

Научная статья

УДК 623.74

URL: <https://vestnikmai.ru/publications.php?ID=179105>

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКСА С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ К ПОЛЕТУ

Сергей Геннадьевич Паршутин

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,

Воронеж, Россия

pers19sm@yandex.ru

Аннотация. Представлен подход к разработке модели подготовки комплекса с беспилотными летательными аппаратами большой дальности действия к полету с учетом формирования рационального состава средств наземного обслуживания специального применения. Приведенный в статье краткий анализ существующих методических подходов к обоснованию рационального состава средств наземного обслуживания. Ввиду возросших темпов развития комплексов с беспилотными летательными аппаратами большой дальности действия, возникает проблема в качественном и своевременном техническом обслуживании, что напрямую зависит от состава и количества используемых средств наземного обслуживания. Для решения этой задачи, на основе имеющихся перечней средств технического обслуживания, в среде AnyLogic разработана имитационная модель выполнения процесса подготовки комплекса с беспилотными летательными аппаратами к полету, позволяющая провести анализ взаимодействия технологических процессов по времени и используемым ресурсам, а также выполнить оценку загрузки всех средств наземного обслуживания специального применения. Предлагаемая модель позволяет определить рациональный состав средств обслуживания в целях минимизации (максимизации) показателей подготовки, а также исследовать организацию подготовки к применению комплекса с беспилотными летательными аппаратами в установленные сроки.

Ключевые слова: имитационная модель системы технического обслуживания, комплекс с беспилотными летательными аппаратами большой дальности действия, средства наземного обслуживания специального применения

Для цитирования: Паршутин С.Г. Имитационная модель подготовки комплекса с беспилотными летательными аппаратами к полету // Вестник Московского авиационного института. 2024. Т. 31. № 1. С. 41–48. URL: <https://vestnikmai.ru/publications.php?ID=179105>

Original article

SIMULATION MODEL OF FLIGHT PREPARATION OF A COMPLEX WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES

Sergey G. Parshutin

MESC Air Force “Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovskii and Yu.A. Gagarin”,

Voronezh, Russia

pers19sm@yandex.ru

© Паршутин С.Г., 2024

Abstract

Complexes with unmanned aerial vehicles have proven themselves positively as a means for achieving goals under various operating conditions. At this stage, they are among the most prospective types of aviation engineering in the aviation medium.

Russia lags behind in the unmanned aerial systems development, since after the collapse of the Soviet Union all works in this area were practically stopped, while foreign manufacturers have made significant progress in creating complexes with unmanned aerial vehicles and mastering methods of their application. Nevertheless, active works are being conducted in the Russian Federation over the past 20 years on improving the existing and developing new systems with unmanned aerial vehicles.

Despite the high pace of the unmanned aircraft engineering development, there is a certain number of tasks, determining the need to the maintenance efficiency improving. The main attention at the initial stages of the developed complexes with unmanned aerial vehicles is being paid to their flight performance improving, while adequate consideration to the processes of operation and maintenance is not being given.

One of the most crucial and pressing tasks affecting the performance of work on a complex with unmanned aerial vehicles at a stated time is a rational nomenclature and quantitative composition of maintenance equipment formation.

The existing contradictions in theory and practice indicate the need to model the process of preparing the complex for flight and determine the rational set of maintenance equipment. s of today, there are no approaches, techniques and methods that would allow forming a set of ground-based maintenance means, as well as a set of special purpose ground based means, rational by their operational and cost characteristics.

The complexes with unmanned aerial vehicles being developed, related to the class of the long-range complexes, are comparable in their size and mass characteristics to modern multi-purpose aircraft. Thus, methods of operation and the set of ground maintenance facilities will be closer to the maintenance regulations and manuals for the technical operation of a manned aircraft. Application of the ground maintenance equipment sets for special applications of the existing complexes with unmanned aerial vehicles to the complexes being developed is not possible, due to the existing important differences, both in maintenance methods and in the maintenance equipment classification.

