

УДК 629.734/.735

DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-1-35-52

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ АЭРОПОРТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ С УЧЕТОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Ю.И. САМУЛЕНКОВ<sup>1</sup>, А.Б. БАБКОВ<sup>1</sup>, Я.А. ФИЛАТОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет гражданской авиации,  
г. Москва, Россия

Воздушный транспорт играет существенную роль в обеспечении условий для эффективного функционирования современной экономики. В развитии инфраструктуры авиационно-транспортной системы одинаково заинтересованы авиаперевозчики, субъекты Российской Федерации и государство в целом. Гражданская авиация обеспечивает комплексную безопасность и устойчивость транспортной системы, взаимосвязь регионов и населенных пунктов, особенно районов Сибири, Севера и Дальнего Востока. За постсоветское время в Российской Федерации существенно сократился объем пассажирских и грузовых перевозок, были утрачены авиатранспортные связи между регионами. Такое положение с пассажирскими и грузовыми перевозками создано при значительной концентрации транспортных потоков в узловых аэропортах страны и не позволяет авиатранспортной системе Российской Федерации развиваться всесторонне и гармонично. Комплексная оценка инфраструктуры гражданской авиации страны позволит разработать предложения по модернизации и развитию авиационно-транспортной системы. Важное место среди объектов инфраструктуры воздушного транспорта занимают производственные помещения организаций по техническому обслуживанию воздушных судов. Для выполнения технического обслуживания авиационной техники необходимы производственно-технологические сооружения, ангары и площадки для размещения и хранения средств технического обслуживания, инструмент (общий, индивидуальный, специальный), расходные материалы; помещения планово-диспетчерских отделов; площади для размещения обслуживаемых воздушных судов, их компонентов и др. Кроме того, в зависимости от количества типов обслуживаемых летательных аппаратов, интенсивности и регулярности авиаперевозок необходим расчет сил и средств инженерно-авиационного обеспечения. Эти вопросы требуют детальной проработки на основе научного подхода, в том числе с использованием методов имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** воздушный транспорт, авиаперевозки, инфраструктура аэродромов гражданской авиации, организации по техническому обслуживанию воздушных судов, техническое обслуживание воздушных судов, имитационное математическое моделирование, концепция технического обслуживания воздушных судов.

### ВВЕДЕНИЕ

К основным элементам инфраструктуры авиационно-транспортной системы Российской Федерации следует в первую очередь отнести аэропорты (аэродромы), являющиеся сложными многоуровневыми системами.

Аэропорты подразделяются в зависимости от годового объема пассажирских перевозок<sup>1</sup>, включая прилетающих, вылетающих и транзитных пассажиров. Согласно данным из реестра Росавиации в стране на июнь 2021 года зарегистрировано 264 аэропорта, из них только 26 принимают более одного миллиона пассажиров в год.

Более 200 аэропортов России относятся к неклассифицированным и аэропортам низших классов. Как правило, это аэропорты местных воздушных линий (с пассажиропотоком 50 тыс. человек в год и менее), расположенные в отдаленных, труднодоступных районах страны с общим населением более 15 миллионов человек. Содержание таких аэропортов, расположенных в 14 регионах страны, в пригодном для эксплуатации состоянии без государственной поддержки невозможно.

Распределение аэропортов РФ по классам в 2021 г. представлено в табл. 1.

<sup>1</sup> ВНТП 1-85 Ведомственные нормы технологического проектирования аэропортов. М.: ГПИ и НИИ Аэропроект, 1986. 58 с.

Таблица 1  
Table 1

Распределение аэропортов РФ по классам на 2021 г.  
Distribution of airports by grade in the Russian Federation for 2021

Класс аэропорта	Годовые объемы перевозок, тыс. чел.	Количество аэропортов	Процентное соотношение, %
Внеклассные	Более 10000	4	3,7
Класс I	10000–7000	0	0
Класс II	7000–4000	4	3,7
Класс III	4000–2000	9	8,5
Класс IV	2000–500	24	22,7
Класс V	500–100	19	18
Неклассифицируемые	Менее 100	46	43,4
Итого	–	106	100

**Примечание.** Отсутствуют данные по 158 неклассифицируемым аэропортам.

Авиакомпании России базируются в 38 базовых аэропортах и 2 сезонных (Сочи и Анапа). Их можно рассматривать как узловые аэропорты с разными объемами перевозок. Самые крупные из них: Шереметьево, Домодедово, Внуково, Пулково, Кольцово и Толмачево.

К основным элементам аэропорта относится аэродром, аэровокзал, производственные помещения для выполнения технического обслуживания (ТО) воздушных судов (ВС) и др. На аэродроме также располагаются места стоянки и хранения воздушных судов<sup>2</sup>, находящихся в ожидании вылета, технического обслуживания, поставки запасных частей и материалов (ЗЧМ), выполнения директив летной годности и др.

За период 2008–2020 годов построены новые аэропорты Платов (г. Ростов-на-Дону), Гагарин (г. Саратов), комплекс новой взлетно-посадочной полосы (ВПП) в аэропорту Шереметьево, Итуруп (о. Итуруп), Сабеттаа, Талакан, Тобольск, Бованенково. Выполнены работы по реконструкции аэродромных комплексов и введены в эксплуатацию 52 ВПП в аэропортах Астрахань, Абакан, Анадьрь, Анапа, Баратаевка, Белгород, Владивосток, Внуково, Воронеж, Горно-Алтайск, Иркутск, Кызыл, Киров, Екатеринбург, Магас, Мурманск, Игарка, Богородское, Казань, Пенза, Бугуруслан, Магадан, Минеральные Воды, Липецк, Владикавказ, Махачкала, Нижний Новгород, Новосибирск, Николаевск-на-Амуре, Норильск, Палана, Пенза, Улан-Удэ, Уфа, Елизово, Волгоград, Краснодар, Самара, Саранск, Сасово, Сочи, Хатанга, Храброво, Чумикан, Чокурдах, Элиста, Шереметьево, Хабаровск, Оссора, Соловки.

По данным Росавиации, в мае 2021 г. в Государственном реестре аэродромов и вертодромов гражданской авиации Российской Федерации значились 233 аэродрома<sup>3</sup>: класса А – 13 (5,6 %), класса Б – 33 (14,2 %), класса В – 78 (33,5 %), класса Г – 73 (31,3 %), класса Д – 21 (9 %), класса Е – 15 (6,4 %). Распределение аэродромов по классам приведено в табл. 2.

Анализ показывает, что большая часть аэродромов РФ соответствует классам В и Г и может принимать самолеты класса А и В<sup>4</sup>. В зависимости от классификационной скорости (скорость, в 1,3 раза превышающая скорость сваливания в посадочной конфигурации при максимальной сертифицированной посадочной массе) воздушные суда классифицируются на категории А, В, С, D, E, F, H. К категории воздушных судов А и В относятся самолеты Ан-2, Л-410, Ил-114, вертолеты.

<sup>2</sup> Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ (ред. от 02.07.2021) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2021. 137 с. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_13744/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13744/) (дата обращения: 15.08.2021).

<sup>3</sup> Государственный реестр аэродромов и вертодромов гражданской авиации Российской Федерации по состоянию на 28.05.2021 [Электронный ресурс] // ФАВТ. 2021. 9 с. URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-reestr-grajdanskij-ajerodromov-rf/> (дата обращения: 15.08.2021).

