

УДК 681.5.032

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.35.4.003](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.35.4.003)

Интеграция методологических решений по оценке устойчивости функционирования больших технических систем

К.З. Билятдинов¹, Е.А. Кривчун² 

¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация
kkrivchun@yandex.ru 

Резюме. В целях совершенствования процессов управления большими техническими системами рассмотрены актуальные вопросы интеграции методологических решений по разработке и комплексному применению модели обеспечения устойчивости и методики оценки устойчивого функционирования больших технических систем. Модель предназначена для моделирования динамики состояний устойчивости большой технической системы посредством расчета потерь, а также затрат времени и ресурсов на восстановление системы в неблагоприятных условиях. В модели для систематизации и наиболее рационального использования результатов моделирования в компьютерных программах разработаны унифицированные табличные формы, пригодные для моделирования состояний устойчивости различных систем. Результаты моделирования предлагается использовать в методике оценки устойчивости функционирования больших технических систем. В методике рассчитывается комплексный показатель: коэффициент устойчивости функционирования большой технической системы. Формула расчета коэффициента устойчивости получена на основе критерия эффективности сложной системы при сохранении ресурсов и своевременном восстановлении элементов системы. Представлена программа для ЭВМ, реализующая данную методику и использующая унифицированные табличные формы из состава модели обеспечения устойчивости системы. Комплексное применение модели и методики направлено на принятие своевременных рациональных управленческих решений по обеспечению устойчивого функционирования больших технических систем в условиях нестабильной динамики слабоструктурированных данных о состоянии системы, наличия ресурсов и результатах воздействия внешней среды. В перспективе представленные модель и методика могут быть использованы для разработки способов регистрации сложных событий (в пределах видимости на горизонте событий) и выявления сценариев их развития в интересах повышения эффективности проактивного управления большими техническими системами.

Ключевые слова: критерии устойчивости, моделирование динамики состояний системы, унифицированные табличные формы, коэффициент устойчивости функционирования системы, программа для ЭВМ

Для цитирования: Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Интеграция методологических решений по оценке устойчивости функционирования больших технических систем. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=974> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.003

Integration of methodological solutions for the assessment of the stability of large technical systems operation

K.Z. Bilyatdinov¹, E.A. Krivchun² 

¹ ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation

² Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russian Federation

kkrivchun@yandex.ru ✉

Abstract: To improve the management processes of large technical systems, aspects of methodological solutions integration for the development and integrated application of a model for ensuring sustainability and methods for assessing the sustainable functioning of those systems are considered. The model is designed to simulate the dynamics of stability states of a large technical system by calculating losses, as in the case of the time and resources spent on restoring the system in adverse conditions. In the model, for systematization and the most rational use of the simulation results in computer programs, unified tabular forms have been developed, suitable for modeling the stability states of various systems. The simulation results are proposed to be used in the methodology for assessing the stability of the functioning of large technical systems. The methodology calculates a complex indicator: the functioning of a large technical system. The formula for calculating the stability coefficient is obtained based on the criterion of the effectiveness of a complex system while conserving resources and timely restoration of system elements. A computer program implements this technique and uses unified tabular forms from the model for ensuring system stability. The complex application of the model and methodology is aimed at making timely rational management decisions to ensure the stable functioning of large technical systems in the conditions of unstable dynamics of semi-structured data on the state of the system, the availability of resources, and the results of the external environment. In the future, the presented model and methodology can be used to develop methods for registering complex events (within visibility on the event horizon) and identifying scenarios for their development to improve the efficiency of proactive management of large technical systems.

Keywords: sustainability criteria, modeling the dynamics of system states, unified tabular forms, coefficient of sustainability of the functioning of the system, computer program

For citation: Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. Integration of methodological solutions for the assessment of the stability of large technical systems operation. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=974> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.003 (In Russ).

Введение

Сегодня под большими техническими системами понимают комплексы основных производственных и вспомогательных подсистем (элементов), функционирующих в рамках одного технологического процесса для достижения единой цели.