With a view to solve the prognostic problem on determining the quality of maintenance, it is necessary to determine a rational nomenclature of ground support equipment for special applications for a complex with long-range unmanned aerial vehicles. A simulation model for preparing a complex with unmanned aerial vehicles has been developed in the AnyLogic program. The model allows analyzing the technological processes interaction in terms of time and resources involved, as well as assess the load of all ground support equipment for special applications when performing work. This allows determining the rational set of maintenance equipment to minimize (maximize) training indicators, as well as studying the organization of preparation for the complex with unmanned aerial vehicles application within a specified timeframe.

Keywords: maintenance system simulation model, complex with long-range unmanned aerial vehicles, maintenance tools, special application ground-support facilities

For citation: Parshutin S.G. Simulation Model of Flight Preparation a Complex with Unmanned Aerial Vehicles. *Aerospace MAI Journal*, 2024, vol. 31, no. 1, pp. 41–48. URL: <https://vestnikmai.ru/publications.php?ID=179105>

Введение

Комплексы с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) положительно зарекомендовали себя как средство достижения поставленных целей в различных условиях применения. На данный момент, в авиационной среде они входят в число самых перспективных видов авиационной техники [1–3].

Россия отстает в развитии беспилотных систем, так как после развала Советского Союза все работы в этой области были практически прекращены, в то время как зарубежные производители значительно продвинулись в создании комплексов с БПЛА, освоении способов их применения. Тем не менее, за

последние два десятка лет в Российской Федерации ведется активная работа по совершенствованию имеющихся и разработке новых комплексов с БПЛА (рис. 1,а).

Анализ статистических данных показал, что на сегодняшний день 2/3 всех воздушных судов беспилотной авиации имеют массу менее 100 кг, они относятся к классу ближнего и среднего радиуса действия [4]. Всего лишь 3% беспилотных летательных аппаратов, имеют массу более 9 т и относятся к классу комплексов с БПЛА большой дальности действия (рис. 1,б). Такие комплексы выполняют более сложные задачи, используются как самостоятельный вид техники, то есть выполняют взлет и

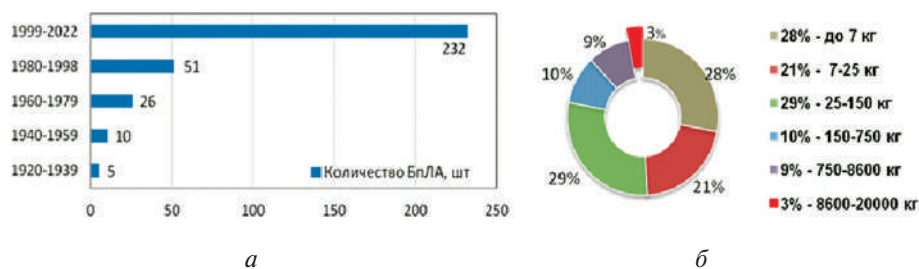


Рис. 1. Состояние развития современных отечественных БПЛА:
 а – динамика развития отечественных БПЛА;
 б – распределение российских БПЛА по массе

посадку без применения дополнительных средств запуска и транспортно-заряжающих машин. На сегодняшний день ведется активная работа по созданию комплексов с БПЛА, которые по своим размерно-массовым характеристикам сопоставимы с пилотируемыми самолетами.

На сегодняшний день по тематике данного направления проведены работы [5–7]. В работах [8, 9] проводится определение и исследование основных свойств и характеристик, влияющих на выполнение полетного задания, при этом вопросы подготовки к полету комплекса с БПЛА с учетом формирования номенклатурного состава СНО СП не рассматриваются, что в свою очередь не позволяет в полной мере оценить вероятность своевременного вылета комплекса с БПЛА.

Разработка имитационной модели комплекса с БПЛА

На начальных этапах жизненного цикла разрабатываемых комплексов с БПЛА основное внимание уделяется совершенствованию летно-технических характеристик, в то время как процессам эксплуатации и технического обслуживания не уделяется должного внимания.

