




Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 602

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.023

 EDN: PAUCIC

ОЦЕНКА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Николай Алексеевич Ермошин ¹, Сергей Александрович Романчиков ²,
Сергей Владимирович Буланов ³

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
^{2,3} Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева, Санкт-Петербург, Россия

¹ e-mail ermonata@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0367-5375>

² romanchkovspb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4387-6822>

³ bulanov_serega83@mail.ru

Аннотация. Ремонтпригодность является одним из наиболее важных показателей надежности теплогенерирующих устройств технологического оборудования пищевых производств. Она обеспечивается на стадии их проектирования и исследуется в ходе испытания опытных образцов. Экспериментальные исследования требуют привлечения достаточно значительного количества ресурсов. В связи с этим существует необходимость разработки методов выбора конструктивных решений, обеспечивающих ремонтпригодность теплогенерирующих устройств на стадии их проектирования. Это особенно важно в условиях дефицита запасных частей, повышения их стоимости, затрат времени на их поставку в связи с разрушением логистических цепочек в условиях экономических санкций.

В статье предлагается метод оценки ремонтпригодности теплогенерирующих устройств и выбора конструктивных решений, обеспечивающих минимизацию стоимости ремонта на основе сопоставления затрат на замену конструктивного элемента новыми и их ремонт.

В качестве метода решения задачи используется анализ дискретного множества допустимых решений на ремонт или замену отдельных узлов или теплогенерирующего устройства в целом в ходе его эксплуатации.

Критериями выбора решения является минимум затрат на восполнение работоспособности теплогенерирующего устройства рассчитываемый по функции Беллмана, т.е. с использованием теории динамического программирования. Это позволяет определить оптимальный вариант конструктивного решения из множества возможных и обеспечить работоспособность принятого варианта теплогенерирующего устройства с учетом затрат на его ремонт.

Ключевые слова: конструктивный элемент, теплогенерирующее устройство, жизненный цикл, ремонтпригодность, надежность.

Для цитирования: Ермошин, Н. А., Романчиков, С. А., Буланов С. В. Оценка ремонтпригодности теплогенерирующих устройств технологического оборудования пищевых производств // Ползуновский вестник. № 3, 2022. С. 166 – 172. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.023. EDN: <https://elibrary.ru/paucic>.

Original article

EVALUATION OF THE MAINTAINABILITY OF HEAT GENERATING DEVICES FOR TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF FOOD PRODUCTION

Nikolay A. Ermoshin ¹, Sergey A. Romanchikov ², Sergey V. Bulanov ³

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

^{2,3} Military Academy of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulev, St. Petersburg, Russia

¹ e-mail ermonata@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0367-5375>

² romanchkovspb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4387-6822>

³ bulanov_serega83@mail.ru

Abstract. *Maintainability is one of the most important indicators of the reliability of heat-generating devices for food processing equipment. It is provided at the stage of their design and is investigated during the testing of prototypes. Experimental studies require the involvement of a fairly significant amount of resources. In this regard, there is a need to develop methods for choosing design solutions that ensure the maintainability of heat generating devices at the stage of their design. This is especially important in the context of a shortage of spare parts, an increase in their cost, and the time spent on their delivery due to the destruction of supply chains in the context of economic sanctions.*

The article proposes a method for assessing the maintainability of heat generating devices and choosing design solutions that minimize the cost of repairs based on a comparison of the costs of replacing a structural element with new ones and their repair.

As a method for solving the problem, an analysis of a discrete set of feasible solutions for the repair or replacement of individual units or a heat generating device as a whole during its operation is used.

The selection criteria for the expansion is the minimum cost of replenishing the health of the heat generating device, calculated by the Bellman function, i.e. using the theory of dynamic programming. This makes it possible to determine the optimal variant of a constructive solution from a variety of possible ones and to ensure the operability of the adopted variant of the heat generating device, taking into account the cost of its repair.