<sup>4</sup> Doc 8168 OPS/611: Правила аэронавигационного обслуживания Производство полетов воздушных судов. Том I: Правила производства полетов. 5-е изд. // ИКАО, 2006. 279 с.

Таблица 2  
Table 2

Распределение аэродромов РФ по классам за 2021 г.  
Distribution of airports by grade in the Russian Federation within 2021

Класс ВПП <sup>5</sup>	Минимальная длина ВПП в стандартных условиях, м	Количество аэродромов	Процентное соотношение, %
А	3200	13	5,6
Б	2600	33	14,2
В	1800	78	33,5
Г	1300	73	31,3
Д	1000	21	9
Е	500	15	6,4
Итого	–	233	100

В Российской Федерации около 70 % взлетно-посадочных полос с искусственным покрытием (ИВПП) было построено в советский период и нуждается в проведении капитального ремонта [1].

Следует отметить, что более чем у десяти аэродромов из реестра Росавиации истекли сроки действия Свидетельств о государственной регистрации<sup>3</sup>.

## ФОРМИРОВАНИЕ ОПОРНОЙ СЕТИ АЭРОПОРТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Значительное количество аэродромов имеют только грунтовые взлетно-посадочные полосы (ГВПП), у которых ограниченные эксплуатационные возможности, и их использование вызывает трудности, особенно в период межсезонья.

За последний год из действующей сети выбыло 44 аэродрома<sup>6</sup>. Сбалансированное развитие авиатранспортной системы важно как для страны в целом, так и для многих заинтересованных субъектов РФ, в первую очередь расположенных в удаленных и труднодоступных регионах Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока (составляющих около 60 % Российской Федерации). В этих районах авиация часто единственный круглогодичный вид транспорта), и это диктует необходимость переноса приоритетного внимания и, соответственно, финансирования на развитие аэродромов (аэропортов), в первую очередь расположенных в северных и восточных регионах России [2].

При формировании перечня опорной сети аэродромов (аэропортов) РФ учитывались объемы пассажиропотоков и грузов на международных и внутренних линиях, общественная значимость и национальная безопасность (рис. 1). В реестр были включены 11 международных узловых аэропортов, 25 узловых аэропортов внутренних линий, 21 аэропорт из условий социальной значимости и внутренней связности авиатранспортной системы и 64 аэропорта, не включенных в предыдущие группы<sup>7</sup> [3].

<sup>5</sup> МТ РФ приказ от 25 августа 2015 г. № 262 (ред. от 24.11.2017) об утверждении ФАП «Требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки ГВС» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2017. 153 с. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_187688/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_187688/) (дата обращения: 15.08.2021).

<sup>6</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 мая 2021 № 1349-р «О закрытии для обслуживания воздушных судов некоторых аэродромов гражданской авиации» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2021. 1 с. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_384925/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_384925/) (дата обращения: 15.08.2021).

<sup>7</sup> Концепция развития аэродромной (аэропортовой) сети Российской Федерации на период до 2020 г. [Электронный ресурс] // pandia.ru. 2008. 76 с. URL: <https://pandia.ru/text/77/191/17688.php> (дата обращения: 15.08.2021).

Для научно обоснованного подхода к формированию опорной аэродромной (аэропортовой) сети следует учитывать вопросы национальной безопасности РФ, проблемы государственной целостности страны, социально-экономические интересы как страны в целом, так и регионов, перспективы научно-технологического развития, состояние инфраструктуры действующей сети аэродромов<sup>8,9</sup>.



Рис. 1. Схема опорной сети аэродромов Российской Федерации  
Fig. 1. The scheme of the basic airfields network of the Russian Federation

В современной научной литературе, посвященной социально-экономической оценке развития страны, существуют различные подходы к формированию показателей, характеризующих условия жизни населения [4]. Например, предлагается оценивать качество жизни населения по семи интегральным свойствам: качеству населения, условиям жизни населения, благосостоянию и др.

Одним из показателей, характеризующих транспортную подвижность населения, является статический коэффициент подвижности – число поездок на одного человека [5]:

$$P_{\text{подв}} = \frac{\sum N_{\text{пасс}}}{\sum N_{\text{нас}}(1 + \beta_{\text{ин}})},$$

где  $\sum N_{\text{пасс}}$  – число перевезенных пассажиров;  $\sum N_{\text{нас}}$  – численность населения;  $\beta_{\text{ин}}$  – доля иностранных граждан, посещающих страну и пользующихся воздушным транспортом.

<sup>8</sup> Указ Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности РФ» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2021. 44 с. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_389271/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/) (дата обращения: 15.08.2021).

<sup>9</sup> Распоряжение Правительства РФ от 24 сентября 2020 г. № 2464-р «Об утверждении Национальной программы социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 г. и на перспективу до 2035 г.» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2020. 128 с. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_363186/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363186/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/) (дата обращения: 15.08.2021).

Статический коэффициент подвижности на воздушном транспорте в России за последние 10 лет находится в диапазоне 0,7–0,78 и указывает на низкий уровень мобильности населения. Вместе с тем этот коэффициент не в полной мере характеризует потребности населения и состояние инфраструктуры аэродромной (аэропортовой) сети. Для планомерного развития авиационно-транспортной системы страны, в том числе регионов Сибири и Дальнего Востока, требуется прежде всего создание высокотехнологичной промышленности на местах и комфортные условия жизни населения: обеспеченность жильем, доступность здравоохранения, качественное образование, культура, социальная безопасность и др.

Через 36 международных и внутрироссийских узловых аэропортов, включенных в опорную сеть аэропортов, за последние годы проходит около 80 % пассажиропотока, а большая часть международных перевозок осуществляется через четыре узла аэропортов страны.

Парк гражданских воздушных судов РФ насчитывает 8933 летательных аппарата<sup>10</sup> и включает ВС для коммерческих воздушных перевозок, выполнения авиационных работ, учебные самолеты и вертолеты, дирижабли, а также беспилотные летательные аппараты, планеры, автожиры, аэростаты и т. д.

В реестре эксплуатантов воздушных судов РФ, имеющих сертификат для осуществления коммерческих воздушных перевозок, зарегистрировано 2177 ВС<sup>11</sup>, из них 1195 отечественного производства.

Большинство современных самолетов гражданской авиации спроектировано по аэродинамической схеме с низкорасположенными двигателями, что требует реконструкции существующих ИВП и рулежных дорожек, предъявляет повышенные требования к чистоте поверхности аэродрома [6]. Кроме того, проведение различных видов периодического ТО АТ предусматривает наличие ангарных комплексов, производственных помещений и площадок, стоянок для хранения неисправных ВС, в том числе из-за отсутствия запасных частей и материалов (ЗЧИМ).

За счет внебюджетных источников построены и введены в эксплуатацию новые пассажирские терминалы в 22 аэропортах (Анапа, Белгород, Благовещенск, Владивосток, Волгоград, Казань, Красноярск (Емельяново), Менделеево, Нижний Новгород, Пермь (Большое Савино), Петрозаводск, Самара, Саранск, Симферополь, Сочи, Тюмень, Уфа, Храброво, Шереметьево, Челябинск, Череповец, Якутск).

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ И ПОМЕЩЕНИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ТО ВС

Инженерно-авиационное обеспечение процесса технической эксплуатации авиационной техники как составляющая аэропортовой деятельности включает комплекс работ по поддержанию исправности или работоспособности ВС.

