

Математические методы исследования

Mathematical methods of investigation

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2022-88-3-61-72>

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ (ОБОБЩАЮЩАЯ СТАТЬЯ)

© **Виктория Сергеевна Муравьева, Александр Иванович Орлов***

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5; *e-mail: prof-orlov@mail.ru

*Статья поступила 27 июля 2021 г. Поступила после доработки 30 августа 2021 г.
Принята к публикации 29 сентября 2021 г.*

Теория принятия решений — важная составная часть математических методов исследования. В данной работе рассмотрены некоторые аспекты применения теории принятия решений при разработке сложных технических систем. Основное внимание уделено методам формирования оценочных показателей и на их основе — оценок качества и технического уровня сложных технических систем. Обсуждается применение теории принятия решений при разработке автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий. В качестве примера предложен подход к выбору приоритетности выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в ракетно-космической отрасли. Для реализации инструментария проектного управления предложено пять критериев выбора приоритетности проектов с учетом особенностей космической деятельности в России. После формирования перечня возможных проектов необходимо установить их приоритеты, т.е. расположить их в порядке предпочтений для реализации. Для установления приоритетов предлагаем использовать методы экспертных оценок. Приоритеты проектов выявляет комиссия экспертов, которую приказом назначает руководитель предприятия. В теории принятия решений разработано два подхода к установлению приоритетов на базе экспертных оценок — на основе непосредственного сравнения объектов экспертизы и на основе экспертных оценок объектов экспертизы по набору факторов. Первый подход реализуют путем сравнения по средним арифметическим рангов, а затем — и медиан рангов. В результате получают две вспомогательные кластеризованные ранжировки, затем строят согласующую ранжировку. Другой способ нахождения единого мнения комиссии экспертов основан на расчете медианы Кемени экспертных упорядочений. Во втором подходе объекты экспертизы упорядочивают не непосредственно, а на основе значений некоторого набора факторов. Для каждого объекта экспертизы определяют (обычно с помощью экспертов) значения факторов, входящих в этот перечень. Значения факторов объединяют в интегральном показателе приоритетности проектов. Для расчета интегрального показателя могут быть использованы взвешенные средние по Колмогорову и взвешенные медианы.

Ключевые слова: теория принятия решений; инновационный проект; приоритетность реализации проектов; экспертные оценки; интегральный показатель; согласующая ранжировка; медиана Кемени; средние по Колмогорову.

APPLICATION OF THE THEORY OF DECISION MAKING TO THE DEVELOPMENT OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS (GENERALIZING ARTICLE)

© **Victoria S. Muravyeva, Alexander I. Orlov***

N. É. Bauman Moscow State Technical University, 5, 2-ya Baumanskaya ul., Moscow, 105005, Russia;
*e-mail: prof-orlov@mail.ru

Received July 27, 2021. Revised August 30, 2021. Accepted September 29, 2021.

Decision theory is an important component of the methods of mathematical research. We consider some aspects of the application of decision theory to the development of complex technical systems. The main attention is paid to the methods of forming the estimated indicators and then the estimates of the quality

and technical level of complex technical systems on their base. The use of decision theory in the development of an automated system for predicting and preventing aviation accidents is discussed. An approach to choosing the priority of R&D in the rocket and space industry is presented as an example. To implement the project management toolkit, five criteria are proposed for choosing the priority of projects taking into account the peculiarities of space activities in Russia. After forming a list of possible projects, it is necessary to set priorities, i.e. to arrange them in order of preference for implementation. To set priorities, we propose to use methods of expert assessments. The priorities are determined by a commission of experts appointed by the order of the head of the enterprise. In decision theory, two approaches have been developed to set priorities based on expert assessments — using direct comparison of the objects of the expertise and using expert assessments of the objects of the expertise by a set of factors. The first approach is implemented by comparing the ranks by the arithmetic mean, and then the medians of the ranks thus obtaining two auxiliary clustered rankings with subsequent construction of the matching ranking. Another way to find a consensus of the expert commission is based on the calculation of the Kemeny median of expert orderings. In the second approach, objects of the expertise are ordered not directly, but using the values of a certain set of factors. For each object of the expertise, the values of factors included in this list are determined (usually with the help of experts). The values of the factors are combined in an integral indicator of the priority of projects. To calculate the integral indicator, weighted Kolmogorov averages and weighted medians can be used.

Keywords: decision theory; innovative project; priority of project implementation; expert estimation; integral indicator; matching ranking; Kemeny median; Kolmogorov averages.

Введение

Теория принятия решений — важная составная часть математических методов исследования. Развитие теории принятия решений (в том числе экспертных методов) проанализировано в [1].

В данной работе обсудим некоторые аспекты применения теории принятия решений при разработке сложных технических систем. В качестве примера рассмотрим монографию [2], посвященную методам оценки качества и технического уровня сложных систем, используемых в различных видах специальной техники. В ней широко используют теорию принятия решений, в частности, — методы экспертных оценок.

Одни читатели [2] обратят внимание на тщательный разбор формирования оценочных показателей разнообразных сложных технических систем (летательных аппаратов, судов, танков, управляемых авиационных бомб, радиотехнических систем, стрелкового оружия, металлорежущих станков и т.д.), другие — на интеллектуальные инструменты, которые применяет автор для определения технического уровня сложных технических систем. Обсудим место последних в науке и практике.

Экспертные оценки в организационно-экономическом моделировании

Подготовка и принятие управленческих решений сопровождают все этапы жизненного цикла сложных технических систем. В рамках современного направления организационно-экономической науки под названием «менеджмент высоких технологий» (см., например, [3]) разработаны математические модели и методы проектирования и управления производством и экс-

плуатацией сложных технических систем, оценки их эффективности и устойчивости к внешним воздействиям. Менеджмент высоких технологий применяют для организации и управления наукоемкими производствами, прежде всего — при выпуске специальной техники.

Сердцевина менеджмента высоких технологий — теория принятия решений. Она позволяет с единой точки зрения рассмотреть процессы подготовки, принятия и реализации управленческих решений в различных областях деятельности. В ее рамках разработаны различные оптимизационные, статистические, экспертные методы. К оптимизационным относят, например, методы математического программирования (линейного, дискретного, целочисленного, динамического и др.) и оптимального управления (по Л. С. Понтрягину).