Keywords: *structural element, heat generating device, life cycle, maintainability, reliability.*

For citation: Ermoshin, N. A., Romanchikov, S. A. & Bulanov, S. V. (2022). Evaluation of the maintainability of heat generating devices for technological equipment of food production. *Polzunovskiy vestnik*, 3, 166-172. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.023.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации полевых кухонь, хлебопекарных печей и теплового оборудования (КПБМ-150, ХП-0,4 и др.) входящие в их комплект теплогенерирующие устройства (ТГУ) (отдельные блоки, элементы и др.) их эксплуатационные показатели, присущие новому оборудованию, постепенно ухудшаются. Потеря конструктивными элементами своих первоначальных показателей при эксплуатации (износ) – неотвратимый процесс, протекающий с большей или меньшей интенсивностью в зависимости от их конструкции и условий использования.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка метода оценки ремонтпригодности теплогенерирующих устройств и
POLZUNOVSKIY VESTNIK № 3 2022

выбора конструктивных решений, обеспечивающих минимизацию стоимости ремонта на основе анализа дискретного множества допустимых решений на ремонт или замену отдельных узлов или теплогенерирующего устройства (ТГУ) в целом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На рисунке 1 проиллюстрирована динамика изменения интенсивности отказов во времени.

Критическим износом (предельным состоянием) является момент выхода показателей безотказной работы и интенсивности отказов за допустимые границы, соответствующие потере работоспособности. Сущность износа состоит в снижении потреби-

тельских свойств теплогенерирующего устройства и связанной с этой потерей времени на ремонт t_r и времени на замену t_s . На рисунке 2 показаны факторы физического износа теплогенерирующего устройства. Характерной особенностью является то, что

динамика изменения интенсивности во времени является одинаковой для всех возможных типов ТГУ. Это следует из закономерности функционирования технических систем и потери их работоспособности во времени.

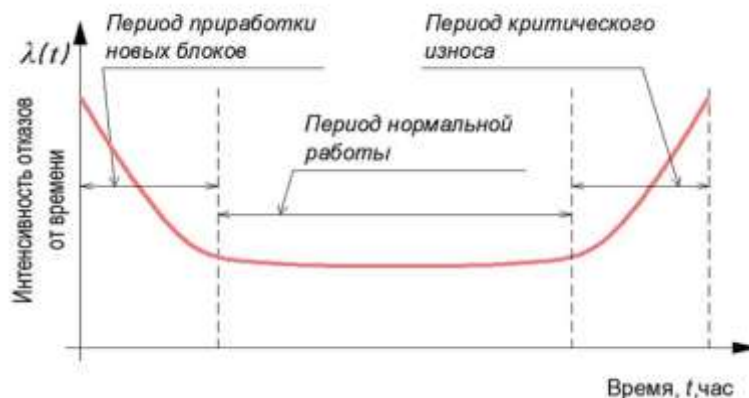


Рисунок 1 – Динамика изменения интенсивности отказов во времени

Figure 1 – Dynamics of changes in the failure rate over time

Научным обоснованием динамики изменения интенсивности отказов во времени являются постулаты математической теории надежности, разработанной Ф. Прошаном и развитой в трудах Советских и Российских исследователей. Согласно этим работам аналитически изменение отказов во времени

можно представить в виде следующей зависимости:

$$f(t) = \lambda \delta t^{\delta-1} e^{-(\lambda t^\delta)}$$

где δ - параметр формы (определяется подбором в результате обработки экспериментальных данных, $\delta > 0$); λ - параметр масштаба.



Рисунок 2 – Факторы физического износа ТГУ

Figure 2 – Factors of physical deterioration of TSU

ОЦЕНКА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Как видно из рисунка использование нормативных сроков службы конструктивных элементов и теплогенерирующего устройства в целом, используемого в процессе приготовления пищи, при оценке физического износа – весьма приближенный метод. За пределами нормативного срока службы износ оборудования не равен 100 %, если ТГУ продолжает эксплуатироваться и приносить пользу. Практика показывает, что теплогенерирующие устройства многих технических средств ПродС сильно изношены с точки зрения нормативных сроков службы. Значительная часть отдельных блоков и элементов по хронологическому сроку (формуляру) имеет 100 % износ, однако активно используется при приготовлении пищи и кипятка и, следовательно, имеет возможность применения. Другая часть, напротив, практически не имея износа (исчерпания паспортного срока службы), не может применяться в полевых условиях из-за низкой сохраняемости и не возможности их применения в связи с отсутствием необходимых видов топлива и других ресурсных ограничений.