Одной из наиболее важных и актуальных задач, влияющих на выполнение работ на комплексе с БПЛА в установленные сроки, является формирование рационального номенклатурного и количественного состава средств технического обслуживания (ТО). Средства ТО являются важнейшим элементом системы ТО, оказывающие непосредственное влияние на время и сроки подготовки комплекса с БПЛА к применению [10]. В состав средств ТО входят – средства наземного обслуживания специального применения (СНО СП), средства наземного обслуживания общего применения (СНО ОП), средства контроля и инструмент, предназначенные для поддержания исправности и работоспособности комплекса с БПЛА [11].

Формирование СНО СП для комплекса с БПЛА большой дальности действия является важной и

актуальной задачей, так как в результате анализа установлено, что:

- комплексы СНО СП по своим характеристикам в ряде случаев не соответствуют техническим характеристикам, системам и оборудованию современных комплексов с БПЛА;

- действующие отраслевые и государственные стандарты не предусматривают возможности определения количества СНО СП в комплекте поставки для комплекса с БПЛА большой дальности действия;

- на сегодняшний день отсутствуют способы, подходы и методики формирования рационального состава СНО СП для комплекса с БПЛА большой дальности действия.

Классификация СНО СП, согласно настоящим действующим стандартам [12], состоит из восьми групп:

1. Приспособления для буксировки, удержания и швартовки.
2. Подъемные средства.
3. Средства доступа.
4. Демонтажные средства.
5. Средства обслуживания специальных систем.
6. Средства защиты воздушного судна на стоянке.
7. Средства по технике безопасности.
8. Вспомогательные средства.

Разрабатываемые комплексы с БПЛА, относящиеся к классу комплексов большой дальности действия, по своим размерно-массовым характеристикам сопоставимы с современными пилотируемыми самолетами. Следовательно, методы эксплуатации и состав СНО СП будут приближены к регламентам технического обслуживания и руководствам по технической эксплуатации данных самолетов.

Применение комплектов СНО СП существующих БПЛА и ЛА к разрабатываемым БПЛА не представляется возможным, по причине имеющих важных отличий как в методах технического обслуживания, так и в классификации СНО СП.

В целях решения прогностической задачи по определению качества технического обслуживания на основе номенклатурного состава СНО СП для пилотируемых самолетов определен номенклатурный состав СНО СП для комплекса с БПЛА большой дальности действия.

Из рекомендуемого номенклатурного состава комплектов СНО СП в соответствии с ОСТ 1 00137-84 [12], путем исключения из перечня средств, необходимых для обслуживания систем жизнеобеспечения, фонаря кабины и системы катапультирования, сформирован перечень СНО СП, необходимый для выполнения технического обслуживания комплекса с БПЛА большой дальности действия.

В качестве вида работ для определения рационального количественного состава СНО СП рассмотрен процесс выполнения совокупности операций, входящих в состав предполетной подготовки (рис. 2).

Подготовка комплекса с БПЛА выполняется параллельно-последовательным методом и один расчет специалистов обслуживает четыре беспилотных летательных аппарата. Особенностью подготовки комплекса в данном случае является то, что машина технического обеспечения (МТО) одновременно может осуществлять подготовку (опробование) только двух БПЛА.

Состав комплексов с БПЛА, состоящий из четырех беспилотных летательных аппаратов, определяет необходимость формирования такого количества СНО СП, которое обеспечит подготовку комплекса с БПЛА в заданные сроки, при минимальном количестве СНО СП с максимальным коэффициентом их загрузки.

Одним из основных показателей эффективности выполнения технического обслуживания при подготовке комплекса с БПЛА является время подготовки воздушного судна к применению.

Критерием рациональности состава СНО СП будет являться время подготовки комплекса с БПЛА к полету.