Для ТО авиационной техники применяются различные средства наземного обслуживания общего применения (СНО ОП) и средства наземного обслуживания специального применения (СНО СП), которые могут быть как в составе организаций по ТО ВС, так и в составе иных структур:

- воздухокислородозаправочное оборудование и оборудование для заправки водой;
- аэродромные электрические установки, аэродромные подвижные электроагрегаты;
- универсальные подвижные гидроустановки;
- аэродромные кондиционеры и универсальные моторные подогреватели;
- тягачи-буксировщики и аэродромные самоходные подъемники, подъемные площадки, погрузчики, площадки обслуживания, телескопические площадки обслуживания;

<sup>10</sup> Государственный реестр ГВС РФ. 06.07.2021 г. [Электронный ресурс] // ФАВТ. 2021. 537 с. URL: <https://m.favt.gov.ru/opendata-table?id=2500> (дата обращения: 15.08.2021).

<sup>11</sup> «Реестр эксплуатантов и воздушных судов» для сайта Росавиации на 06.07.2021 г. [Электронный ресурс] // ФАВТ. 2021. 22 с. URL: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-aviakompanii-reestr/> (дата обращения: 15.08.2021).

- комплекты гидроподъемников, домкраты, несамоходные краны;
- средства доступа (стремянки, лестницы, помосты, подъемные площадки);
- средства неразрушающего контроля, контрольно-проверочная аппаратура и др.

Организации по ТО ВС могут выполнять, кроме работ по всем видам ТО, изготовление и замену компонентов ВС, изменение конструкции ВС (доработки, бюллетени промышленности, директивы летной годности) или выполнение его ремонта, работы по расшифровке полетной информации, ремонту технологического оборудования, оснастки и СНО СП [7].

На состояние инфраструктуры организации по ТО ВС оказывают влияние виды и режимы ТО ВС, уровень оснащённости СНО, параметры состояния, функционирования и работоспособности АТ, требования конструкторской документации ВС, показатели безотказности и долговечности изделий АТ.

Техническая эксплуатация АТ как часть жизненного цикла ВС может включать в себя процесс функционирования АТ (использование по назначению, ожидание использования по назначению, хранение и др.), выполнение различных видов и форм ТО, контроль технического состояния и восстановление свойств АТ.

К ТО АТ относится комплекс выполняемых на ней работ (операций), имеющих целью подготовку ВС к полетам, поддержание исправности, работоспособности при использовании ее по назначению, при хранении и транспортировании<sup>12</sup>.

Система технической эксплуатации (СТЭ) в общем случае включает в себя нормативно-правовую базу, организационную структуру с производственными и функциональными связями между элементами (службами и отделами) и мероприятия, обеспечивающие своевременное и качественное решение поставленных задач. В состав СТЭ конкретных типов АТ также входит производственно-техническая база (ангары для ТО ВС, производственные помещения и площадки), средства измерений, СНО СП, контрольно-проверочная аппаратура, инструмент и технологическая оснастка и др.

Особенностями инфраструктуры гражданской авиации являются топливозаправочные комплексы, специально оборудованные территории организаций по ТО ВС (производственные помещения, места стоянок ВС, специальные площадки, ангары).

Объекты авиатопливообеспечения предназначены для обеспечения горюче-смазочными материалами (ГСМ) и спецжидкостями ВС, организаций по ТО ВС и включают в себя наземные склады ГСМ, средства и системы заправки, склады нефтепродуктов. Задачи по обеспечению объектов гражданской авиации России ГСМ решают около 200 организаций, имеющих сертификат на право деятельности (цифры приведены с учетом альтернативных топливозаправочных комплексов (ТЗК)).

Организации по ТО ВС являются структурными подразделениями предприятий гражданской авиации и предназначены для выполнения различных видов ТО ВС. На сегодняшний день 430 организаций по ТО имеют действующие сертификаты соответствия<sup>13</sup>.

Большая часть имущественной базы организаций по ТО ВС (ангары, производственные помещения и площадки; оборудование, необходимое для обслуживания ВС) досталась появившимся на российском рынке авиаперевозчикам после распада Советского Союза. В связи со значительным износом производственных помещений и площадок требуются значительные вложения в развитие инфраструктуры авиационной транспортной системы, совершенствование нормативно-правовой базы [8]. Следует отметить, что в связи с изменением хозяйственной деятельности авиационных организаций многие нормативные акты утратили законодательную си-

<sup>12</sup> Приказ Минтранса России от 20 июня 1994 г. № ДВ-58 «Об утверждении "Наставления по технической эксплуатации и ремонту авиационной техники в гражданской авиации России. НТЭРАТ ГА-93"».

<sup>13</sup> Перечень организаций по ТО, имеющих действующий сертификат соответствия на 01 декабря 2021 г. [Электронный ресурс] // ФАВТ. 2021. 29 с. URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-podderzhanie-letnoj-godnosti-perechen-orgaizacij-po-teh-obslujvaniyu/> (дата обращения: 15.08.2021).

лу, в частности ВНТП 11-85 «Ведомственные нормы технологического проектирования авиационно-технических баз в аэропортах».

Для мест стоянок хранения ВС выделяют специальные места или площадки, подготовленные по размерам для определенных типов ВС (универсальные, частично универсальные). Проблема нехватки мест стоянок хранения в базовых аэропортах затрагивает многие авиакомпании России (например, нехватка мест стоянок хранения для самолетов авиакомпании «Аэрофлот» в базовом аэропорту Шереметьево). Рекомендуемые нормативы количества мест стоянок составляют 10 % от базовых типов ВС [9]. Однако большой запас мест стоянки ВС так же непозволителен, как и их нехватка. Для расчета оптимального количества мест стоянок целесообразно применять имитационные методы моделирования в связи с большим количеством стохастических параметров – безотказности и контролепригодности ВС, сроков поставки ЗЧМ, уровня оснащенности СНО ОП и др.

Для имитационного моделирования процессов функционирования организаций по ТО ВС целесообразно применять прикладное программное обеспечение, в частности Arena Simulation версия 16.1<sup>14</sup>.

Для обеспечения научно обоснованного подхода к проведению эксперимента с целью оценки влияния количества ВС в парке авиакомпании, надежности АТ, сроков поставки ЗЧМ, количества и уровня квалификации инженерно-технического персонала на потребное количество мест стоянок ВС составим матрицу планирования эксперимента (табл. 3). Следует отметить, что вопросам планирования численного эксперимента посвящено значительное количество работ в отечественной и зарубежной научной литературе [10–14].

Таблица 3  
Table 3

Фрагмент матрицы планирования эксперимента по оценке времени нахождения ВС на хранении (в ожидании поставки ЗЧМ, устранения скрытых отказов и др.)

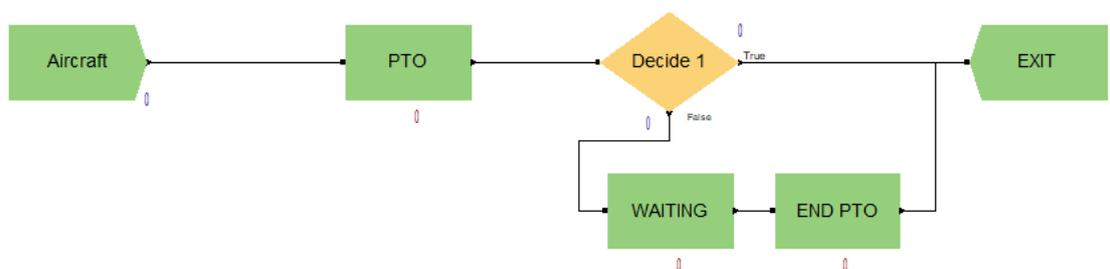
The experiment planning matrix fragment to estimate the aircraft available time (waiting for spare parts and materials delivery, isolating hidden failures, etc.)