Статистическими считают методы современной прикладной математической статистики, другими словами, методы анализа данных. Данные — элементы выборок — могут иметь различную природу. Это могут быть числа, векторы, функции, объекты нечисловой природы. Первые три типа данных (числа, вектора, функции) — элементы линейных пространств, их можно складывать и умножать на числа. С объектами нечисловой природы (значениями качественных признаков, упорядочениями и другими видами бинарных отношений, графами, обычными и нечеткими множествами и т.д.) так поступать нельзя. Математический аппарат анализа нечисловых данных основан на использовании метрик (показателей различия) и решений оптимизационных задач, а не сумм чисел, векторов, функций, как в классических областях прикладной математической статистики. В конце 1970-х годов выделена самостоятельная область прикладной

статистики — статистика объектов нечисловой природы, известная также как статистика нечисловых данных, или нечисловая статистика [4].

В последние годы получило распространение организационно-экономическое моделирование — научная, практическая и учебная дисциплина, посвященная разработке, изучению и применению математических и статистических методов и моделей в экономике и управлении народным хозяйством, прежде всего промышленными предприятиями и их объединениями. Основное содержание организационно-экономического моделирования — статистические методы анализа данных, теория и практика экспертных оценок как неотъемлемые составные части теории принятия решений. В этих двух областях различны источники данных, а потому и методы их сбора (получения). Статистические методы анализа данных обычно связывают с обработкой результатов измерений, наблюдений, испытаний, анализов, опытов. Экспертные оценки — это мнения высококвалифицированных специалистов. Однако нет оснований разделять математические методы анализа статистических и экспертных данных. Нечисловая статистика была разработана как ответ на запросы теории и практики экспертных оценок.

Экспертное оценивание часто является незаменимым инструментом, позволяющим разрабатывать обоснованные управленческие решения при отсутствии достаточного объема результатов наблюдений. Например, при разработке АСППАП — автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий (проект выполняли совместно Группа компаний «Волга-Днепр», Ульяновский государственный университет и МГТУ им. Н. Э. Баумана) возникла необходимость применения экспертных оценок при решении многих конкретных задач. В 2011–2012 гг. проведено несколько сот экспертиз. В частности, эксперты оценивали передаточные параметры для дерева событий при развитии авиационного события (происшествия) на основе логико-вероятностной модели (представляющие собой в первом приближении условные вероятности) в условиях почти полного отсутствия статистических данных. Отсутствие данных связано с несколькими причинами. Во-первых, для сбора части данных требовались большие человеческие и временные затраты, поскольку к моменту проведения экспертного опроса эти данные не были готовы. Во-вторых, часть данных для оценки условных вероятностей невозможно получить в принципе, поскольку промежуточные события из дерева событий, не приведшие к авиационному происшествию, часто никак и нигде не анализируют, не записывают и не сохраняют. Здесь можно при-

вести простую аналогию: затруднительно статистически оценить, с какой вероятностью превышение скорости автомобиля приведет к аварии, поскольку в ряде случаев превышение скорости не приводит к авариям и остается вне поля зрения исследователей.

Большинство алгоритмов сбора и анализа экспертных оценок в проекте АСППАП основано на предположении, что экспертные оценки измерены в порядковых шкалах, поскольку экспертам (летному составу) легче сказать, какое событие встречается чаще, а какое реже, чем оценить число осуществлений событий на 1000 полетов. Оценивать вероятности событий эксперты почти не берутся, в то время как задачи сравнения событий по частоте встречаемости или оценки их по встречаемости условными баллами не вызывают сложностей. Этот факт, обнаруженный при работе с летным составом Группы компаний «Волга-Днепр», соответствует теории экспертных оценок.

Как правило, экспертные оценки используют в тех случаях, когда статистические данные недостаточны, отсутствуют или в настоящее время недоступны. По мере проведения дополнительных исследований по сбору и анализу данных результаты экспертных процедур будут заменять объективными данными. Однако при разработке АСППАП нередко возникали ситуации, когда за все время наблюдений определенное событие не произошло либо произошло небольшое число раз. В таких ситуациях статистические методы дают весьма широкие доверительные границы для вероятности этого события, в то время как экспертные технологии позволяют получить достаточно точные оценки.

Оценки технического уровня сложных технических систем

В [2] подробно рассмотрена роль экспертов при оценке технического уровня сложных технических систем. Описана процедура проведения экспертной оценки и согласования оценок экспертов при сравнительном анализе. Надо подчеркнуть, что ряд вопросов статистического анализа экспертных данных, как и данных иного происхождения, требует дальнейшего развития.

Хорошо известно, что распределения почти всех видов реальных данных не являются нормальными и не входят в какие-либо иные параметрические семейства распределений. Современная парадигма прикладной статистики основана на непараметрических и нечисловых моделях [4, 5]. Однако продолжают кочевать из учебника в учебник, из одной методики в другую методы начала XX в., основанные на нереалистичном предположении нормальности. Иногда

это предположение приводит к серьезным ошибкам, например, при отбраковке резко выделяющихся элементов выборки (выбросов) [6]. Случается, что ошибки имеют другую природу. Так, двухвыборочный критерий Стьюдента нельзя применять для проверки однородности двух независимых выборок не потому, что он предполагает нормальность распределений элементов выборок (влияние отклонений от нормальности сглаживается с ростом объемов выборок), а по другой причине — критерий Стьюдента исходит из равенства дисперсий элементов двух выборок, а это выполняется весьма редко [6].

Методы проверки согласованности ответов экспертов также требуют дальнейшего развития. Поскольку число экспертов обычно не превышает 20 – 30, то формальная статистическая согласованность мнений экспертов (установленная с помощью тех или иных критериев проверки статистических гипотез) может сочетаться с реальным разделением экспертов на группы, что делает дальнейшие расчеты не имеющими отношения к действительности. Для примера обратимся к конкретным методам расчетов с помощью коэффициентов конкордации (согласия) на основе коэффициентов ранговой корреляции Кендалла или Спирмена. Необходимо напомнить, что согласно теории математической статистики положительный результат проверки согласованности таким способом означает ни больше ни меньше как отклонение гипотезы о независимости и равномерной распределенности мнений экспертов на множестве всех ранжировок. Таким образом, проверяют нулевую гипотезу, согласно которой ранжировки, описывающие мнения экспертов, являются независимыми случайными бинарными отношениями, равномерно распределенными на множестве всех ранжировок. Отклонение этой нулевой гипотезы по дурной традиции толкуют как согласованность ответов экспертов. Другими словами, мы становимся жертвами заблуждений, вытекающих из своеобразного толкования слов: проверка согласованности в указанном математико-статистическом смысле вовсе не является проверкой согласованности в смысле практики экспертных оценок. (Именно ущербность рассматриваемых математико-статистических методов анализа ранжировок привела нашу научную группу к разработке нового математико-статистического аппарата для проверки согласованности — непараметрических методов, основанных на так называемых люсианах [1] и входящих в нечисловую статистику.) Группы экспертов с близкими взглядами можно выделить методами кластер-анализа.