Большие технические системы могут функционировать в масштабах предприятия, организации, промышленного района, производственного кластера, инфраструктуры региона и т. д. В качестве примеров таких систем можно привести промышленные предприятия, агропромышленные комплексы, системы и линии связи, информационно-вычислительные центры, объекты транспорта и транспортные системы, объекты топливно-энергетического комплекса и др.

Очевидно, что от устойчивого функционирования больших технических систем в значительной степени зависит состояние экономики страны. Поэтому остаются актуальными многие вопросы совершенствования процессов управления большими техническими системами, влияющие на их устойчивое функционирование.

В особенности это касается принятия своевременных рациональных решений в области обеспечения устойчивого функционирования больших технических систем в неблагоприятных условиях, когда присутствует нестабильная динамика слабоструктурированных данных о состоянии системы, наличия ресурсов и результатах

воздействия внешней среды на систему.

В современном мире с абсолютной точностью невозможно определить все последствия деструктивных воздействий на устойчивость функционирования больших технических систем (далее – систем) в неблагоприятных условиях. В этом случае под устойчивостью целесообразно понимать не только способность систем как можно более длительное время функционировать в неблагоприятных условиях при заданных ресурсах, но и способность противостоять деструктивным воздействиям, восстанавливая свои производственные и вспомогательные подсистемы (элементы, изделия) [1, 2].

Устойчивость функционирования систем напрямую зависит от качества технических изделий в их составе, качества ресурсов и эффективности управления системами. Поэтому вопросам устойчивости, качества, надежности и эффективности посвящено много научных работ известных ученых, в том числе Авдеевского В. С., Ляпунова А. М., Флейшмана Б. С. и др. [3, 4, 5]. Важно отметить, что современные научные исследования [7, 8, 10] в этих вопросах предусматривают интеграцию различных научных знаний, опыта специалистов и информационных технологий [7, 9, 10]. При этом совершенствование управления системами в неблагоприятных условиях предполагает существенное снижение затрат ресурсов и времени на принятие своевременных рациональных управленческих решений [8, 10]. В свою очередь, снижение затрат ресурсов и времени возможно на основе разработки и совершенствования методологических решений по оценке устойчивости функционирования систем [2]. Эти методологические решения будут затрагивать вопросы моделирования состояний устойчивости систем и непосредственно оценку их устойчивости функционирования в различных условиях.

Таким образом, научные исследования [2, 8, 9] и объективная потребность в принятии своевременных управленческих решений определяют необходимость дальнейшего развития и совершенствования методологического обеспечения оценки устойчивости функционирования систем путем интеграции методологических решений по оценке устойчивости функционирования систем.

Постановка задачи по интеграции методологических решений

С учетом научных работ [2, 7, 9, 10], одним из рациональных направлений в этой предметной области является интеграция методологических решений по разработке и комплексному применению модели обеспечения устойчивости и методики оценки устойчивого функционирования систем.

Соответственно, для достижения этой цели модель обеспечения устойчивости функционирования системы (далее – Модель) должна служить выполнению следующих задач (основное назначение Модели):

1. Анализ изменений состояний устойчивости систем в неблагоприятных условиях функционирования.
2. Прогнозирование состояния систем в зависимости от последствий воздействия различных неблагоприятных факторов.
3. Повышение обоснованности управленческих решений по созданию резервов систем, запасов ресурсов, подготовки специалистов, а также формированию базовых требований к значениям показателей качества систем в сфере обеспечения устойчивости.

Результаты моделирования должны использоваться в методике оценки устойчивого функционирования систем (далее – Методика) для расчета комплексного показателя, а именно коэффициента устойчивости функционирования системы.

В связи с этим для систематизации и наиболее рационального использования результатов моделирования в компьютерных программах при расчете коэффициента устойчивости функционирования системы целесообразно разработать в составе Модели унифицированные табличные формы, пригодные для моделирования состояний устойчивости различных систем.

Материалы и методы

Модель позволяет учитывать изменение исходных показателей функционирования систем в зависимости от результатов воздействия неблагоприятных условий.