Фактическое время подготовки комплекса с БПЛА является суммарным временем выполнения всех операций по техническому обслуживанию с учетом критического пути и находится по формуле:

$$t_{\phi} = \sum_{i=1}^n t_{опi}, \tag{1}$$

где $t_{опi}$ – время выполнения операции по техническому обслуживанию, определяется следующим выражением:

$$t_{оп} = \frac{t_n N_{ЛА}}{n_{сно}}, \tag{2}$$

где t_n – нормативное время выполнения операции, $N_{ЛА}$ – количество БЛА в комплексе; $n_{сно}$ – количество СНО СП.

Основным немаловажным условием подготовки комплекса с БПЛА большой дальности действия является минимизация количества СНО СП при их максимальной загрузке, обеспечивающего подготовку к полетам в установленные сроки.

Коэффициент загрузки оборудования определяется выражением

$$K_{з.об} = \frac{\sum_{j=1}^n t_{з.об}}{\sum_{j=1}^n t_{р.об}}, \tag{3}$$

где $t_{з.об}$ – время загрузки оборудования; $t_{р.об}$ – предполагаемое рабочее время оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования определяется отдельно для каждого вида СНО СП.

Для моделирования процесса выполнения предполетной подготовки комплекса с БПЛА была создана

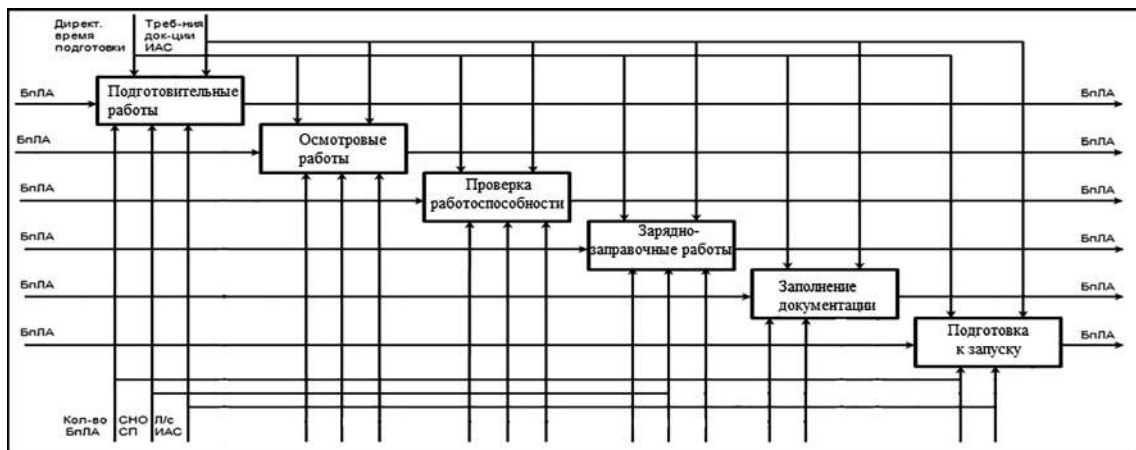


Рис. 2. Предполетная подготовка

имитационная модель в среде AnyLogic. Для реализации модели был использован дискретно-событийный вид имитационного моделирования [13–15].

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени, причем имитируются явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы [16, 17]. Имитационное моделирование позволяет осуществлять многократные испытания модели с нужными входными данными, чтобы определить их влияние на выходные критерии оценки работы системы. При таком моделировании компьютер используется для численной оценки модели, а с помощью полученных данных рассчитываются ее реальные характеристики [18–20].

В имитационной модели БПЛА представлен в виде агента, логика поведения которого отражена в диаграмме процессов (рис. 3). Диаграмма процессов представляет собой систему массового обслуживания, в которой заявкой выступает БПЛА, а ресурсами являются специалисты инженерно-авиационной службы (ИАС) и СНО СП.