К этому следует добавить, что физический износ ТГУ в наибольшей степени зависит от интенсивности его использования. ТГУ может иметь значительный календарный «возраст» и быть менее изношенным, чем более новое, но эксплуатировавшееся интенсивнее. Физический износ конструктивных элементов уменьшается в процессе проведения регламентных ремонтов. При этом большое значение имеет качество проведения технического обслуживания (ТО).

Указанные обстоятельства свидетельствуют о существовании в системе пищевых производств важной задачи, связанной с разработкой конструктивных решений обеспечивающих ремонтпригодность теплогенерирующего устройства. Чем меньше продолжительность ремонта, тем выше эффективность теплогенерирующего устройства. В связи с этим существует необходимость принятия решения о ремонте конструктивных элементов или их замене. При сравнении вариантов конструкции теплогенерирующего устройства следует исходить не только от времени их ремонта, но и стоимости ремонта или замены. Естественно, что сама замена также потребует времени. Исходя из этого в качестве критерия оценки ремонта пригодности ТГУ (F_i) может использоваться аддитивный критерий.

$$F_i = \left(\sum_{j=1}^n c_{ij} t_{ij} - \sum_{j=1}^n c_{ij}^* t_{ij}^* \right) \rightarrow \min,$$

где C_{ij} – стоимость замены j – конструктивного элемента, i – ТГУ;

t_{ij} – время замены j – конструктивного элемента, i – ТГУ;

c_{ij}^* – стоимость ремонта j – конструктивного элемента, i – ТГУ;

t_{ij}^* – время ремонта j – конструктивного элемента, i – ТГУ.

Критерием оптимальности управления в этом случае является минимизация суммарных затрат времени и стоимости ремонта ТГУ в течение планируемого периода. Основная характеристика ТГУ – параметр состояния – это срок эксплуатации ТГУ. От срока эксплуатации ТГУ зависят эксплуатационные расходы и затраты на ремонт. В таком случае в целях оценки ремонтпригодности ТГУ на каждом этапе их эксплуатации необходимо принятие решения о том, продолжить его эксплуатацию U^s выполнить ремонт конструктивного элемента U^r или заменить конструктивный элемент U^z .

При таком подходе задача оценки ремонтпригодности вариантов конструкции ТГУ становится задачей материального программирования с дискретным множеством допустимых решений по выбору вариантов наиболее ремонтпригодных конструкций ТГУ. В порядке возможных вариантов необходимо выбрать такой из них, который имеет минимальные затраты на это исполнение по функциональному предназначению.

При такой постановке вопроса оценки ремонтпригодности выбор оптимального решения может быть представлен в виде нескольких шагов.

Математическая постановка задачи состоит в следующем:

Существует возможность представления работы ТГУ и его эксплуатации жизненного цикла (ЖЦ) в виде n шагов (этапов). На каждом шаге (этапе) требуется определить два вида переменных – переменную состояния ТГУ S и переменную характеризующую решение о продолжении эксплуатации, ремонта или замены конструктивного элемента ТГУ X . Переменная S определяет, в каких состояниях может оказаться объект МТБ на данном k -м шаге. В зависимости от переменной S на этом этапе можно принять некоторые организационно-экономические решения, которые характеризуются переменной X_k . Принятие

решения X на k - м этапе влечет за собой результат $W_k(S, X_k)$ и переводит техническую систему ТГУ в некоторое новое состояние $S'(S, X_k)$.