Наименование факторов	Обозначение	Размерность	Значение параметра	
			min	max
Вероятность выполнения ТО за заданное время	$P_{ТО}$	–	0,80	0,95
Вероятность своевременной поставки ЗЧМ	$P_{ЗЧМ}$	–	0,70	0,95
Средняя продолжительность выполнения одного вида периодического ТО (ПТО)	$T_{пто}$	дней	3	30
Средняя трудоемкость выполнения ПТО	$\tau_{пто}$	чел.-час	500	5000
Количество ВС, обслуживаемых организацией по ТО в год	$n_{ВС}$	шт.	30	50
Среднее время ожидания поставки ЗЧМ	$T_{ож}$	дней	3	21

Для проведения эксперимента по имитационному моделированию состояния системы ТО ВС в процессе выполнения ПТО разработан модуль в среде Arena Simulation (рис. 2). В общем случае количество ВС, прошедших ПТО, зависит от времен нахождения в процессе приемки на ТО, непосредственного выполнения ПТО, среднего времени ожидания поставки ЗЧМ и других факторов.

Основой подобных имитационных математических моделей, как правило, является математический аппарат теории систем массового обслуживания (СМО), предназначенный для обслуживания потока заявок, имеющих, как правило, случайный характер.

<sup>14</sup> Arena Simulation Software [Электронный ресурс] // Rockwell Automation. URL: <https://www.rockwellautomation.com/ru-ru/products/software/arena-simulation.html> (дата обращения: 15.08.2021).

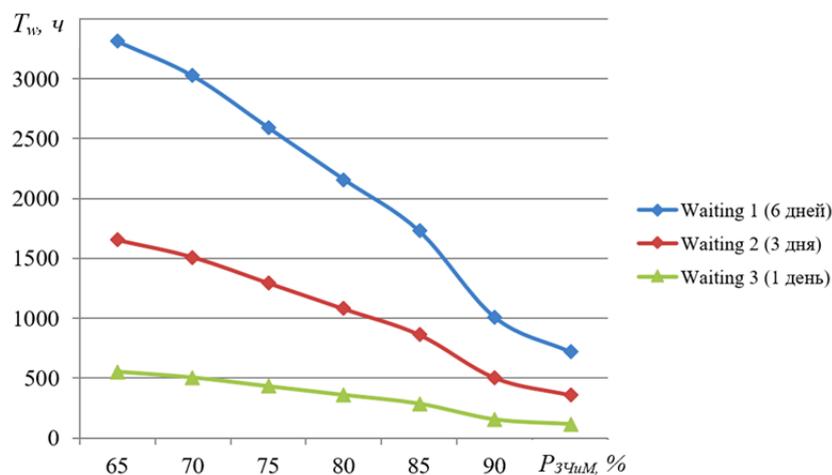


**Рис. 2.** Графический модуль имитационной модели системы ТО ВС в среде Arena Simulation: Aircraft – входной блок ВС на ПТО; PTO – блок процесса ПТО ВС; Decide 1 – логический блок распределения ВС на подготовку к полетам и на ожидание поставки ЗЧМ; WAITING – модуль ожидания поставки ЗЧМ; END PTO – модуль окончания ПТО; EXIT – модуль выхода ВС из ПТО

**Fig. 2.** The graphic module of the aircraft maintenance system simulation model in the Arena Simulation Aircraft environment – the input Aircraft Periodic Maintenance block; PM – the Aircraft Periodic Maintenance process block; Decide 1 – the logic block of the Aircraft distribution to prepare for flights and wait for Spare Parts and Materials delivery; WAITING – the module of waiting for Spare Parts and Materials delivery; END Periodic Maintenance – the module of Periodic Maintenance completion; EXIT – the module of the Aircraft exit from the Periodic Maintenance

В результате этого может образовываться очередь на обслуживание либо изделия покидают СМО необслуженными. В качестве характеристик эффективности СМО могут выступать: вероятность своевременного удовлетворения ЗЧМ, среднее время нахождения на различных видах ТО, закон распределения времени ожидания ТО и др. [15, 16].

В результате проведенных исследований получена зависимость среднего времени нахождения ВС в состоянии ПТО от среднего времени поставок ЗЧМ и от вероятности своевременной поставки ЗЧМ (рис. 3).



**Рис. 3.** Зависимость среднего времени нахождения ВС в состоянии WAITING (ожидание) от среднего времени поставок ЗЧМ и от вероятности своевременной поставки ЗЧМ

**Fig. 3.** Dependence of the aircraft average available time in the WAITING status on the Spare Parts and Materials delivery average time and the probability of just-in-time Spare Parts and Materials delivery

Анализ результатов имитационного моделирования в среде Arena Simulation требует определенных навыков, и этому посвящено немало работ [17].

Исследования показали, что с изменением  $P_{ЗЧМ}$  от 0,95 до 0,6 время ожидания устранения отложенных отказов увеличивается от 240 до 3300 часов. Это требует значительно большего количества мест стоянок для ВС, ожидающих окончания ПТО, по сравнению с традиционными подходами.

В организациях по ТО ВС, в зависимости от разрешенного вида ТО, может быть различная организационная структура, включающая: цеха оперативного и периодического ТО, механический цех, участки, лаборатории, мастерские, подразделения инженерного обеспечения и соответствующие помещения и площади<sup>15</sup>. В аэропортах I–III классов должны быть предусмотрены ангарные корпуса для организаций по ТО ВС [8], но в общем случае это зависит от требований конструкторской документации на АТ. Смежные виды работ по одной специальности могут объединяться в одном подразделении (цехе, участке).

При проектировании организаций по ТО ВС необходимо учитывать разрешенные виды работ по системам и компонентам ВС и предусмотреть необходимые производственные площади и помещения (рис. 4):

– помещения групп «Конструкция планера ВС», «Двери и люки ВС», «Управление ВС», «Остекление ВС», «Противообледенительная система и противопожарная система» (ПОС и ППС) (рис. 4, поз. 1), «Гидросистема» (ГДС), «Топливная система» (ТС), «Система кондиционирования воздуха и система автоматического регулирования давления» (СКВ и САРД), «Водяной балласт», «Шасси», «Пневмосистемы и вакуумные системы» (рис. 4, поз. 2);

– помещение групп «Авиационные двигатели и вспомогательная силовая установка» (АД и ВСУ), «Система увеличения тяги» (рис. 4, поз. 3);

– помещение групп «Трансмиссии вертолетов», «Несущие винты (НВ) вертолетов», «Воздушные винты» (рис. 4, поз. 4);

– помещение группы «Неразрушающий контроль» (рис. 4, поз. 5);

– помещение группы «Система автоматического управления и автопилота» (рис. 4, поз. 6);

– помещение группы «Системы индикации и регистрации» (рис. 4, поз. 7);

– помещение группы «Системы электроснабжения и освещения» (рис. 4, поз. 8);