В [2] подробно рассмотрены методы формирования оценочных показателей и на их основе — оценок качества и технического уровня

сложных технических систем. Необходимо использовать иерархическую систему со следующим расположением показателей: единичные, групповые, обобщенные, интегральные. Как для многих единичных оценочных показателей, так и для агрегированных (объединенных) показателей, стоящих выше в иерархической системе, необходимо применение процедур экспертного оценивания. При проведении процедур агрегирования итогом экспертного оценивания являются коэффициенты весомости (важности, значимости) [7]. Отметим, что и в этой области необходимы дальнейшие исследования. Так, недавно установлена некорректность метода анализа иерархий [8, 9]. В монографии [7], посвященной новому разделу математической теории принятия решений при многих критериях, раскрываются основные представления о методах выбора оптимальных вариантов решений, оцениваемых по нескольким критериям с использованием информации об их относительной важности. Изложение опирается на строгие определения понятий «Один критерий важнее другого» и «Один критерий важнее другого во столько-то раз».

Новизна подхода [2] состоит, во-первых, в разработке методов проведения оценки технического уровня сложных технических систем на основе современной теории принятия решений с широким применением экспертных технологий, во-вторых, в использовании этих методов для решения многочисленных весьма важных прикладных задач. Большую ценность представляет анализ технического уровня многочисленных конкретных сложных технических систем. Анализ эффективности применения таких систем обычно проводят на основе трехфакторной модели «Человек – Машина – Среда». В [2] рассмотрен фактор «Машина», который можно оценить техническим уровнем. Влиянию на эффективность применения сложной технической системы личностных свойств и подготовленности персонала, работающего с этой системой, окружающей среды (часто противоборствующей), в которой действует система, должны быть посвящены дальнейшие исследования.

Высокий научный уровень работы [2] объясняется как квалифицированным применением современных организационно-экономических и экономико-математических методов, так и огромным опытом решения конкретных прикладных задач, связанных с оценкой технического уровня разнообразных сложных технических систем. Нельзя не согласиться с тем, что следование в фарватере чужих разработок чревато еще большим отставанием [10] в создании сложных технических систем, необходимых для обеспечения независимости и территориальной целостности нашей страны. Для технологического рывка, об-

гона геополитических соперников необходимы соответствующие интеллектуальные инструменты, выполненные на современном научном уровне. Их разработке и широкой апробации посвящена работа [2], развивающая и продолжающая, в частности, книгу «Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники» [11]. Опыт научного признания новых методических подходов к оценке технического уровня образцов вооружения и военной техники на примере управляемых авиационных бомб подробно рассмотрен в сборнике [12].

В последние годы выпущен ряд изданий, посвященных практическим вопросам применения методов принятия решений для оценки качества и технического уровня сложных технических систем. Так, формирование научно-технического задела в судостроении рассмотрено в [13]. Одиннадцать конкретных производственных ситуаций, требующих инженерно-экономической оценки создания корпоративных структур и производственных стратегий, надежности газотранспортных систем, внедрения информационных систем и мониторинга производства, оптимизации управления обеспечением нефтепродуктами, использования альтернативных источников энергии обсуждаются в [14]. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем рассмотрены в [15]. Оценке технического уровня систем наведения управляемых авиационных бомб посвящена книга [16]. Опыт практического использования методов теории принятия решений, отраженный в перечисленных изданиях, после соответствующей адаптации может быть с успехом применен в ракетно-космической отрасли при реализации проектов создания ракетно-космической техники.

Проблема определения приоритетности реализации проектов на предприятиях ракетно-космической отрасли

Подход к выбору приоритетности выполнения проектов в ракетно-космической отрасли развит в [17]. Основное внимание уделяется проектам в виде научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Для реализации инструментария проектного управления предложены пять критериев выбора приоритетности проектов с учетом особенностей космической деятельности в России. После формирования перечня возможных проектов необходимо установить их приоритеты, т.е. расположить их в порядке предпочтений для реализации. Упорядочить проекты предложено методами экспертных оценок. В теории принятия решений разработано два подхода к установлению приоритетов

на основе экспертных оценок — путем непосредственного сравнения объектов экспертизы и с помощью экспертных оценок объектов экспертизы по набору факторов. При использовании *первого подхода* путем сравнения средних арифметических рангов, а затем и медиан рангов получают две вспомогательные кластеризованные ранжировки, затем строят согласующую ранжировку. Другой способ нахождения единого мнения комиссии экспертов в рамках первого подхода основан на расчете медианы Кемени экспертных упорядочений. *Во втором подходе* объекты экспертизы упорядочивают не непосредственно, а на основе значений некоторого набора факторов. Для каждого объекта экспертизы определяют (обычно с помощью экспертов) значения факторов, входящих в этот перечень. Значения факторов объединяют в интегральном показателе приоритетности проектов. Для расчета интегрального (обобщенного) показателя приоритетности проектов могут быть использованы взвешенные средние по Колмогорову и взвешенные медианы.

В рамках Государственной программы по космической деятельности до 2025 г. «Стратегии развития космической деятельности России до 2030 г. и на дальнейшую перспективу» на предприятиях ракетно-космической отрасли (РКО) реализуется большое число инновационных проектов. Выполнение этих проектов связано с большими финансовыми, материальными, временными, кадровыми затратами. Инновационные проекты РКО отличаются особенностями [18]: они имеют четко поставленные цели и сопряжены с новизной; им присущи комплексность и слабая (относительно других отраслей) структурированность; финансирование таких проектов ограничено (по величине и времени); сроки реализации проекта по созданию ракетно-космической техники (РКТ) могут быть от трех до семи и более лет; эти проекты не имеют аналогов в России; реализация проектов сопряжена с высокими рисками (поэтому весьма важно применение современных методов контроллинга рисков [19]) и др.