Таблица 1 – Минимально необходимые требования по обеспечению устойчивого функционирования системы за период времени (Δt_y) _____ (сутки) и основные критерии определения устойчивости системы

Table 1 – The minimum necessary requirements to ensure the stable functioning of the system for a period of time (Δt_y) _____ (day) and the main criteria for determining the stability of the system

№ п/п	Наименование показателя, K_i	Обозначение показателя	Единица измерения	Количественное значение и критерии определения устойчивости системы
1	Количество элементов, находящихся в непрерывной эксплуатации (готовности)	N_{min}	комплект	Если $N > N_{min}$, то система устойчива, если $N < N_{min}$, то система не устойчива, если $N = N_{min}$, то система на границе своей устойчивости.
2	Минимальное количество персонала, необходимое для эксплуатации системы	$L_{эк. min}$	специалист	Если $L_{эк} > L_{эк. min}$, то система устойчива, если $L_{эк} < L_{эк. min}$, то система не устойчива, если $L_{эк} = L_{эк. min}$, то система на границе своей устойчивости.
3	Запасы ресурсов, необходимых для производства продукции (для объектов промышленности) и (или) для поддержания требуемого состояния	$X_{n min}$	принятые ед. изм. ресурсов	Если $X > X_{min}$, то объект устойчив, если $X < X_{min}$, то объект не устойчив, если $X = X_{min}$, то объект на границе своей устойчивости.
4	Бюджет эксплуатации и ремонтно-восстановительных работ системы	S_{min}	тысяч рублей	Если $S > S_{min}$, то система устойчива, если $S < S_{min}$, то система не устойчива, если $S = S_{min}$, то система на границе устойчивости.
5	Минимально требуемый результат функционирования: количество выпущенной продукции, оказанных услуг и (или)	Y_{min} или N_{min} (п.1 таблицы)	Для Y_{min} принятые ед. изм. продукции (услуг) или	Если $Y \geq Y_{min}$, то система устойчива, если $Y < Y_{min}$, то система не устойчива.

	поддержание в готовности требуемого количества элементов системы (N_{min})		для N_{min} комплект	
--	--	--	------------------------	--

Модель представляет собой совокупность взаимосвязанных унифицированных таблиц, содержащих описание требований, критериев и динамику изменений следующих основных показателей: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество подсистем (элементов), количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы к восстановлению и результаты восстановления, пример – Таблица 1.

Расчет значений показателей качества (Таблица 1) в момент времени t_i производится по формуле:

$$K_i = K_{i-1} - K_{ni} + K_{ei}, \quad (1)$$

где K_i – значение показателя качества в момент времени t_i ;

K_{i-1} – предыдущее значение показателя качества системы перед наступлением момента времени t_i , то есть в момент времени t_{i-1} ;

K_{ei} – количественное значение, выражающее увеличение запасов ресурсов и количества восстановленных элементов системы, то есть увеличение значения показателя качества к моменту времени t_i ;

K_{ni} – количественное значение, выражающее потери ресурсов и потери (неисправности) элементов объекта (системы), то есть уменьшение значения показателя качества к моменту времени t_i или за период времени:

$$\Delta t_i = t_i - t_{i-1}. \quad (2)$$

В Модели основная величина, характеризующая влияние качества систем на устойчивость объекта, – это количество времени (Δt_y), в течение которого объект способен устойчиво функционировать в неблагоприятных условиях без поступления внешних ресурсов. Таким образом, в Модели на устойчивость влияет время восстановления систем. Минимальное количество времени на восстановление системы будет всегда равно минимальному времени восстановления одного элемента в ее составе: $T_{nmin} = T_{lmin}$.

Соответственно, чем меньше минимально возможное по техническому регламенту время восстановления системы (ее элементов) и ниже трудозатраты и расходы ресурсов на восстановление, тем меньшее количество времени и специалистов необходимо для ремонтно-восстановительных работ. Значит, повышается устойчивость объекта за счет более быстрого восстановления неисправных (поврежденных) систем. Таким образом, время восстановления системы (T_{lmin}), трудозатраты (E_l) и расход ресурсов (X_l) на проведение ремонтно-восстановительных работ будут являться ее показателями качества в сфере обеспечения устойчивости объекта.