– помещение группы «Кислородное оборудование» (рис. 4, поз. 9);

– помещение группы «Оборудование связи и ПНО» (рис. 4, поз. 10);

– помещение группы «Бытовое и аварийно-спасательное оборудование» (рис. 4, поз. 11);

– служебное помещение планово-диспетчерского отдела, службы управления производством и качеством<sup>16</sup> (рис. 4, поз. 12);

– помещение (место) для ведения технической документации (рис. 4, поз. 13);

– помещение для обеспечения управления работами по ТО ВС (рис. 4, поз. 14);

– помещение для технического обслуживания компонентов (рис. 4, поз. 15);

– помещение (место) для хранения инструментов общего, индивидуального и специального назначения (рис. 4, поз. 16);

– помещение собственной учебной базы (рис. 4, поз. 17);

– помещение (место) для хранения документации (пономерной, о выполненных работах на АТ, о проведенных внутренних аудитах<sup>17</sup>) (рис. 4, поз. 18);

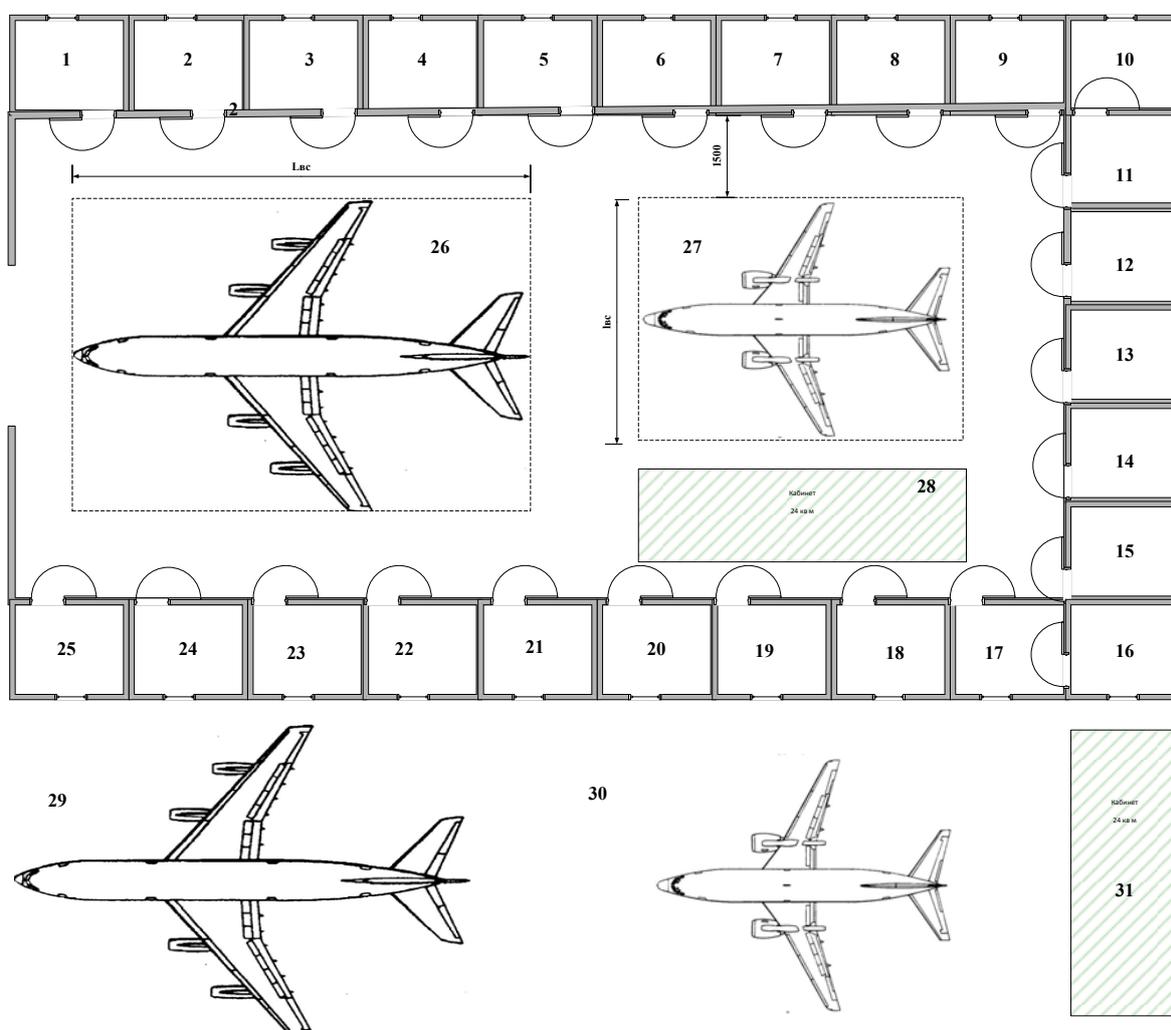
– изолированные помещения для выполнения экологически опасных и вредных работ (покраска, очистка, мойка, сварка (рис. 4, поз. 19); механическая обработка (рис. 4, поз. 20));

<sup>15</sup> МТ РФ Приказ от 25.09.2015 г. № 285 «Об утверждении ФАП "Требования к юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, осуществляющим ТО ГВС. Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, осуществляющих ТО ГВС, требованиям ФАП"» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2015. 31 с. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_187899/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_187899/) (дата обращения: 15.08.2021).

<sup>16</sup> Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. Эксплуатация ВС. Часть I: Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты. Международная организация гражданской авиации. 10-е изд. // ИКАО, 2016. 304 с.

<sup>17</sup> Контрольные карты выездной проверки соответствия или несоответствия заявителя требованиям ФАП, утвержденным приказом Минтранса России от 25.10.2015 № 285 [Электронный ресурс] // ФАВТ. 2016. 23 с. URL: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-podderzhanie-letnoj-godnosti-perechen-normativnyh-dokumentov/?id=3372> (дата обращения: 15.08.2021).

- помещения и площади для хранения запасных компонентов и расходных материалов (исправных отдельно от неисправных) (рис. 4, поз. 21, 28);
- помещение для раздельного хранения исправных компонентов, оборудования, инструмента и материалов от неисправных компонентов, оборудования, инструмента и некондиционных материалов (рис. 4, поз. 22);
- помещение подразделения выполнения текущего ремонта конструкции планера, компонентов и систем ВС (рис. 4, поз. 23);
- помещение бытового назначения и служебное помещение (рис. 4, поз. 24, поз. 25);
- площади для размещения гражданских воздушных судов (места стоянки ВС) (рис. 4, поз. 26, 27, 29, 30); их компонентов (рис. 4, поз. 28), достаточные для исключения их повреждения во время выполнения работ;
- площади для размещения и хранения оборудования и материалов<sup>18</sup> (рис. 4, поз. 31);
- наличие вентиляции, освещения, возможности поддержания температуры, влажности, иных условий в месте работ, достаточных для выполнения заявленных (разрешенных) работ в условиях, предусмотренных эксплуатационной документацией и документацией разработчика.



**Рис. 4.** Типовая схема производственных помещений и площадей организации по ТО ВС  
**Fig. 4.** The typical scheme of workplace and operating area for the Aircraft Maintenance Organization

<sup>18</sup> Дос 9760: Руководство по летной годности. 4-е изд. // ИКАО, 2020. 468 с.