Ракетная техника (до 80 % проектов) создается в рамках НИОКР. Это обстоятельство оправдывает выделение НИОКР в качестве объекта исследования [17]. Анализ [17, 18] выполнения Федеральных целевых программ по космонавтике, Федеральной космической программы (2005 – 2015) показывает, что наблюдается невыполнение отдельных их пунктов. Несмотря на своевременное и полное финансирование срок завершения работ по принятию космического ракетного комплекса «Ангара» в эксплуатацию был продлен на три года — с 2012 до 2015 г. Связано это с отсутствием соответствующего задела по НИОКР, в то время как имелись в наличии необ-

ходимое ресурсное обеспечение (кадры, производственные мощности, технологии), а также скоординированный и согласованный план работ, и др. Возможности реализации проектов по созданию ракетно-космической техники и ее составных частей на некоторых предприятиях отрасли по объективным причинам ограничены. Кроме того, при планировании и реализации НИОКР необходимо учитывать недостаточное (в ряде случаев) ресурсное обеспечение, жесткие сроки создания опытных образцов, различные виды наземной отработки, летных испытаний и др.

НИОКР планируют в соответствии с жизненным циклом создания РКТ. Согласно регламенту создания ракетно-космической техники выделяют несколько этапов жизненного цикла [18]:

- 1) создание концепции;
- 2) разработка технического проекта (т.е. аванпроекта и эскизного проекта);
- 3) разработка рабочей конструкторской документации;
- 4) разработка технологической документации и технологических процессов;
- 5) изготовление макета и опытных изделий (опытного образца);
- 6) наземная отработка (включая испытания);
- 7) летные испытания и доработка документации для производства по результатам испытаний;
- 8) опытная эксплуатация;
- 9) запуск в производство.

Исходя из отраслевого регламента, этапы 2 – 8 выполняют в рамках НИОКР. Все НИОКР по созданию ракетной техники имеют ряд общих признаков. Рассмотрим этапы НИОКР на примере создания космического аппарата (КА).

Перед началом НИОКР на проектирование КА разработчику представляется формализованное тактико-техническое задание (ТТЗ) на разработку аванпроекта (АП), эскизного проекта (ЭП), технического проекта (ТП) на все изделие и составные части КА [20], такие как двигательная установка, подсистема ориентации и стабилизации, подсистема энергообеспечения, подсистема терморегулирования, подсистема коррекции, бортовая аппаратура командно-измерительной системы, платформа для запуска. После разработки этих документов на основе данных, полученных расчетным путем, выбирают оптимальный проект и формируют облик будущего изделия. При этом решают задачу внешнего проектирования [20]: формируют показатели качества и целевую функцию; обеспечивают структурную устойчивость проекта; определяют задачу внутреннего проектирования. Показатели надежности задают сверху вниз, т.е. на изделие в целом (КА), а затем распространяют на его составные

части. На показатели надежности накладывают ограничения конструктивного, технологического, эксплуатационного и экономического характеров.

На этапе внешнего проектирования реализуют следующие процедуры [20]: выбор параметров орбитальной группировки; расчет радиолинии и формирование требований к параметрам полезной нагрузки; выбор средств и схем выведения, предварительная оценка предельной массы КА; анализ контуров управления и определение требований к бортовой аппаратуре управления; обеспечение структурной устойчивости проекта; формирование задания на внутреннее проектирование.

К задачам внутреннего проектирования относят: синтез вариантов конструкции КА; формирование номенклатуры критических параметров (совместимость со средствами выведения, управление движением КА, управление угловым движением, энергосбережение и сброс тепла и др.). По результатам полученных на этом этапе проектирования технических характеристик выбирают параметры допустимого проекта. Затем конструкторы приступают к выбору компоновки КА. После определения компоновочной схемы КА и согласования с заказчиком всех критических параметров проекта начинают процедуру разработки рабочей конструкторской документации (РКД), макетируют изделие, изготавливают опытный образец, проводят комплекс наземных, летных испытаний, опытную эксплуатацию и корректировку РКД по результатам выполнения этих процедур.

Проекты по созданию перспективных образцов РКТ требуют учета многих факторов, в том числе следует рассмотреть следующие вопросы [18]: источник финансирования проекта и наличие финансовых ресурсов в полном объеме; прогнозирование и оценка трудоемкости и затрат на создание изделий РКТ и их составных частей; обеспечение наличия научной и экспериментальной базы для реализации КП, соответствующих технологий на предприятии; оценка продолжительности технологического цикла создания РКТ; обеспечение наличия подготовленного кадрового потенциала; обеспечение поставок сырья, материалов, комплектующих изделий по всей номенклатуре, объемам в установленные сроки; обеспечение кооперированных поставок сырья, материалов, комплектующих и др.

Рассмотрим выбор критериев ранжирования и классификацию НИОКР для нужд ракетно-космической отрасли. Выполнение НИОКР по созданию перспективных образцов РКТ — это инновационная деятельность. На практике предприятия, как правило, реализуют одновременно несколько проектов. В условиях дефицита высоко-

коквалифицированных научных и инженерных кадров на предприятиях возникает проблема для руководства предприятий отрасли — в какой последовательности осуществлять реализацию НИОКР. Для формирования рациональной структуры и определения приоритетности выполнения НИОКР будем исходить из того, что на предприятиях отрасли изучена и внедрена методология проектного управления при создании РКТ. В дальнейшем для простоты изложения вместо НИОКР будем применять термин «проект».

При проектном управлении проектные менеджеры должны ответить руководству предприятия, выполняющего проекты, на ряд вопросов [21 – 23].

Какие проекты следует реализовать и в какой последовательности?

Каким проектам дать приоритет?

Когда и с какими проектами можно стартовать?

Какие проекты могут выполняться параллельно с другими исходя из возможностей предприятия?

В какой очередности следует выполнять проекты?

Когда и в каком объеме потребуются инвестиции и откуда можно привлечь дополнительные мощности для изготовления опытного образца, проведения испытаний?

Как высоки расчетные затраты на реализацию проектов?

Каковы реальные сроки реализации проектов?

Можно ли реализовать проект с заданным ТТЗ?

Ответ на все эти вопросы можно получить, используя методологию проектного управления.