Результаты

На основе результатов моделирования с применением разработанной Модели, а также научных исследований [1, 2, 3, 6], целесообразно разработать Методику, исходя из следующих ограничений:

- 1) неблагоприятные факторы могут воздействовать на все системы, персонал, запасы ресурсов, транспортные средства и коммуникации;
- 2) ресурсы системы расходуются на выполнение функций и на восстановление и ввод систем в эксплуатацию.

Методика оценки устойчивости систем разработана совместно с программой для ЭВМ «Оценка устойчивости систем».

Назначение Методики и программы для ЭВМ:

1. Оценка устойчивости выполнения системами функции (функций) и (или) обеспечения устойчивости функционирования в зависимости от результатов воздействия неблагоприятных условий в заданный период времени.

2. Расчет коэффициента устойчивости системы как комплексного показателя качества систем в сфере устойчивости объекта их применения.

3. Анализ влияния значений показателей качества систем (Таблица 1) на устойчивость системы и обоснование рекомендаций по повышению устойчивости за счет улучшения значений показателей качества элементов (изделий) в ее составе (совершенствование эксплуатации, технического обеспечения и подготовки персонала, направления модернизации или создание новых систем).

На основе результатов моделирования с применением разработанной Модели, а также научных исследований [1, 2, 3, 6], целесообразно разработать Методику, исходя из следующих ограничений:

1) неблагоприятные факторы могут воздействовать на все системы, персонал, запасы ресурсов, транспортные средства и коммуникации;

2) ресурсы системы расходуются на выполнение функций и на восстановление и ввод систем в эксплуатацию.

Последовательность действий (алгоритм программы для ЭВМ):

1. Определение количества элементов, выполняющих заданную функцию (функции) или обеспечивающих устойчивое функционирование системы.

2. Разделение этого количества систем на три группы:

1-я группа – системы, вводимые в эксплуатацию;

2-я группа (основная) – выполняет функции объекта;

3-я группа – резерв и неисправные системы.

3. Определение и заполнение таблицы ограничений и базовых требований к значениям показателей качества (Рисунок 1) с использованием Таблицы 1 из состава модели устойчивости.

The screenshot shows a software interface with a tabbed menu at the top containing 'Ограничения', 'Системы', and 'Анализ систем'. Below the menu are four buttons: 'Сохранить', 'Загрузить из файла', 'Добавить из файла', and 'Дальше →'. The main area contains a table for defining constraints. The table has columns: 'Наименование показателя', 'Обозначение', 'Единица измерения', 'Условие', and 'Значение'. A dropdown menu is open over the first column, listing various indicators. The table contains several rows of data, including 'Необходимое количество персонала для всей системы на период функционирования' with a value of 400.

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Условие	Значение
Прогнозируемое кол-во потерь специалистов 1 группы за одну смену		ч		0
Прогнозируемое кол-во потерь специалистов 2 группы за одну смену		шт.	>	8
Прогнозируемое кол-во потерь специалистов 3 группы за одну смену		шт.	>	6
Стоимость функционирования системы в период функционирования		шт.	>	37
Расход ресурсов на 1 группу (Стоимость) в сутки		шт.	>	37
Необходимое количество персонала для всей системы на период функционирования	S	чел.	<	400

Рисунок 1 – Пример интерфейса программы: ввод ограничений для системы

Figure 1 – An example of the program interface: entering restrictions for the system

4. Определение реальных значений показателей функционирования систем объекта.

5. Расчет и заполнение таблицы последствий неблагоприятных воздействий:

5.1. Неисправности систем.

5.2. Потери персонала и всех видов ресурсов.