Организация по ТО ВС владеет на праве собственности, аренды или ином законном основании инструментами, материалами, оборудованием, необходимыми для выполнения разрешенных видов работ, в соответствии с эксплуатационной документацией.

Организация по ТО ВС в процессе выполнения комплекса работ по поддержанию летной годности обязана применять средства, указанные в документации разработчика ВС или его компонента<sup>19</sup>.

Для использования альтернативных СНО СП, оборудования и инструментов с техническими характеристиками, эквивалентными указанным в документации разработчика ВС и компонентов, необходимо в Руководстве Организации произвести процедуру такой замены.

Организация по ТО ВС имеет право на собственной производственной базе изготавливать детали и сборочные единицы АТ в соответствии с требованиями конструкторской документации разработчика ВС или компонента. Изготовленные изделия разрешается устанавливать только на ВС, проходящее техническое обслуживание в данной Организации. Это возможно при указании в Руководстве Организации процедур организации выполнения таких работ.

При сертификации организаций ТО ВС по EASA Part 145 необходимо представить Maintenance Organisation Exposition (МОЕ), Руководство по техническому обслуживанию (Maintenance Control Manual) с общим описанием производственной базы Организации.

## РАСЧЕТ СИЛ И СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРНО-АВИАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ ВС

Организация по ТО ВС разрабатывает производственный годовой план с учетом затрат планируемых видов ТО, при этом учитывается количество и квалификация руководящего, подтверждающего и привлекаемого персонала. Организация по ТО ВС укомплектовывается квалифицированным персоналом для выполнения всех видов заявленных работ, в том числе достаточным для выполнения планируемого объема работ, контроля и надзора качества ТО в соответствии с действующим сертификатом деятельности Организации. Также в Руководстве по деятельности организации по ТО ВС должны быть прописаны действия при изменении объема планируемых работ или в случае нехватки инженерно-технического состава при конкретном ТО летательного аппарата, на смену или на период<sup>20</sup>.

Организация по ТО ВС должна располагать необходимым оборудованием, инструментами и расходными материалами для выполнения утвержденного объема работ.

Для контроля соблюдения требований охраны труда и мер производственной безопасности в каждой организации по ТО ВС, если численность штатных сотрудников более 50 человек, создается служба охраны труда или вводится должность специалиста по охране труда, обладающего соответствующими компетенциями<sup>21</sup>.

При подготовке производства Организация должна иметь структуру, соответствующую объему и степени сложности планируемого комплекса работ, необходимое количество квалифицированного подтверждающего и привлекаемого персонала, достаточный уровень оснащенности средствами наземного обслуживания специального применения, инструментом и оборудованием. Для эффективного решения задач по ТО ВС, авиационным организациям необходи-

<sup>19</sup> ГОСТ Р 55867-2013 Воздушный транспорт. Метрологическое обеспечение на воздушном транспорте. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.

<sup>20</sup> Otar Part 145 Aircraft Maintenance Organisation Approval [Электронный ресурс] // [airsafety.aero](https://www.airsafety.aero). 2021. 27 с. URL: <https://www.airsafety.aero/Requirements-and-Policy/OTARs/Part-145-Aircraft-Maintenance-Organisation-Approval.aspx> (дата обращения: 15.08.2021).

<sup>21</sup> Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.11.2021) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2021. 303 с. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (дата обращения: 15.08.2021).



В организациях по ТО ВС, как правило, имеется отдел подготовки и сопровождения базовых форм технического обслуживания (ОП и С БФТО)<sup>23</sup>.

Заместитель директора по ПЛГ наделен корпоративными полномочиями для обеспечения подразделений по ПЛГ необходимым количеством квалифицированного персонала, помещениями и оборудованием.

Для определения годового потребного фонда трудозатрат организации по ТО следует учитывать трудоемкость форм ТО типа ВС, количество ВС, средний годовой налет и др.:

$$Q_{\text{общ}} = \sum_i^n \prod_j^m (T_{ij} \cdot N_{ij}) + \sum_{i=1}^n (T_{\text{нki}} \cdot N_{\text{нki}}) + \sum_{i=1}^n (T_{\text{coi}} \cdot N_{\text{coi}}) + \sum_{i=1}^n (T_{\text{опi}} \cdot N_{\text{опi}}) + \sum_{i=1}^n (T_{\text{хрi}} \cdot N_i),$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – годовой потребный фонд трудозатрат организации по ТО, чел-час;

$n$  – количество типов ВС;

$T_{ij}$  – трудоемкость  $i$ -го типа ВС  $j$ -й формы ТО (принимается из эксплуатационной документации на ВС), чел-час;

$N_{ij}$  – количество ВС  $i$ -го типа находящихся на  $j$ -м ТО, чел-час;

$T_{\text{гс}}$  – средний годовой налет на ВС  $i$ -го типа, ч;

$N_i$  – число ВС  $i$ -го типа;

$T_{\text{нki}}$  – трудоемкость неразрушающего контроля  $i$ -го изделия авиационной техники (двигатель, компоненты планера ЛА и пр.), чел-час;

$N_{\text{нki}}$  – количество видов неразрушающего контроля  $i$ -го изделия авиационной техники (двигатель, компоненты планера ЛА и др.);

$T_{\text{coi}}$  – трудоемкость  $i$ -го специального ТО (после превышения эксплуатационных перегрузок, выкатывания за пределы ВПП, попадания ПП в двигатель и др.) ВС, чел-час;

$N_{\text{coi}}$  – количество видов специального ТО, выполняемых на ВС за рассматриваемый период ТО, ч;

$n_{\text{пто}}$  – календарный период данного вида периодического ТО, дней;

$t_{\text{диагн}}$  – время нахождения на диагностике, ч;

$\tau_{\text{диагн}}$  – трудозатраты на диагностирование, чел.-час.

Общее количество персонала организации по ТО ВС  $N_{\text{персонала}}$  будет находиться по формуле

$$N_{\text{персонала}} = \sum_i^n \frac{Q_i}{\Phi_{\text{эффekt } i}},$$

где  $Q_i$  – потребный годовой фонд трудозатрат  $i$ -го подразделения организации по ТО, чел.-час,  $\Phi_{\text{эффект } i}$  – располагаемый годовой фонд трудозатрат одного специалиста  $i$ -го подразделения организации по ТО, чел.-час (табл. 4).

Например, фонд рабочего времени при 40-часовой неделе на 2021 г. составляет 1 972 ч. Количество дней за 2021 г.: календарных – 365, рабочих дней – 247, выходных (праздничных) – 118<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> Там же.

<sup>24</sup> Производственный календарь на 2021 год [Электронный ресурс] // Государственная Дума Федерального Собрания РФ. 2020. 2 с. URL: <http://duma.gov.ru/news/49744/> (дата обращения: 15.08.2021).

Организации по ТО ВС при создании программы по ТО руководствуются исходными данными по планированию ТО (ИДПТО), Методическими рекомендациями МР-03-001<sup>25</sup>. В Программе ТО ВС указываются количество исполнителей, специальность, трудозатраты на выполнение вспомогательных и основных работ на авиационной технике. Организация по ТО ВС в индивидуальном порядке, в зависимости от сил и средств инженерно-авиационного обеспечения, устанавливает продолжительность выполнения форм ТО.