Входными данными модели являются:

- время выполнения работ по СД, мин. ($t_{сд}$);
- время выполнения работ по АО, мин. ($t_{ао}$);
- время выполнения работ по РЭО, мин. ($t_{рэо}$);
- количество специалистов по СД, чел. ($s_{сд}$);
- количество специалистов по АО, чел. ($s_{ао}$);
- количество специалистов по РЭО, чел. ($s_{рэо}$);
- директивное время выполнения предполетной подготовки КБПЛА, мин ($t_{дпп}$);
- количество СНО СП i -го типа, шт. ($n_{сно}$);
- время загрузки оборудования, мин ($t_{раб.об}$);
- располагаемое рабочее время оборудования, мин ($t_{расп.раб.}$).

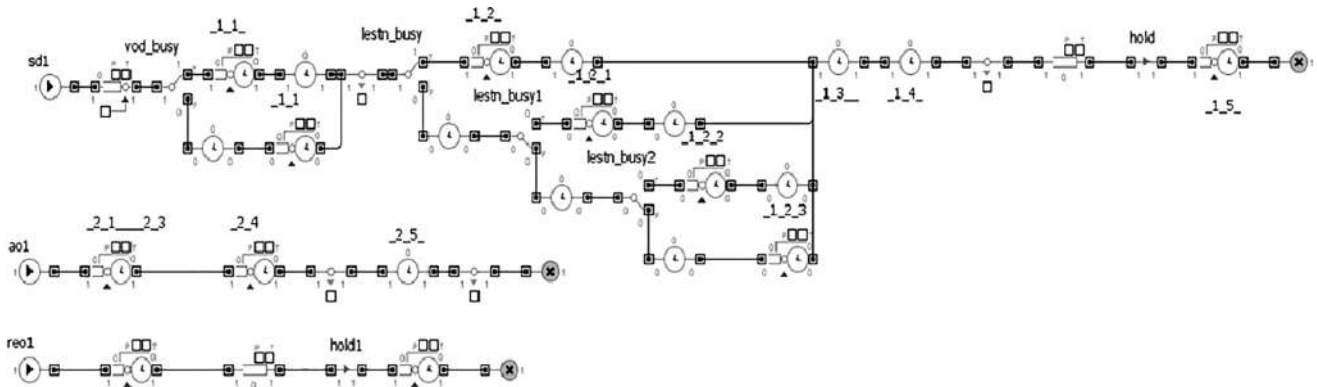


Рис. 3. Дискретно-событийная часть имитационной модели комплекса с БПЛА

Выходными параметрами имитационной модели являются: время подготовки каждого БПЛА, общее время подготовки комплекса с БПЛА, коэффициент загрузки СНО СП.

В имитационной модели БПЛА представляет собой заявку, которая формируется в блоке *source* (вызов функцией *inject*) и захватывает необходимые ресурсы в виде специалистов ИАС блока *seize*. Далее в блоке *service* происходит процесс технического обслуживания с использованием заданных ресурсов с указанием продолжительности выполнения работ (для каждой специальности своя и задается в исходных данных), в блоке *select_output* ($lestnica_busy() < lestnica_count$) условие, при котором выбирается свободное СНО СП, *queue* – очередь, место ожидания заявки, блок *hold* – ожидание завершения выполнения заключительных работ. По окончании подготовки захваченные ресурсы освобождаются в блоке *release*. Выполненная заявка переходит в блок *sink*, после чего она удаляется из данной диаграммы. Удаление заявки означает, что подготовка завершена. Аналогично выполнены диаграммы процессов для остальных трех БПЛА.

Выводы

Таким образом, по результатам полученных данных определено необходимое количество СНО СП для выполнения предполетной подготовки, обеспечивающих выполнение работ при минимальном количестве средств обслуживания в установленные сроки с максимальным коэффициентом их загрузки (таблица).

Среда разработки имитационной модели AnyLogic имеет широкие возможности для визуализации результатов моделирования. С помощью встроенных методов существует возможность отобразить параметры в виде гистограмм, что позволит более наглядно оценить результаты функционирования модели (рис. 4) и определить необходимое количество СНО СП для выполнения предполетной подготовки комплекса с БПЛА.