Для каждого возможного состояния ТГУ на k -м этапе ЖЦ среди возможных решений выбирается такое из них (x_k^{opt}), чтобы затраты на эксплуатацию, которые достигаются за этапы управления с k -го по n -й, оказались минимальными. Иными словами в качестве результата необходимо определить количественное значение функции Беллмана $F_k(s)$, которое зависит от этапа ЖЦ k и состояния ТГУ S :

$$F_k(s) = \min\{w_k(s, x_k) + F_{k+1}(\hat{s}(s, x_k))\}.$$

Порядок отыскания значения этой функции сводится к следующему.

В процессе разработки конструктивного решения на создание, модернизацию ТГУ планируется продолжительность его ЖЦ в

течении n лет. Поскольку в ходе эксплуатации ТГУ его конструктивные элементы подвержены физическому износу они требуют все больше затрат на ремонт и замену.

При этом существует возможность замены конструктивного элемента и ТГУ в целом. Необходимо найти такой вариант конструкции ТГУ из множества возможных при котором, суммарные затраты на эксплуатацию, ремонт и замену будут минимальны.

На *первом этапе* в данной методике необходимо подготовить исходные данные. Исходными данными для решения рассматриваемой задачи (таблица 1) являются расходы на ремонт конструктивных элементов ТГУ $C(t)$ в течение одного года, стоимость новых конструктивных элементов в k -м году $P(t)$ и начально эксплуатации ТГУ t_0 .

Таблица 1 – Исходные данные для решения задачи

Table 1 – Initial data for solving the problem

Возраст t (срок службы) конструктивных элементов ТГУ, лет	0	1	2	3	4	...	n
Суммарные затраты на восстановление $C(t)$ ТГУ в t -м периоде ЖЦ, млн. руб	$C(0)$	$C(1)$	$C(2)$	$C(3)$	$C(4)$...	$C(n)$
Стоимость закупки нового ТГУ $P(t)$ в t -м году, млн. руб	$P(0)$	$P(1)$	$P(2)$	$P(3)$	$P(4)$...	$P(n)$

Второй этап методики заключается в условной оптимизации функции Беллмана. В процессе реализации этого этапа отыскиваются оптимальные решения для всех возможных состояний ТГУ в начале каждого этапа ЖЦ, начиная с последнего ($k = n, n-1, \dots, 3, 2, 1$). На последнем, k -м этапе, найти оптимальное решение x_k^{opt} и значение функции Беллмана $F_n(s) = \min\{w_n(s, x_n)\}$ не является сложной задачей. Здесь минимум определяется по всем возможным значениям X_n . Последующие вычисления осуществляются согласно уравнению (1) – рекуррентному соотношению, соединяющему функцию Беллмана на каждом этапе (вначале каждого этапа жизненного цикла (ЖЦ) с функцией Беллмана, вычисленной на предыдущем этапе (вначале предыдущего этапа ЖЦ).

На *третьем этапе* вслед за тем, как функция Беллмана и соответствующие оптимальные организационно-экономические решения найдены для всех этапов с k -го по

первый, производится безусловная оптимизация функции Беллмана.

Процесс осуществляется на основе данных о состоянии ТГУ на первом этапе ЖЦ ($k = 1$), которые были получены при проведении условной оптимизации функции Беллмана. Исходя из известного состояния ТГУ на первом этапе (S_0) появляется возможность найти оптимальное решение на ремонт или замену для всех последующих n -этапов. Помимо этого можно найти оптимальное решение на первом этапе x_1^{opt} . После реализации этого решения ТГУ перейдет в новое состояние $\hat{s}(s, x_1^{opt})$. Зная это состояние и имея информацию по результатам условной оптимизации можно определить оптимальное решение на втором этапе x_2^{opt} . С применением такой последовательности действий отыскивается решение об использовании объекта МТБ вплоть до последнего, n -го этапа ЖЦ.

ОЦЕНКА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Рассмотрим алгоритм вычислений по приведенной методике.