6. Вычисления коэффициентов функционирования системы [2, 6]:

6.1. Коэффициент ввода систем 1 группы в эксплуатацию (p):

$$p = \frac{P_1}{N_1}, \quad (3)$$

где P_1 – количество систем 1 группы, введенных в эксплуатацию, включая восстановленные системы;

N_1 – общее количество систем 1 группы, вводимых в эксплуатацию за оцениваемый период времени Δt_i .

6.2. Коэффициент учета влияния недостатка ресурсов на 1 группу систем (a):

$$a = \frac{A_1}{N_1}, \quad (4)$$

где A_1 – количество систем 1 группы, не перешедших во 2 группу из-за недостатка ресурсов за оцениваемый период времени Δt_i .

6.3. Коэффициент возникновения неисправностей (уничтожения, выхода из строя) систем 1 группы (b):

$$b = \frac{B_1}{N_1}, \quad (5)$$

где B_1 – количество систем 1 группы, вышедших из строя, уничтоженных.

6.4. Коэффициент интенсивности восстановления систем, то есть перехода систем 1 группы во 2 группу (основную) – f :

$$f = \frac{F_1}{N_1}, \quad (6)$$

где F_1 – количество систем 1 группы, перешедших во 2 группу.

6.5. Коэффициент интенсивности перехода систем 2 группы в 3 группу (q):

$$q = \frac{Q_2}{N_2}, \quad (7)$$

где Q_2 – количество поврежденных и неисправных систем 2 группы, перешедших в 3 группу;

N_2 – количество систем 2 группы, выполняющих функции БТС.

6.6. Коэффициент неисправности элементов систем 2 группы (d):

$$d = \frac{D_2}{N_2}, \quad (8)$$

где D_2 – количество уничтоженных (поврежденных и неисправных) систем 2 группы, не подлежащих восстановлению.

6.7. Коэффициент использования (убыли) систем 3 группы в интересах восстановления систем 1 группы (h):

$$h = \frac{H_3}{N_3}, \quad (9)$$

где H_3 – количество систем, перешедших из 3 группы во 2 группу;
 N_3 – количество систем 3 группы.