Таблица 4  
Table 4

Распределение эффективного фонда времени и трудозатрат по подразделениям организации по ТО ВС  
Distribution of the effective time and labor costs fund by divisions of the Aircraft Maintenance Organization

Подразделение организации по ТО	Располагаемый фонд рабочего времени, ч	Эффективный фонд рабочего времени, ч	Трудозатраты по формам ТО, чел-час	Трудозатраты на СТО, чел-час	Трудозатраты на ТО при хранении, чел-час
Планер ВС и ФС	1972	1845	2500	1250	350
АД и ВСУ	1972	1845	1250	250	350
Неразрушающий контроль	1972	1825	750	250	150
(САУ) и автопилота	1972	1845	250	50	150
Кислородное оборудование	1972	1845	250	—	—
Электроснабжение и освещение	1972	1845	350	50	50
Системы индикации и регистрации	1972	1895	250	50	50
Оборудование связи и ПНО	1972	1895	250	50	50
Бытовое, специальное и аварийно-спасательное оборудование	1972	1895	750	50	50

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований:

- выполнен анализ состояния аэродромов (аэропортов) России, предложены подходы к определению оптимального количества опорной (базовой) сети аэродромов (аэропортов);
- получены результаты времени ожидания ВС устранения отложенных отказов (состояние WAITING) от среднего времени поставок ЗЧМ и от вероятности своевременной поставки

<sup>25</sup> Методические рекомендации МР-03-001 по одобрению программ ТО ВС, зарегистрированных в государственном реестре ГВС РФ [Электронный ресурс] // ФАВТ. 2014. 45 с. URL: <https://favt.gov.ru/public/materials/6/0/f/4/8/60f488d2ea1e375940c2c964e2318a16.PDF> (дата обращения: 15.08.2021).

ЗЧМ, на основании которых есть возможность определить требуемое количество мест стоянок для ВС, ожидающих окончания ПТО;

– предложена типовая схема производственных помещений и площадей организации по ТО ВС с учетом требований нормативно-правовой базы РФ, ИКАО, Европейского агентства по безопасности полетов (EASA);

– разработана типовая структура организации по ТО ВС с учетом требований нормативно-правовой базы РФ, ИКАО, Европейского агентства по безопасности полетов (EASA);

– для определения годового потребного фонда трудозатрат и общего количества персонала организации по ТО предложено учитывать дополнительные факторы – прогнозируемое количество и вид специального ТО ВС, объем прогнозируемых видов неразрушающего контроля АТ, эффективный фонд времени и трудозатрат и др.

Результаты исследования рекомендуется использовать на авиационных предприятиях, в организациях по ТО ВС, разработчикам и изготовителям авиационной техники на этапах проектирования, производства и эксплуатации ВС.

Результаты исследований позволяют:

- авиационным организациям – планировать ожидаемые простои и трудоемкость ТО на основе среднего времени поставок ЗЧМ и вероятности своевременной поставки ЗЧМ;
- авиационным организациям – проектировать комплекс производственных помещений и площадей для выполнения ТО ВС с учетом несвоевременной поставки ЗЧМ;
- организациям по ТО ВС – разрабатывать организационную структуру, рассчитывать годовой потребный фонд трудозатрат и количество персонала организации по ТО ВС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Соболь Л.С.** К вопросу развития гражданской авиации в России // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 190. С. 138–143.
2. **Козочкина О.А.** Социально-экономическое обоснование развития региональной аэродромной (аэропортовой) сети в РФ: автореф. дисс. ... канд. эконом. наук. М.: ГУУ, 2009. 24 с.
3. **Соколин А.В., Фридлянд А.А.** Критерии и алгоритм формирования состава национальной (опорной) сети аэропортов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2007. № 118. С. 70–73.
4. **Галабурда В.Г., Иванова Е.А., Флягина Т.А.** Роль транспортной подвижности населения в повышении качества жизни и развития общества // Транспортное дело России. 2016. № 5. С. 101–103.
5. **Галабурда В.Г., Бубнова Г.В., Иванова Е.А.** Транспортный маркетинг: учебник для вузов / Под общ. ред. В.Г. Галабурды. М.: МИИТ, 2011. 452 с.
6. **Борзова А.С., Железная И.П.** Анализ состояния инфраструктуры аэропортов Московского авиационного узла // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 197. С. 107–110.
7. **Петров А.Н.** Методология поддержания летной годности воздушного судна на основе управления эффективностью системы его технического обслуживания и ремонта // Научный Вестник МГТУ ГА. 2008. № 130. С. 33–41.
8. **Железная И.П.** Стратегия развития наземной инфраструктуры аэропортов гражданской авиации // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 202. С. 21–24.
9. **Бабков А.Б.** Аэропорты и воздушные трассы: учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы «Проектирование генерального плана аэропорта». М.: ИД Академии Жуковского, 2020. 64 с.
10. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений. М.: Наука, 1976. 280 с.
11. **Рогов В.А., Позняк Г.Г.** Методика и практика технических экспериментов: учеб. пособие для вузов. М.: Академия, 2005. 283 с.

**12. Кубланов М.С.** Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов. Часть II. Планирование экспериментов и обработка результатов измерений: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп.: М.: МГТУ ГА, 2004. 125 с.

**13. Клейнен Дж.** Статистические методы в имитационном моделировании. Выпуск 1 / Пер. с англ. К.Д. Аргуновой, А.М. Талалай, Ю.П. Адлер, В.Н. Варыгина. М.: Статистика, 1978. 224 с.

**14. Горский В.Г., Адлер Ю.П., Талалай А.М.** Планирование промышленных экспериментов. М.: Металлургия, 1978. 112 с.

**15. Вентцель Е.С.** Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1980. 208 с.

**16. Акоф Р.Л., Сасени М.В.** Основы исследования операций / Пер. с англ. В.Я. Алтаева. М.: Мир, 1971. 536 с.

**17. Гусева Е.Н.** Анализ результатов имитационного моделирования в среде ROCKWELL SOFTWARE ARENA // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ'2016) с международным участием. Екатеринбург, 12–13 мая 2016 г. Екатеринбург: УрФУ, 2016. С. 194–198.

**18. Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Моделирование систем: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2001. 343 с.

**19. Самуленков Ю.И., Филатова Я.А., Грузд А.Д.** Построение имитационной математической модели системы технического обслуживания воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2021. Т. 24, № 4. С. 38–49. DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-4-38-49

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Самуленков Юрий Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиационных двигателей Московского государственного технического университета гражданской авиации, [yu.samulenkov@mstuca.aero](mailto:yu.samulenkov@mstuca.aero).

**Бабков Александр Борисович**, кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок на воздушном транспорте МГТУ ГА, [orvt@mstuca.aero](mailto:orvt@mstuca.aero).

**Филатова Яна Александровна**, студентка 4 курса Московского государственного технического университета гражданской авиации, [yanafilatova787@yandex.ru](mailto:yanafilatova787@yandex.ru).