Формирование количественного состава СНО СП в комплексе для ударного комплекса с БПЛА большой дальности действия

№	Номенклатурный перечень СНО СП	$K_{з.об}$				$t_{плг1}$, МИН	$t_{плг2}$, МИН	$t_{плг3}$, МИН	$t_{плг4}$, МИН
		при $n_{сносп}$							
		1	2	3	4				
1	Буксировочные водила	1,0	0,98	0,9	0,57	119,4	99,8	100,1	99,8
2	Стремянки	1,0	0,99	0,98	0,57	125,2	100,1	99,9	98,7
3	Лестницы	1,0	1,0	0,98	0,48	124,6	101,5	99,8	96,9
4	Помосты	0,99	0,9	0,94	0,53	120,5	98,7	99,8	100,8
5	Транспортировочные тележки	1,0	0,95	0,95	0,66	121,1	99,8	101,5	101,1
6	Приспособления для зарядки, стравливания и проверки давления газов	0,98	0,97	0,93	0,57	119,8	99,7	98,7	100,2
7	Приспособления для слива и заправки жидкостей	0,99	0,98	0,8	0,45	123,5	100,2	100,7	98,9
8	Устройства для защиты двигателей при их опробовании от попадания посторонних предметов	0,99	0,99	0,96	0,54	126,8	98,9	98,6	99,9
	Среднее значение:	0,99	0,97	0,93	0,55	122,6	99,84	99,89	99,54

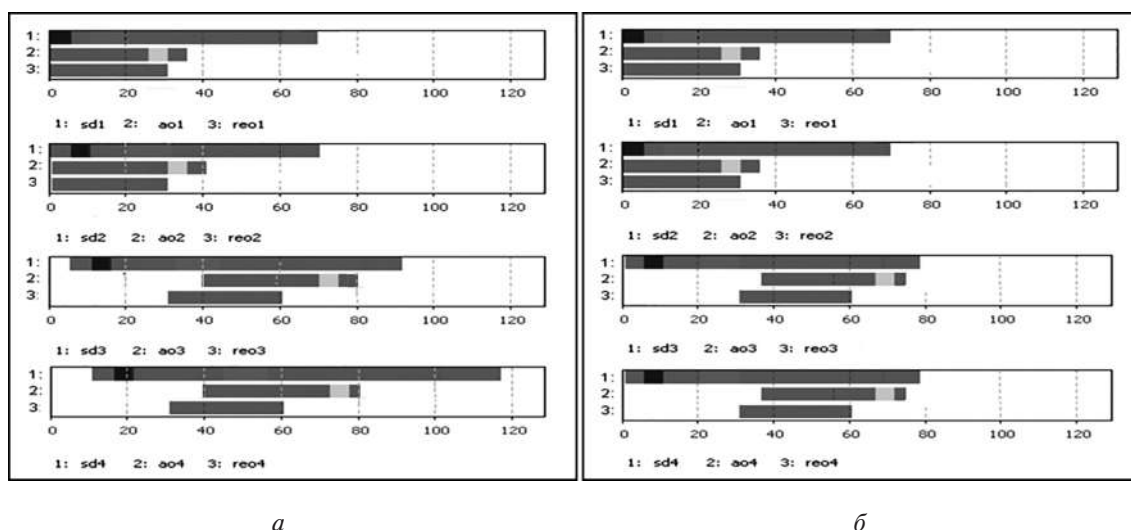


Рис. 4. Гистограмма времени выполнения предполетной подготовки на комплексе с БПЛА:
a – при $N_{сносп} < 2$; *b* – при $N_{сносп} > 2$

Таким образом, полученная модель комплекса с БПЛА, позволяет оценить результаты функционирования процесса технического обслуживания при выполнении предполетной подготовки, провести анализ взаимодействия технологических процессов по времени и используемым ресурсам, определить количество СНО СП, оценить их загрузку и влияние на время выполнения предполетной подготовки. А также определить рациональный состав СНО СП в целях минимизации (максимизации) показателей подготовки, а также исследовать организацию подготовки к применению БПЛА в установленные сроки.