В качестве этапа оптимизации выбора решения конструкции ТГУ по критериям ремонтно-пригодности примем этапы ЖЦ с k -го по n -й. Очевидно, что надежность ТГУ будет зависеть от того на сколько оптимально производится его ремонт и замена. Однако, величина этих затрат зависит от того сколько проработало это ТГУ, а также стоимости его замены.

В связи с тем, что процесс моделирования работы ТГУ осуществляется с последнего этапа ($k = n$), на k -м году неизвестно, в какие из этапов с 1-го по $(k-1)$ -й должна осуществляться замена ТГУ или его конструктивных элементов. К началу k -го года не известен и возраст оборудования. Вместе с тем t , не может быть больше t_0+k-1 . Именно такой будет возраст оборудования за $k-1$ год эксплуатации, если к началу 1-го этапа моделирования его срока эксплуатации составлял t_0 лет. Этот срок эксплуатации не может быть меньше единицы, поскольку им будет характеризоваться ТГУ (конструктивный элемент) к началу k -го года при замене его в начале предыдущего $(k+1)$ -го года.

Переменная t в данном случае определяет состояние ТГУ на k -м этапе жизненного цикла. Переменной управления на k -м этапе является логическая переменная, которая может принимать одно из двух значений: ремонтнопригодности (С) или заменить (З) оборудование в начале k -го года.

Функция Беллмана $F_k(t)$ соответствует минимальным затратам на ремонт и замену оборудования за период с k -го по n -й этап, при условии, что к началу k -го этапа его срок эксплуатации был равен t -годам. Выбирая то или иное решение, осуществляется перевод ТГУ из одного состояния в другое. Если в начале k -го года ТГУ (его конструктивные элементы) не заменить, то к началу $(k+1)$ -го года его возраст увеличится на 1 год. Объект перейдет в новое состояние $(t+1)$. В случае замены ТГУ (его конструктивные элементы) и приобретения нового его срока эксплуатации к началу $(k+1)$ -го года станет равен одному году. Таким образом, шаг за шагом, с опорой на результаты предшествующих решений, осуществляется рекуррентное вычисление функции Беллмана.

Для каждого из возможных решений по управлению ТГУ суммарные затраты на их применение вычисляются как сумма двух

слагаемых – затрат на ремонт и затрат на замену. Если ТГУ возраст которого t лет сохраняется на начало k -го года, то за этот год на его ремонт и эксплуатацию будет потрачено $C(t)$ денежных средств. К началу $(k+1)$ -го года срок эксплуатации составит $(t+1)$ -лет, и минимально возможные затраты за оставшиеся годы (с $(k+1)$ -го по k -й) составят $F_{k+1}(t+1)$. В случае принятия решения о ТГУ, то затраты составят $P(t)$. К началу следующего года возраст оборудования составит 1 год, и за все годы с $(k+1)$ -го по k -й минимально возможные затраты на применение будут $F_{k+1}(1)$. Из этих двух вариантов управления выбирается тот, который приносит минимальные затраты. Таким образом, определяется значение функции Беллмана $F_k(t)$ (t), то есть

$$F_k(t) = \min \begin{cases} C(t) + F_{k+1}(t+1) & (C) \\ P(t) + r(0) + F_{k+1}(1) & (З) \end{cases}$$

На каждом шаге нужно вычислить эту функцию для всех $1 \leq t \leq t_0 + k - 1$.

Решение, при котором достигаются минимальные затраты на достижение ремонтно-пригодности ТГУ являются оптимальными.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Научная новизна методики состоит в том, что она, по сравнению с имеющимися, базируясь на использовании метода динамического программирования и оптимальности Р. Беллмана, позволяет принимать решения на выбор вариантов конструкции ТГУ на основе многошагового процесса с учетом минимизации времени и стоимости выполнения ремонта или замены конструктивного элемента на каждом этапе жизненного цикла теплогенерирующего устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный метод оценки ремонтнопригодности теплогенерирующих устройств и выбора конструктивных решений обеспечивает минимизацию стоимости ремонта на основе сопоставления затрат на замену конструктивного элемента новыми и их ремонт.