Анализ существующих подходов по формированию приоритетности проектов показывает, что существующая в проектном менеджменте практика неприемлема для РКО. Связано это в первую очередь с тем, что космическая деятельность в России финансируется из бюджета государства в рамках Государственных контрактов. Для реализации инструментария проектного управления в [17] предлагают пять критериев выбора приоритетности проектов с учетом особенностей космической деятельности (КД) в России: вклад проектов в стратегию развития страны и отрасли; значимость проектов для экономики, науки, безопасности государства; научная новизна проектов и их значение для получения новых знаний и развития новых космических технологий; направленность проекта на техническое перевооружение предприятий отрасли, внедрение новейших технологий для создания конкурентоспособной РКТ; учет стратегического, функционально-

структурного уровней, а также уровня текущего производства. Исходя этих критериев, в [17] предложены принципы ранжирования всей совокупности проектов для РКО.

Рассмотрим более подробно некоторые категории этих проектов.

Российская космонавтика всегда была локомотивом экономики нашего государства. Она давала импульс развития многим отраслям промышленности, в том числе машиностроительному комплексу, металлургии, станкостроению, приборостроению, информатике и информационным технологиям, химико-технологической промышленности и ряду других. По состоянию на 2018 г. создание одного рабочего места в госкорпорации Роскосмос приводит к созданию девяти рабочих мест в экономике страны [17]. Очевиден значительный вклад предприятий РКО в фундаментальную науку и получение новых знаний для общества.

Согласно Основным положениям основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года важнейшими и равнозначными по приоритету направлениями отечественных фундаментальных космических исследований на долгосрочную перспективу являются исследование планет и малых тел Солнечной системы, поиск путей предотвращения возможных угроз Земле и ее биосфере, детальное изучение Луны с помощью автоматических космических аппаратов и робототехнических систем, развертывание на ее поверхности астрономических обсерваторий, пунктов мониторинга Солнца и станций наблюдения за Землей; астрофизические исследования, включая физику космических лучей; изучение Солнца и солнечно-земных связей; изучение влияния факторов космического полета и космического пространства на живые системы, в том числе в интересах осуществления пилотируемых полетов за пределами магнитосферы Земли, поиск внеземной жизни.

Реализация проектов по фундаментальным исследованиям космоса требует комплекса мер научно-технического, организационного характера, больших финансовых затрат. Связано это в первую очередь с тем, что для этих целей необходима уникальная научная аппаратура, требуются ракеты-носители различного класса, космические аппараты с множеством специальных функций (например, мягкой посадкой на другую планету, исследованием атмосферы, поверхности планеты, забором грунта и доставкой его на Землю и др.). Реализация таких проектов весьма длительна и требует участия многих структур и ведомств.

Проекты по астероидно-кометной опасности выполняют для предотвращения столкновения с

Землей различных небесных тел: астероидов, комет, космического мусора. Для этого рассчитывают траектории небесных тел, приближающихся на близкое расстояние к нашей планете, и в случае необходимости реализуют комплекс мер, направленных на перевод астероида на другую орбиту, а также на безопасное затопление крупных частей орбитальной станции, космического аппарата в мировом океане Земли и др.

Новые (прорывные) космические проекты направлены на достижение мирового уровня технологий, осваиваемых отечественной ракетно-космической промышленностью, а также смежными с ней отраслями. К таким проектам относят: пилотируемую космонавтику; развитие орбитальной группировки ГЛОНАСС; разработку КА для орбитального обслуживания долгоживущих космических средств; создание высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры, стойкой к воздействию факторов космического пространства; разработку космических ядерных энергоустановок большой мощности и их ключевых элементов и др.

Проекты по пилотируемой космонавтике реализуют цикл исследований на околоземной орбите по металлургии, биологии, медицине, метеорологии, сельскому хозяйству и другим сферам деятельности. В перспективе на основе конструкции МКС и опыта ее эксплуатации возможно создание орбитальных станций (ОС) на орбите Луны и других планет Солнечной системы.

Развитие системы ГЛОНАСС расширяет спектр космической деятельности в интересах потребителя, включая граждан РФ. В первую очередь это спутниковые навигационные системы, спутниковая связь, телерадиовещание, спутники по дистанционному зондированию земли, спутники по наблюдению за атмосферой Земли, аномальными явлениями (цунами, землетрясениями, пожарами и т.п.) и для передачи соответствующей информации в целях оперативного принятия мер, и т.п.

Проекты технического перевооружения предприятий отрасли направлены на создание технологий производства ракетной техники, превосходящей по своим характеристикам зарубежные аналоги, а также на совершенствование системы качества этих изделий.

Анализ экспертных упорядочений и интегральный показатель приоритетности проектов

После формирования перечня возможных проектов необходимо установить их приоритеты, т.е. расположить в порядке предпочтений для реализации — сначала самый приоритетный проект (реализуется первым), затем второй по

предпочтению (реализуется после первого), третий и т.д.

Для установления приоритетов предлагаем использовать методы экспертных оценок [1]. В целях выявления приоритетности НИОКР (на уровне предприятия) приказом генерального директора предприятия назначают комиссию экспертов из состава членов научно-технических советов, начальников отделов, руководителей научных направлений, т.е. из числа наиболее квалифицированных специалистов предприятия. Применяют экспертные процедуры и на более высоком организационном уровне.

В теории принятия решений разработано два подхода к установлению приоритетов на основе экспертных оценок [1]:

- 1) путем непосредственного сравнения объектов экспертизы;
- 2) исходя из экспертных оценок объектов экспертизы по набору факторов.

В первом подходе ответ каждого эксперта — упорядочение (нестрогое), т.е. кластеризованная ранжировка. В качестве примера рассмотрим установление приоритетов для совокупности из семи проектов. Пусть рассматриваемые проекты (объекты экспертизы) пронумерованы числами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Пример экспертного упорядочения:

$$3 < 1 < (2, 4) < 6 < 5. \quad (1)$$

Эта запись означает, что проект 3 — самый лучший, проект 1 — второй по привлекательности, далее идут равноценные между собой проекты 2 и 4 (о том, что они равноценны, свидетельствует размещение их в одном кластере, выделенном скобками), далее идет проект 6 и замыкает упорядочение проект 5.

Для нахождения единого мнения комиссии экспертов в ситуации, когда ответы экспертов — упорядочения (нестрогие), т.е. кластеризованные ранжировки, проводим анализ экспертных упорядочений несколькими способами [24]. Ряд методов основан на таблице рангов объектов экспертизы (т.е. их мест в упорядоченном ряду вида (1)).