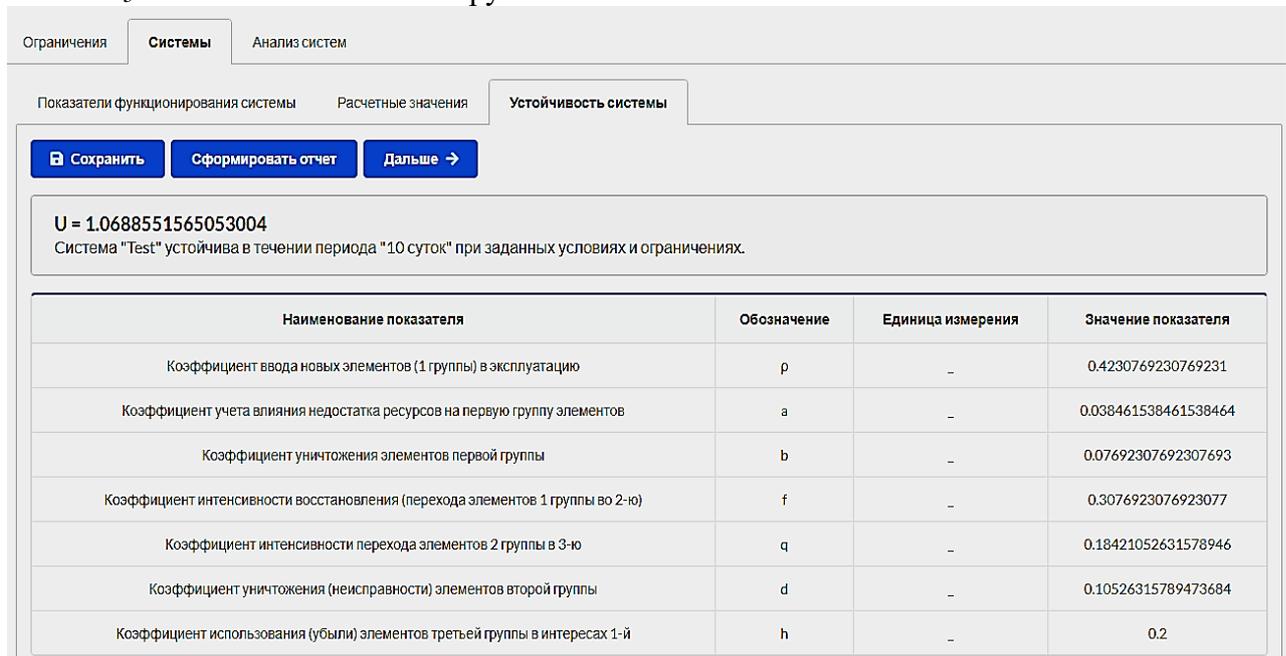


Рисунок 2 – Пример интерфейса программы: вывод об устойчивости системы
Figure 2 – An example of the program interface: conclusion about the stability of the system

6. Расчет значения коэффициента устойчивости функционирования системы (U) по формуле (10):

$$U = \frac{pfh^3}{aq^3(q+d)} - \frac{h^4(b-f)}{aq^4}. \quad (10)$$

При условии, что $p > 0$, $a > 0$, $b > 0$, $f > 0$, $q > 0$, $d > 0$ и $h > 0$. [5]

7. Вывод по оценке устойчивости системы на основании следующих критериев (пример – Рисунок 2), по аналогии с критериями в Таблице 1:

7.1. Если $U > 0$, то система устойчива в течение данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

7.2. Если $U = 0$, то система находится на пределе своей устойчивости в течение данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

7.3. Если $U < 0$, то система не устойчива в течение данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

8. При необходимости сравнение с базовыми требованиями и (или) с показателями устойчивости других систем или в разные периоды времени. Составление рейтинга устойчивости систем.

9. Представление результатов оценки лицу, принимающему решение (далее – ЛПР).

В Методике формула (3) разработана на основе критерия эффективности сложной системы при сохранении ресурсов и своевременном восстановлении элементов системы [2, 6].

Программа для ЭВМ «Оценка устойчивости систем» является

кроссплатформенной и функционирует как клиент-серверное приложение.

В программе предусмотрена возможность формирования отчетов в виде таблицы в формате Word, а также визуализации полученных результатов в виде графиков и диаграмм. Объем программы: 2,1 МБ.

Языки программирования: C#, JavaScript, HTML.

Заключение

В заключении важно отметить, что разработанная Модель позволяет моделировать изменения количественных значений основных показателей оценки качества системы (Таблица 1) в зависимости от результатов деструктивных воздействий, а также исследовать устойчивость систем в неблагоприятных условиях, которые объективно невозможно создать при реальной эксплуатации оцениваемых систем. Методика оценки устойчивости объектов совместно с программой для ЭВМ «Оценка устойчивости систем» реализует возможность расчета коэффициента устойчивости, что в комплексе с моделью обеспечения устойчивости предоставляет возможности прогнозирования устойчивости выполнения системами своих функций в неблагоприятных условиях. Поэтому в перспективе интеграция методологических решений в сфере разработки и комплексного применения представленных Модели и Методики могут быть использованы для разработки способов регистрации сложных событий (в пределах видимости на горизонте событий) и выявления сценариев их развития в интересах повышения эффективности проактивного управления системами.

Так как для ЛПР проблема снижения времени оценки качества и оперативного принятия обоснованных управленческих решений в условиях нестабильной и быстроменяющейся обстановки имеет особую актуальность, то основной положительный эффект от предлагаемой интеграции методологических решений заключается в существенном сокращении времени и расхода ресурсов на оценку устойчивости функционирования систем.