Список источников

1. Бальк В.М., Бородин И.Д. Выбор устойчивых проектных решений беспилотного летательного аппарата в условиях действий факторов неопределенности // Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 1. С. 57–66. DOI: 10.34759/vst-2022-1-57-66
2. Лунанчук В.Ю. Система оптического наблюдения беспилотного летательного аппарата и метод ее стабилизации // Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 1. С. 184–200. DOI: 10.34759/vst-2022-1-184-200
3. Головнев А.В., Воронко Д.С., Данилов С.М. Исследование аэродинамической интерференции беспилотных

- летательных аппаратов при изменении высоты и интервалов в групповом полете // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т. 30. № 1. С. 36–44. DOI: 10.34759/vst-2023-1-36-44
4. Железняков А.О., Сидорчук В.П., Степанов В.П., Прилепина Н.В. Актуальность организации войскового ремонта БРЭО в системе технического обслуживания и ремонта на современном этапе эксплуатации авиационной техники // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2021. № 17. С. 173–181.
 5. Долгов О.С., Сафоклов Б.Б. Проектирование модели технического обслуживания и ремонта воздушных судов с использованием искусственных нейронных сетей // Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 1. С. 19–26. DOI: 10.34759/vst-2022-1-19-26
 6. Железняков А.О., Сидорчук В.П., Подрезов С.Н. Имитационная модель системы технического обслуживания и ремонта радиоэлектронного оборудования // Труды МАИ. 2022. № 123. DOI: 10.34759/trd-2022-123-26
 7. Степанов В.П., Сафин А.М., Карпенко О.Н., Трофимчук М.В. Войсковой ремонт в системе технической эксплуатации на современном этапе развития авиационной техники // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2020. № 16. С. 238–245.
 8. Полтавский А.В., Жумабаева А.С., Бикеев Р.Р. Имитационное моделирование характеристик комплекса беспилотных летательных аппаратов // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 4(12). С. 16–23.
 9. Власов А.И., Григорьев П.В., Кривошеин А.И. Модель предиктивного обслуживания оборудования с применением беспроводных сенсорных сетей // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 2(22). С. 26–35. DOI: 10.21685/2307-4205-2018-2-4
 10. Самуленков Ю.И., Яблонский С.Н., Босых Н.Н. Основы технической эксплуатации авиационной техники: Учебное пособие. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – 80 с.
 11. Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации. Книга 1. – М.: Мин. обороны, 2005. – 170 с.
 12. ОСТ 1 00137-84 Средства наземного обслуживания самолетов и вертолетов. Комплекты. – 2010. – 9 с.
 13. Абаишев О.В., Курпиков М.Ю. Применение искусственных нейронных сетей при проектировании самолетов // Вестник Московского авиационного института. 2008. Т. 15. № 5. С. 27–33.
 14. Лимановская О.В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2017. – 152 с.
 15. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование /Пер. с англ. под ред. В.Н. Томашевского. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 846 с.
 16. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: Учебное пособие. – 5-е изд. – М.: КноРус, 2014. – 448 с.
 17. Матальцкий М.А. Элементы теории случайных процессов: Учебное пособие. – Гродно: ГрГУ, 2004. – 326 с.
 18. Чепко И.Н., Богомолов Д.В., Карпенко О.Н. Управление запасами агрегатов и запасных частей для авиационной техники государственной авиации: основные проблемы и пути решения // Труды МАИ. 2018. № 103. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=100823>
 19. Верещиков Д.В., Волошин В.А., Иваишков С.С., Васильев Д.В. Применение нечеткой логики для создания имитационной модели управляющих действий летчика // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=91926>
 20. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.