Путем сравнения по средним арифметическим рангов, а затем и медиан рангов получаем две вспомогательные кластеризованные ранжировки. Затем строим согласующую ранжировку. Данный метод предпочтительнее метода анализа иерархий Саати [25], который противоречит теории измерений и имеет другие недостатки, указанные проф. В. В. Подиновским [7 – 9]. Однако этот метод довольно широко известен и вводит в заблуждение исследователей, не являющихся достаточно квалифицированными в теории экспертных оценок [1], прежде всего — в теории

измерений как части статистики нечисловых данных [4, 6].

Другой способ нахождения единого мнения комиссии экспертов в рамках первого подхода основан на расчете медианы Кемени экспертных упорядочений.

В соответствии с рекомендациями теории устойчивых экономико-математических методов и моделей [26] следует обработать одни и те же данные различными способами. Если выводы близки (устойчивы к выбору метода расчета), то они отражают реальность. Если же выводы заметно меняются в зависимости от выбора метода расчета, то их значение для практики управления ничтожно.

Во втором подходе объекты экспертизы упорядочивают не непосредственно, а на основе сравнения функций от значений некоторого набора факторов. Таким образом, на первоначальном этапе экспертизы получают перечень факторов. Для каждого объекта экспертизы определяют (обычно с помощью экспертов) значения факторов, входящих в этот перечень, которые объединяют в интегральном (обобщенном) показателе приоритетности проектов. Например, значение каждого фактора для определенного объекта экспертизы умножают на коэффициент (вес этого фактора), а затем сумму таких произведений по всем факторам рассматривают как значение интегрального показателя для рассматриваемого объекта экспертизы. Заключительный шаг — упорядочение объектов экспертизы согласно значениям интегрального показателя. Термины «интегральный показатель», «обобщенный показатель», «индекс», «рейтинг» в рассматриваемом контексте — синонимы.

При реализации второго подхода организатору экспертизы необходимо решить ряд промежуточных задач.

А. Выбор шкал измерения значений факторов. Опыт показал целесообразность использования балльных оценок, например, 1, 2, 3, ..., 9, 10, — от наихудшей оценки (1) по наилучшей (10). Возможно использование другой системы баллов. Для обеспечения сопоставимости значений различных факторов следует использовать для них одну и ту же балльную шкалу.

Б. Формирование системы факторов. Исходный набор факторов задает организатор экспертизы. Например, в примере, разобранным в [27], набор состоит из восьми факторов. Это множество факторов эксперты сначала расширяют, а потом сужают. А именно, на первом этапе эксперты в ходе свободной дискуссии расширяют (обычно в несколько раз) множество факторов в целях учета их возможного влияния на результат упорядочения проектов. На втором этапе это множество сокращают, например, до семи-девяти

факторов. Экспертам дают задание: «Укажите пять наиболее важных факторов». В итоговый перечень включают факторы, набравшие не менее половины голосов экспертов (возможны и другие правила принятия решений). Очевидно, что в перечне факторов могут оказаться и такие, которые организатор экспертизы выберет по своему усмотрению исходя из накопленного опыта экспертиз в определенной области и для определенных ситуаций.

В. Соизмерение важности факторов. Данную процедуру осуществляют путем введения весовых коэффициентов — чем важнее фактор, тем выше коэффициент. Обычно принимают, что весовые коэффициенты неотрицательны и в сумме составляют единицу. Весовые коэффициенты определяют в ходе специально организованного экспертного опроса. Целесообразно исходить из иерархической системы факторов, что позволяет сначала получить веса групп факторов, потом ввести веса факторов внутри той или иной группы, затем рассчитать веса факторов как произведения веса группы на вес фактора внутри группы.

Отметим, что при использовании линейной функции в качестве интегрального показателя нет необходимости требовать, чтобы сумма весовых коэффициентов равнялась единице, поскольку значения интегрального показателя используют только для упорядочения объектов экспертизы, а результат сравнения не меняется при умножении обеих частей неравенства на одно и то же положительное число. Это замечание дает дополнительные возможности для корректировки экспертами значимости факторов.

Встречающиеся в литературе термины «веса факторов», «коэффициенты важности», «коэффициенты значимости», «коэффициенты существенности», «весовые коэффициенты» — синонимы. Термины «интегральный показатель», «обобщенный показатель», «рейтинг» и им подобные также используют как синонимы.

Г. Измерение значений факторов. Как правило, такое измерение проводят эксперты, владеющие достаточной информацией о рассматриваемых в исследовании объектах экспертизы. Таким образом, привлекают экспертов двух групп — работающих с факторами (см. А, Б, В) и имеющих дело с конкретными объектами экспертизы (см. Г). Группы (комиссии) экспертов могут иметь непустое пересечение.

Д. Выбор вида интегрального показателя. Полученные при решении задач А–Г данные обрабатывают различными способами в целях расчета интегрального показателя (т.е. рейтинга [28, 29]) приоритетности проектов. В частности, можно рассчитать взвешенные средние по Колмогорову и взвешенные медианы [30].

Пусть x_1, x_2, \dots, x_n — значения факторов, а a_1, a_2, \dots, a_n — неотрицательные весовые коэффициенты (веса), соответствующие этим факторам, в сумме составляющие единицу. В качестве интегрального показателя естественно применять средние взвешенные по Колмогорову типа I (в терминологии [30]):

$$F^{-1}(M(F(X))) = F^{-1}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i F(x_i)\right), \quad (2)$$

где F — строго монотонная функция (т.е. строго возрастающая или строго убывающая). Если $F(x) = x$, то формула (2) дает среднее взвешенное арифметическое, а если $F(x) = \ln x$, то — среднее геометрическое взвешенное.

Согласно [30] выборочная взвешенная медиана (типа I) — это медиана случайной величины X , вероятности совпадения которой со значениями факторов x_1, x_2, \dots, x_n равны заданным весам a_1, a_2, \dots, a_n , т.е. $P(X = x_1) = a_1, P(X = x_2) = a_2, \dots, P(X = x_n) = a_n$.

В ряде случаев могут быть использованы другие способы расчета интегрального показателя, в частности, предусматривающие его обнуление в случае недопустимо низких значений тех или иных факторов. Например, показатель без обнуления, заданный формулой (2), умножается на 0 (т.е. обнуляется), если хотя бы одно из значений факторов x_1, x_2, \dots, x_n меньше заданной границы (или границ, определенных для тех или иных факторов), и умножается на единицу (т.е. не меняется), если все значения факторов x_1, x_2, \dots, x_n удовлетворяют ограничениям.