Кроме того, применение ЛПР Методики и программы для ЭВМ способствует принятию своевременных и обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения устойчивости систем непосредственно в процессе их функционирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Билятдинов К.З., Алейников А.А., Кривчун Е.А. Управление техническим обеспечением: методология контроля качества. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2016;(6):76–78.
2. Билятдинов К.З. Методика оценки устойчивости технических систем. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2020;(10):25–28.
3. Ляпунов А.М. *Общая задача об устойчивости движения*. М.; Л.: ОНТИ; 1935.
4. *Надежность и эффективность в технике: справочник*. Ред. совет: Авдеевский В.С. (пред.) и др. Т.3. *Эффективность технических систем*. Под общ. ред. Уткина В.Ф., Крючкова Ю.В. М.: Машиностроение; 1988. 328 с.
5. Флейшман Б.С. *Элементы теории потенциальной эффективности систем*. М.: Сов. радио; 1971.
6. Андреева Е.А., Гольянова (Дмитриева) О.Н. *Двойственный метод в задачах оптимального управления*. Тверь; 2004.
7. Banker R., Kotarac K., Neralić L. Sensitivity and stability in stochastic data envelopment analysis. *The Journal of the Operational Research Society*. 2015;66(1):134–147.
8. Filz M., Herrmann C., Thiede S. Simulation-based Assessment of Quality Inspection Strategies on Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*. 2020;93:777–782.
9. Han P., Wang L., Song P. Doubly robust and locally efficient estimation with missing

outcomes. *Statistica Sinica*. 2016;26(2):691–719.

10. Luetje A., Wohlgemuth V. Tracking Sustainability Targets with Quantitative Indicator Systems for Performance Measurement of Industrial Symbiosis in Industrial Parks. *Administrative sciences*. 2020;10(1).

REFERENCES

1. Bilyatdinov K.Z., Aleynikov A.A., Krivchun Ye.A. Technical support management: quality control methodology. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya = Scientific and technical bulletin of the Volga region*. 2016;(6):76–78. (In Russ.)
2. Bilyatdinov K.Z. Methodology of assessment of technical systems' stability. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya = Scientific and technical Volga region bulletin*. 2020;(10):25–28. (In Russ.)
3. Lyapunov A.M. *General problem of motion stability*. M.; L.: ONTI; 1935. (In Russ.)
4. *Reliability and efficiency in technology: reference book*. Ed. advice: Avduevsky V.S. (prev.) and others. V.3. *Efficiency of technical systems*. Under total. ed. Utkin V.F., Kryuchkova Yu.V. M.: Mashinostroenie; 1988. 328 p. (In Russ.)
5. Fleishman B.S. *Elements of the theory of potential efficiency of systems*. M.: Sov. radio; 1971. (In Russ.)
6. Andreeva E.A., Gol'yanova (Dmitrieva) O.N. *Dual method in optimal control problems*. Tver; 2004. (In Russ.)
7. Banker R., Kotarac K., Neralić L. Sensitivity and stability in stochastic data envelopment analysis. *The Journal of the Operational Research Society*. 2015;66(1):134–147.
8. Filz M., Herrmann C., Thiede S. Simulation-based Assessment of Quality Inspection Strategies on Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*. 2020;93:777–782.
9. Han P., Wang L., Song P. Doubly robust and locally efficient estimation with missing outcomes. *Statistica Sinica*. 2016;26(2):691–719.
10. Luetje A., Wohlgemuth V. Tracking Sustainability Targets with Quantitative Indicator Systems for Performance Measurement of Industrial Symbiosis in Industrial Parks. *Administrative sciences*. 2020;10(1).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Биятдинов Камиль Закирович, кандидат военных наук, доцент ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация.
e-mail: k74b@mail.ru

Kamil Z. Bilyatdinov, candidate of military sciences, assistant professor of ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation.

Кривчун Екатерина Александровна, кандидат химических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия.
e-mail: kkrivchun@yandex.ru

Ekaterina A. Krivchun, PhD in Chemistry, assistant professor of Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia.

Статья поступила в редакцию 28.09.2021; одобрена после рецензирования 26.10.2021; принята к публикации 27.10.2021.

*The article was submitted 28.09.2021; approved after reviewing 26.10.2021;
accepted for publication 27.10.2021.*