
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation  
*Komkovvvt@yandex.ru*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7051-3763>

**Andrey P. Preobrazhenskiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
*Voronezh Institute of High Technologies*  
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation  
*Komkovvvt@yandex.ru*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>

Поступила 13.02.2023

После рецензирования 15.03.2023

Принята 22.03.2023

Received 13.02.2023

Revised 15.03.2023

Accepted 22.03.2023