Системный подход к обеспечению предприятий ракетно-космической промышленности высококвалифицированными специалистами [31] позволит обеспечить возможность применения рассмотренных выше современных организационно-экономических подходов к оценке приоритетности проектов на предприятиях РКО.

Выводы

Показана практическая польза методов принятия решений и экспертных оценок. Предложен подход к выбору приоритетности выполнения НИОКР в сложных технических системах (на примере систем, создаваемых в ракетно-космической отрасли). Подход основан на пяти специально разработанных критериях, учитывающих специфику предметной области. Кратко обсуждается применение интеллектуальных инструментов теории принятия решений при оценке технического уровня сложных технических систем. Исследованы методы анализа данных, которые можно эффективно применять на практике для

решения подобных задач. Приведены примеры некорректного использования известных статистических процедур при обработке экспертных оценок.

Предложены два новых подхода к установлению приоритетности реализации инновационных проектов (НИОКР), основанные на формировании итогового мнения комиссии экспертов путем непосредственного сравнения объектов экспертизы или же с помощью экспертных оценок объектов экспертизы по набору факторов.

В первом подходе ответ каждого эксперта — упорядочение (нестрогое), т.е. кластеризованная ранжировка. Путем сравнения по средним арифметическим рангов, а затем и медиан рангов получаем две вспомогательные кластеризованные ранжировки. Затем строим согласующую ранжировку. Другой способ нахождения единого мнения комиссии экспертов в рамках первого подхода основан на расчете медианы Кемени экспертных упорядочений.

Во втором подходе объекты экспертизы упорядочивают не непосредственно, а на основе сравнения функции от значений некоторого набора факторов. Значения факторов объединяют в интегральном (обобщенном) показателе (рейтинге) приоритетности проектов. При реализации второго подхода необходимо решить ряд промежуточных задач: выбрать шкалы измерения значений факторов; сформировать систему факторов; соизмерить важность факторов; измерить значения факторов; выбрать вид интегрального показателя. В качестве интегральных показателей естественно применять средние взвешенные по Колмогорову, выборочные взвешенные медианы и др.

В наиболее простом (базовом) варианте оценки приоритетности проектов при использовании линейной функции в качестве интегрального показателя вычисляют среднее арифметическое взвешенное значение приоритетности каждого проекта по всем экспертам. Этот параметр является количественным интегральным показателем приоритетности реализации проекта. Приоритетность (очередность) выполнения имеют те проекты, у которых выше рассчитанное по всем экспертам среднее арифметическое взвешенное значение интегрального показателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов А. И. О развитии теории принятия решений и экспертных оценок / Научный журнал КубГАУ. 2021. № 167. С. 177 – 198.
2. Семенов С. С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения метода экспертных оценок. — М.: ЛЕНАНД, 2015. — 352 с.

3. Колобов А. А., Омельченко И. Н., Орлов А. И. Менеджмент высоких технологий. Интегрированные производственно-корпоративные структуры: организация, экономика, управление, проектирование, эффективность, устойчивость. — М.: Экзамен, 2008. — 621 с.
4. Орлов А. И. Статистика нечисловых данных — центральная часть современной прикладной статистики / Научный журнал КубГАУ. 2020. № 156. С. 111 – 142.
5. Орлов А. И. Новая парадигма прикладной статистики / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1. Ч. I. С. 87 – 93.
6. Орлов А. И. Прикладная статистика. — М.: Экзамен, 2006. — 671 с.
7. Подиновский В. В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. — М.: Наука, 2019. — 103 с.
8. Подиновский В. В., Подиновская О. В. О некорректности метода анализа иерархий / Проблемы управления. 2011. № 1. С. 8 – 13.
9. Подиновский В. В., Подиновская О. В. Еще раз о некорректности метода анализа иерархий / Проблемы управления. 2012. № 4. С. 75 – 78.
10. Семенов С., Балахонов Л. Следование в фарватере чужих разработок / Военно-промышленный курьер. № 24(441) за 20 – 26 июня 2012 г. и № 25(442) за 27 июня – 3 июля 2012 г.
11. Семенов С. С., Харчев В. Н., Иоффин А. И. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники. — М.: Радио и связь, 2004. — 552 с.
12. Боеприпасы: научно-технический сборник. № 5 – 6. — М.: ЦНИИХМ им. Д. И. Менделеева, 2007. — 214 с.
13. Дутов А. В., Калинин И. М. Формирование научно-технического задела в судостроении. — СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2013. — 308 с.
14. Захаров М. Н., Омельченко И. Н., Саркисов А. С. Ситуации инженерно-экономического анализа. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 430 с.
15. Семенов С. С., Воронов Е. М., Полтавский А. В., Крынев А. В. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. — М.: ЛЕНАНД, 2016. — 520 с.
16. Семенов С. С., Щербинин В. В. Оценка технического уровня систем наведения управляемых авиационных бомб. — М.: Машиностроение, 2015. — 326 с.
17. Орлов А. И., Цисарский А. Д. Определение приоритетности реализации НИОКР на предприятиях ракетно-космической отрасли / Контроллинг. 2020. № 2(76). С. 58 – 65.
18. Цисарский А. Д. Разработка механизмов и инструментария проектного менеджмента при создании ракетно-космической техники: дис. докт. экон. наук. — М., 2018. 301 с.
19. Орлов А. И. Современное состояние контроллинга рисков / Научный журнал КубГАУ. 2014. № 98. С. 32 – 64.
20. Чеботарев В. Е., Косенко В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения. — Красноярск: СибГАУ, 2011. — 488 с.
21. Виленский П. Л., Смоляк С. А., Лифшиц В. Н. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Дело, 2008. — 1104 с.
22. Туккель И. Л., Суворина А. В., Культин Н. Б. Управление инновационными проектами. — СПб.: БХВ — Петербург, 2014. — 416 с.
23. Цисарский А. Д. Управление проектами по созданию изделий ракетно-космической техники. — М.: ИД Экономическая газета, 2015. — 152 с.
24. Орлов А. И. Анализ экспертных упорядочений / Научный журнал КубГАУ. 2015. № 112. С. 21 – 51.
25. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
26. Орлов А. И. Устойчивые математические методы и модели / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2010. Т. 76. № 3. С. 59 – 67.
27. Орлов А. И. Методы принятия управленческих решений. — М.: КНОРУС, 2018. — 286 с.
28. Лындина М. И., Орлов А. И. Математическая теория рейтингов / Научный журнал КубГАУ. 2015. № 114. С. 1 – 26.
29. Карминский А. М. Кредитные рейтинги и их моделирование. — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. — 304 с.
30. Орлов А. И. О средних величинах / Управление большими системами. 2013. Вып. 46. С. 88 – 117.
31. Басова В. П., Цисарский А. Д. Системный подход к обеспечению предприятий ракетно-космической промышленности высококвалифицированными специалистами / Инновации в менеджменте. 2019. № 21. С. 8 – 13.