References

1. Balyk V.M., Borodin I.D. Selection of stable design solutions for unmanned aerial vehicle under conditions of uncertainty factors action. *Aerospace MAI Journal*, 2022, vol. 29, no. 1, pp. 57–66. DOI: 10.34759/vst-2022-1-57-66
2. Lupanchuk V.Y. Optical surveillance system of unmanned aerial vehicle and a method of its stabilization. *Aerospace MAI Journal*, 2022, vol. 29, no. 1, pp. 184–200. DOI: 10.34759/vst-2022-1-184-200
3. Golovnev A.V., Voronko D.S., Danilov S.M. Studying aerodynamic interference of the unmanned aerial vehicles at the intervals and height variation in team flight. *Aerospace MAI Journal*, 2023, vol. 30, no. 1, pp. 36–44. DOI: 10.34759/vst-2023-1-36-44
4. Zheleznyakov A.O., Sidorchuk V.P., Stepanov V.P., Prilepina N.V. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2021, no. 17, pp. 173–181.
5. Dolgov O.S., Safoklov B.B. Developing maintenance and refurbishment model of aerial vehicles with artificial neural network applicaion. *Aerospace MAI Journal*, 2022, vol. 29, no. 1, pp. 19–26. DOI: 10.34759/vst-2022-1-19-26
6. Zheleznyakov A.O., Sidorchuk V.P., Podrezov S.N. *Trudy MAI*, 2022, no. 123. DOI: 10.34759/trd-2022-123-26
7. Stepanov V.P., Safin A.M., Karpenko O.N., Trofimchuk M.V. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2020, no. 16, pp. 238–245.
8. Poltavskii A.V., Zhumabaeva A.S., Bikeev R.R. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem*, 2015, no. 4(12), pp. 16–23.
9. Vlasov A.I., Grigor'ev P.V., Krivoshein A.I. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system*, 2018, no. 2(22), pp. 26–35. DOI: 10.21685/2307-4205-2018-2-4
10. Samulenkov Yu.I., Yablonskii S.N., Bosykh N.N. *Osnovy tekhnicheskoi ekspluatatsii aviatsionnoi tekhniki* (Basics of technical operation of aviation equipment), Voronezh, Mir, 2019, 80 p.
11. *Federal'nye aviatsionnye pravila inzhenerno-aviatsionnogo obespecheniya gosudarstvennoi aviatsii. Kniga 1* (Federal Aviation Regulations for engineering and aviation support

- of state aviation. Book 1), Moscow, Ministerstvo oborony, 2005, 170 p.
12. *Sredstva nazemnogo obsluzhivaniya samoletov i vertoletov. Komplekty. OST 1 00137-84* (Aircraft and helicopter ground handling facilities. Kits. Industry Standard 1 00137-84), Moscow, 2010, 9 p.
 13. Abashev O.V., Kuprikov M.Y. An application of artificial neural networks in aircraft design. *Aerospace MAI Journal*, 2008, vol. 15, no. 5, pp. 27-33.
 14. Limanovskaya O.V. *Imitatsionnoe modelirovanie v AnyLogic 7* (Simulation modeling in AnyLogic 7), Ekaterinburg, Uralskii universitet, 2017, 152 p.
 15. Law A.M., Kelton W.D. *Simulation modelling and Analysis*. 5th edition. McGraw-Hill, 2015, 804 p.
 16. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchainykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya* (Theory of random processes and its engineering applications). 5th ed. Moscow, KnoRus, 2014, 448 p.
 17. Matalytskii M.A. *Elementy teorii sluchainykh protsessov* (Elements of the theory of random processes), Grodno, GrGU, 2004, 326 p.
 18. Chepko I.N., Bogomolov D.V., Karpenko O.N. *Trudy MAI*, 2018, no. 103. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=100823>
 19. Vereshchikov D.V., Voloshin V.A., Ivashkov S.S., Vasil'ev D.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 99. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=91926>
 20. Ovcharov L.A. *Prikladnye zadachi teorii massovogo obsluzhivaniya* (Applied problems of the theory of queuing), Moscow, Mashinostroenie, 1969, 324 p.

Статья поступила в редакцию 08.10.2023; одобрена после рецензирования 23.10.2023; принята к публикации 26.10.2023.

The article was submitted on 08.10.2023; approved after reviewing on 23.10.2023; accepted for publication on 26.10.2023.