В отличие от известных предлагаемая методика базируется не только на критериях ремонтнопригодности, но и на критериях экономической эффективности стратегии ремонта и замены оборудования в период эксплуатации.

Предложенная методика апробирована на предприятии ООО «Специальные Промышленные Технологии» при разработке мультитопливного теплогенерирующего устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ermoshin N.A., Romanchikov S.A., Nikolyuk O.I. Complex Use of Various Types of Energy in Processes of Food Production and Storage // International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1079 (2021) 072034 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1079/7/072034.
2. Ermoshin N. A., Romanchikov S. A., Bragin A. N., Strogonov A.V. Methods for modifying the design of heating devices for food production based on the principles of in-plane heat conveyance // AIP Conference Proceedings 2402, 020014 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0074163>.
3. Кораблев Ю.А. Имитационное моделирование: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2017. 146 с.
4. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2020. 253 с.
5. Шаронов А.Н., Востряков И.В., Шатохин И.С. О результатах разработки и проведения государственных испытаний отделения подвижного хлебозавода в кузовах-контейнерах ПХК-М // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. 2020. № 1 (53). С. 104-119.
7. Ермошин Н.А., Романчиков С.А. Методологические аспекты научного обоснования технических решений модификации технических средств и технологического оборудования продовольственной службы // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 100-106.

Информация об авторах

Н. А. Ермошин – доктор военных наук, профессор, профессор - Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

С. А. Романчиков – доктор технических наук, доцент кафедры (материального обеспечения) ФГКВБОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева».

С. В. Буланов – адъюнкт Вольского военного института материального обеспечения ФГКВБОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.06.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was received by the editorial board on 14 June 2022 approved after editing on 25 July 2022; accepted for publication on 15 Aug 2022.

REFERENCES

1. Ermoshin, N.A., Romanchikov, S.A. & Nikolyuk, O.I. (2021). Complex Use of Various Types of Energy in Processes of Food Production and Storage. *International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1079 072034 IOP Publishing*. doi:10.1088/1757-899X/1079/7/072034.
2. Ermoshin, N. A., Romanchikov, S. A., Bragin, A. N. & Strogonov, A.V. (2021). Methods for modifying the design of heating devices for food production based on the principles of in-plane heat conveyance. *AIP Conference Proceedings 2402, 020014*. <https://doi.org/10.1063/5.0074163>.
3. Korablev, Yu.A. (2017). *Simulation modeling: textbook*. M.: KNORUS. (In Russ.).
4. Boev, V.D. (2020). Simulation modeling of systems: a textbook for universities. M.: Yurayt Publishing House. (In Russ.).
5. Sharonov A.N., Vostryakov I.V., Shato-hin I.S. On the results of the development and conduct of state tests of the mobile bakery department in PCK-M container bodies / Sharonov A.N., Vostryakov I.V., Shatokhin I.S. // Scientific Bulletin of the Volsky Military Institute of Material Support: military Scientific journal. 2020. No. 1 (53). pp. 104-119.
7. Ermoshin N.A., Romanchikov S.A. Methodological aspects of scientific substantiation of technical solutions for modification of technical means and technological equipment of the food service /N.A. Ermoshin, S.A. Romanchikov// *Polzunovsky vestnik*. 2020. No. 2. pp. 100-106.

Information about the authors

N. A. Ermoshin – doktor nauk wojskowych, profesor, profesor-Wyższa Szkoła Inżynierii Przemysłowej, cywilnej i drogowej, FGAOU VO "Petersburski Uniwersytet Politechniczny Piotra Wielkiego".

S. A. Romanchikov – doktorem nauk technicznych, adiunktem w katedrze (logistyki) FGKWOU VO "Wojskowa Akademia logistyki imienia generała armii A. V. Chrulewa".

S. V. Bulanov – adiunktem Wolskiego Wojskowego Instytutu wsparcia materiałowego FGKWOU VO "Wojskowa Akademia logistyki imienia generała armii A. V. Chrulewa".