REFERENCES

1. Orlov A. I. On the development of decision theory and expert estimations / Nauch. Zh. KubGAU. 2021. N 167. P 177 – 198 [in Russian].
2. Semenov S. S. Estimation of the quality and technical level of complex systems: The practice of applying the method of expert estimations. — Moscow: LENAND, 2015. — 352 p. [in Russian].
3. Kolobov A. A., Omel'chenko I. N., Orlov A. I. High technology management. Integrated production and corporate structures: organization, economics, management, design, efficiency, sustainability. — Moscow: Ékzamen, 2008. — 621 p. [in Russian].
4. Orlov A. I. Non-numerical data statistics is a central part of modern applied statistics / Nauch. Zh. KubGAU. 2020. N 156. P 111 – 142 [in Russian].
5. Orlov A. I. The new paradigm of applied statistics / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 1. Part I. P 87 – 93 [in Russian].
6. Orlov A. I. Applied statistics. — Moscow: Ékzamen, 2006. — 671 p. [in Russian].
7. Podinovskii V. V. Ideas and methods of the theory of the importance of criteria in multicriteria decision-making problems. — Moscow: Nauka, 2019. — 103 p. [in Russian].
8. Podinovskii V. V., Podinovskaya O. V. On the incorrectness of the hierarchy analysis method / Probl. Upravl. 2011. N 1. P 8 – 13 [in Russian].
9. Podinovskii V. V., Podinovskaya O. V. Once again about the incorrectness of the hierarchy analysis method / Probl. Upravl. 2012. N 4. P. 75 – 78 [in Russian].
10. Semenov S., Balahonov L. Following in the fairway of other people's developments / Voen.-Promyshl. Kur'er. N 24(441), June 20 – 26, 2012. N 25(442), June 27 – August 3, 2012 [in Russian].
11. Semenov S. S., Harchev V. N., Ioffin A. I. Estimation of the technical level of weapons and military equipment. — Moscow: Radio i svyaz', 2004. — 552 p. [in Russian].
12. Ammunition: scientific and technical collection. — Moscow: TsNIIKhM im. D. I. Mendeleeva, 2007. N 5 – 6. — 214 p. [in Russian].
13. Dutov A. V., Kalinin I. M. Formation of scientific and technical groundwork in shipbuilding. — St. Petersburg: FGUP "Krylovskii gosudarstvennyi nauchnyi tsentr", 2013. — 308 p. [in Russian].
14. Zakharov M. N., Omel'chenko I. N., Sarkisov A. P. Situations for Engineering and Economic Analysis. — Moscow: Izd. MG TU im. N. É. Bauman, 2014. — 430 p. [in Russian].
15. Semenov S. S., Voronov E. M., Poltavskii A. V., Kryanev A. V. Decision-making methods in the problems of estimation the quality and technical level of complex technical systems. — Moscow: LENAND, 2016. — 520 p. [in Russian].
16. Semenov S. S., Shcherbinin V. V. Estimation of the technical level of guidance systems for guided aerial bombs. — Moscow: Mashinostroenie, 2015. — 326 p. [in Russian].
17. Orlov A. I., Tsisarskii A. D. Prioritization of R&D implementation at the enterprises of the rocket and space industry / Kontrolling. 2020. N 2(76). P. 58 – 65 [in Russian].
18. Tsisarskii A. D. Development of mechanisms and tools for project management in the creation of rocket and space technology: Doktoral thesis. — Moscow, 2018. — 301 p. [in Russian].

19. **Orlov A. I.** Current state of risk controlling / Nauch. Zh. KubGAU. 2014. N 98. P. 933 – 942 [in Russian].
20. **Chebotarev V. E., Kosenko V. E.** Fundamentals of spacecraft design information support. — Krasnoyarsk: SibGAU, 2011. — 488 p. [in Russian].
21. **Vilenskii P. L., Smolyak S. A., Livshits V. N.** Estimation of the effectiveness of investment projects: theory and practice. 4th edition. — Moscow: Delo, 2008. — 1104 p. [in Russian].
22. **Tukkel' I. L., Suvorina A. V., Kul'tin N. B.** Management of innovative projects. — St. Petersburg: BHV — Peterburg, 2014. — 416 p. [in Russian].
23. **Tsisarskii A. D.** Project management for the creation of products for rocket and space technology. — Moscow: ID Ékonomicheskaya gazeta, 2015. — 152 p. [in Russian].
24. **Orlov A. I.** Analyze of expert orderings / Nauch. Zh. KubGAU. 2015. N 112. P. 21 – 51 [in Russian].
25. **Saaty T.** Decision-making. Hierarchy analysis method. — Moscow: Radio i svyaz', 1993. — 278 p. [in Russian].
26. **Orlov A. I.** Stable mathematical methods and models / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2010. Vol. 76. N 3. P. 59 – 67 [in Russian].
27. **Orlov A. I.** Management decision making methods. — Moscow: KNORUS, 2018. — 286 p. [in Russian].
28. **Lyndina M. I., Orlov A. I.** Mathematical theory of ratings / Nauch. Zh. KubGAU. 2015. N 114. P. 1 – 26 [in Russian].
29. **Karminskii A. M.** Credit ratings and their modeling. — Moscow: Izd. dom Vysshei shkoly ékonomiki, 2015. — 304 p. [in Russian].
30. **Orlov A. I.** About averages / Upravl. Bol'sh. Sist. 2013. Vol. 46. P. 88 – 117 [in Russian].
31. **Basova V. P., Tsisarskii A. D.** A systematic approach to providing enterprises of the rocket and space industry with highly qualified specialists / Innov. Menedzhm. 2019. N 21. P. 8 – 13 [in Russian].