## IMPROVING CIVIL AVIATION AIRPORTS INFRASTRUCTURE TAKING INTO ACCOUNT THE DESIGN PROCESS OF AIRCRAFT MAINTENANCE ORGANIZATIONS

**Yuri I. Samulenkov<sup>1</sup>, Alexander B. Babkov<sup>1</sup>, Yana A. Filatova<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*Moscow State Technical University of Civil Aviation,  
Moscow, Russia*

### ABSTRACT

Air transport is of the essence in providing conditions for the effective performance of modern economic paradigm. Operating airlines, the subjects of the Russian Federation and the State as a whole, are equally interested in the development of air transportation system infrastructure. Civil aviation ensures the transport system integrated safety and stability, the relationship of regions and human settlements, especially Siberia, the North and the Far East regions. Over the post-Soviet period in the Russian

Federation, the volume of passenger and cargo operations has decreased significantly, air transport linkages between regions have been lost. Such a passenger and cargo operations-related situation has occurred with heavy traffic congestion in the country's hubs and does not allow the Russian Federation air transportation system to develop comprehensively and harmoniously. A detailed assessment of the country's civil aviation infrastructure will enable experts to put forward proposals for the air transport system modernization and development. Working space of aircraft maintenance organizations is an integral part among air transport infrastructure facilities. In order to conduct aeronautical equipment maintenance, it is necessary to have engineering and manufacturing objects, hangars and areas to accommodate and store maintenance facilities, equipment (general, individual, special-purpose), consumables, premises for planning and dispatching departments, space to accommodate served aircraft, their components, etc. In addition, depending on the number of served aircraft types, the air transportation volume and regular pattern, the calculation of workforce and means of engineering and aviation support is essential. These issues require in-depth development on the basis of a scientific approach using the simulation modeling methods.

**Key words:** air transport, air transportation, infrastructure of civil aviation airfields, aircraft maintenance organizations, aircraft maintenance, simulation mathematical modeling, concept of aircraft maintenance.

## REFERENCES

1. **Sobol, L.S.** (2013). *To the question of the development of civil aviation in Russia*. Nauchny Vestnik MGTU GA, no. 190, p. 138–143. (in Russian)
2. **Kozochkina, O.A.** (2009). *Sotsialno-ekonomicheskoye obosnovaniye razvitiya regionalnoy aerodromno (aeroportovoy) seti v Rossiyskoy Fediratsii: avtoref. dis. ... kand. ekonom. nauk* [Socio-economic justification for the development of the regional airfield (airport) network in the Russian Federation: Abstract of Candidate Economic Sc. Dissertation]. Moscow: GUU, 24 p. (in Russian)
3. **Sokolin, A.V. and Fridlyand, A.A.** (2007). *The criteria and algorithm of forming the composition of the airport network*. Nauchny Vestnik MGTU GA, no. 118, p. 70–73. (in Russian)
4. **Galaburda, V.G., Ivanova, E.A. and Flyagina, T.A.** (2016). *The role of transport mobility population in improving the quality of life and development of the company*. Transport Business of Russia, no. 5, p. 101–103. (in Russian)
5. **Galaburda, V.G., Bubnova, G.V. and Ivanova, E.A.** (2011). *Transportnyy marketing: uchebnik dlya vuzov* [Transport marketing: Textbook for Universities], in Galaburda V.G. (Ed.). Moscow: MIIT, 452 p. (in Russian)
6. **Borzova, A.S. and Zheleznaya, I.P.** (2013). *The Moscow hub airports infrastructure condition analysis*. Nauchny Vestnik MGTU GA, no. 197, p. 107–110. (in Russian)
7. **Petrov, A.N.** (2008). *Aircraft continuing airworthiness methodology based on the control of the maintenance system effectiveness*. Nauchny Vestnik MGTU GA, no. 130, p. 34–41. (in Russian)
8. **Zheleznaya, I.P.** (2014). *The strategy of development of ground based infrastructure of the airports of civil aviation*. Nauchny Vestnik MGTU GA, no. 202, p. 21–24. (in Russian)
9. **Babkov, A.B.** (2020). *Aeroporty i vozdushnyye trassy: uchebno-metodicheskoye posobiye po vypolneniyu kursovoy raboty «Proektirovaniye generalnogo plana aeroporta»* [Airports and air routes: educational and methodological guide for the implementation of the course work "Designing the general plan of the airport"]. Moscow: ID Akademii Zhukovskogo, 64 p. (in Russian)
10. **Adler, Yu.P., Markova, E.V. and Granovskiy, Yu.V.** (1976). *Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh resheniy* [Experiment planning in the search for optimal solutions]. Moscow: Nauka, 280 p. (in Russian)
11. **Rogov, V.A. and Poznyak, G.G.** (2005). *Metodika i praktika tekhnicheskikh eksperimentov: uchebnoye posobie dlya vuzov* [Methodology and practice of technical experiments: a textbook for universities]. Moscow: Academy, 283 p. (in Russian)
12. **Kublanov, M.S.** (2004). *Matematicheskoye modelirovaniye. Metodologiya i metody razrabotki matematicheskikh modeley mekhanicheskikh sistem i protsessov. Chast II. Planirovaniye eksperimentov i obrabotka rezultatov izmereniy: uchebnoye posobiye* [Mathematical modeling. Method-

ology and methods of developing mathematical models of mechanical systems and processes. Part II. Planning of experiments and processing of measurement results: Tutorial]. 3rd ed., pererab. i dop. Moscow: MGTU GA, 125 p. (in Russian)

13. Kleijnen, J.P.C. (1974). *Statistical techniques in simulation. Part I*. New York: M. Dekker, 285 p.

14. Gorsky, V.G., Adler, Yu.P. and Talalay, A.M. (1978). *Planirovaniye promyshlennykh eksperimentov* [Planning of industrial experiments]. Moscow: Metallurgiya, 112 p. (in Russian)

15. Wentzel, E.S. (1980). *Issledovaniye operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya*. [Operations research: tasks, principles, methodology]. Moscow: Nauka, 208 p. (in Russian)

16. Sasieni, M.W. and Ackoff, R.L. (1968). *Fundamentals of operations research*. John Wiley and Sons, 468 p.

17. Guseva, E.N. (2016). *Analiz rezultatov imitatsionnogo modelirovaniya v srede ROCKWELL SOFTWARE ARENA* [Analysis of simulation results in the ROCKWELL SOFTWARE ARENA environment]. *Teplotekhnika i informatika v obrazovanii, nauke i proizvodstve: sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchonykh (TIM'2016) s mezhdunarodnym uchastiyem* [Heat engineering and informatics in education, science and production: a collection of reports of the V All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists (TIM'2016) with international participation], p. 194–198. (in Russian)

18. Sovetov, B.Ya. and Yakovlev, S.A. (2001). *Modelirovaniye system: uchebnik dlya vuzov* [System modeling: Textbook for Universities]. 3rd ed., pererab. i dop. Moscow: Vysshaya shkola, 343 p. (in Russian)

19. Samulenkov, Yu.I., Filatova, Ya.A. and Gruzd, A.D. (2021). *Aircraft maintenance system simulation mathematical model construction*. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 24, no. 4, p. 38–49. DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-4-38-49 (in Russian)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Yuri I. Samulenkov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Technical Operation of Aircraft and Aviation Engines Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, [yu.samulenkov@mstuca.aero](mailto:yu.samulenkov@mstuca.aero).

**Alexander B. Babkov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of The Chair of Transportation Organization on Air Transport, Moscow State Technical University of Civil Aviation, [opvt@mstuca.aero](mailto:opvt@mstuca.aero).

**Yana A. Filatova**, the 4<sup>th</sup> year student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, [yanafilatova787@yandex.ru](mailto:yanafilatova787@yandex.ru).

Поступила в редакцию  
Принята в печать

19.09.2021  
25.01.2022

Received  
Accepted for publication

19.09.2021  
25.01.2022