

СТАТЬИ

УДК 656.13

ПОСТРОЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

Акинфиев Д.К.

*Общество с ограниченной ответственностью «Иторум»,
Бронницы, Российская Федерация, e-mail: d.akinfiev@itorum.ru*

Анализ логистической поддержки является частью интегрированной логистической поддержки в рамках информационной поддержки изделия. Основной целью интегрированной логистической поддержки является управление жизненным циклом изделий. Процесс анализа логистической поддержки служит инструментом для моделирования систем технической эксплуатации. В данной статье уделяется внимание построению логистической структуры изделия, которая является базовым этапом для последующих работ в рамках анализа логистической поддержки. Целью работы является описание процесса разработки логистической структуры изделия и формирование примера на основе системы рулевого управления автомобиля. В статье описаны методы создания логистической структуры изделия, возможные критерии отбора составных частей изделия и выбора элементов логистической структуры изделия. В качестве исходных данных для разработки примера использовалась эксплуатационная документация автомобилей «Урал», размещенная на официальном сайте производителя. Логистическая структура изделия в общем случае состоит из изделия, его основных функциональных систем и их подсистем, сборочных единиц различного уровня разбissionя, агрегатов и деталей. При этом изделие, сборочные единицы, агрегаты и детали являются физическими объектами, а основные функциональные системы и подсистемы – абстрактными. При отборе элементов логистической структуры использовались: номенклатурный перечень всех компонентов системы рулевого управления автомобиля «Урал C35510 6x4», принципиальная схема рулевого управления и гидравлическая схема гидропривода, перечень работ технического обслуживания и возможных отказов, содержащиеся в эксплуатационной документации на изделие. В результате был получен перечень объектов, подходящих для последующих работ анализа логистической поддержки. Перечень объектов был сформирован в структуру из трех подсистем и двадцати пяти элементов. Материалы статьи могут служить рекомендациями для работ анализа логистической поддержки на этапе разработки логистических структур.

Ключевые слова: интегрированная логистическая поддержка, анализ логистической поддержки, система технической эксплуатации, техническое обслуживание, логистическая структура изделия

DESIGNING A LOGISTIC STRUCTURE FOR THE LOGISTIC SUPPORT ANALYSIS

Akinfiev D.K.

*Limited Liability Company “Itorum”, Bronnitsy, Russian Federation,
e-mail: d.akinfiev@itorum.ru*

Logistic support analysis is a part of integrated logistic support as part of continuous acquisition and life cycle support. The main purpose of integrated logistics support is product lifecycle management. The logistic support analysis process serves as a tool for modeling maintenance systems. This article focuses on designing the logistic structure of the product. This is the basic stage for following work under the logistic support analysis. The purpose of the article is a description of the process of designing the logistic structure of the product and the formation of an example based on the car steering system. The article describes the methods of creating the logistic structure of the product, possible criteria for selecting the components of the product and selecting the elements of the logistic structure of the product. The operational documentation of URAL cars posted on the manufacturer's official website is used as the initial data for the development of the example. The logistic structure of a product generally consists of a product, its main functional systems and their subsystems, assembly units of various separation levels, units and parts. At the same time, the product, assembly units, units, and parts are physical objects, and the main functional systems and subsystems are abstract. When selecting the elements of the logistic structure, the nomenclature list of all components of the steering system of the Ural C35510 6x4 car, the schematic diagram of the steering system and hydraulic diagram of hydraulic drive, the list of maintenance work and possible failures taken from the operational documentation for the product were used. As a result, a list of objects suitable for following logistic support analysis was obtained. The list of objects was formed into a structure of three subsystems and twenty-five elements. The materials of the article can serve as recommendations for the logistic support analysis at the stage of designing of logistic structures.

Keywords: integrated logistics support, logistic support analysis, technical operation system, maintenance, logistic structure

Введение

При эксплуатации изделий техники выполняется трудоемкий и разнообразный комплекс мероприятий, связанный с их техническим обслуживанием, ремонтом и подготовкой к применению по назначению. Одним из основных требований, предъяв-

ляемых к системе технической эксплуатации (СТЭ) изделий, является нахождение нужного соотношения между готовностью изделий выполнять свои функции и затратами на их содержание [1].

Для поиска такого соотношения удобно применять модели СТЭ с различными па-

раметрами. Одним из инструментов такого моделирования является анализ логистической поддержки (АЛП) [2]. АЛП является частью интегрированной логистической поддержки (ИЛП) в рамках информационной поддержки изделия (называемой также CALS-технологиями). Основной целью ИЛП является управление жизненным циклом изделий, а основной целью АЛП – выбор СТЭ для рассматриваемых случаев [3, 4].

При проведении АЛП должны быть получены следующие результаты.

1. База данных АЛП, содержащая:
 - компоненты и функции изделия в виде логистических структур;
 - виды и последствия отказов изделия;
 - сведения о технологии и условиях выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР);
 - сведения о материально-техническом обеспечении (МТО);
 - структура и содержание эксплуатационной документации по ТОиР;
 - сведения об инфраструктуре СТЭ.
2. Значения показателей эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ), таких как:
 - коэффициент технической готовности;
 - коэффициент эксплуатационной готовности;
 - удельные прямые затраты на ТОиР для парка техники;
 - удельные суммарные затраты на ТОиР для парка техники;
 - коэффициент эксплуатационно-экономической эффективности [5, 6].

Процесс АЛП построен вокруг разработки планового технического обслуживания. При этом используются известные методики MSG-3 (Maintenance Steering Group-3) и RCM (Reliability-centered maintenance). Методика MSG-3 существует с 1980 г., ведется Airlines for America (A4A) [7]. Последнее обновление MSG-3 было в 2022 г. История RCM началась в 1978 г. с доклада Стенли Нолана и Говарда Хипа. Доклад также был посвящен разработке программ обслуживания авиатранспорта, однако в дальнейшем RCM получила свое развитие и в других отраслях промышленности, что описано в работе Джона Моубрея «Техническое обслуживание, обеспечивающее надежность» (издана на русском языке в 2018 г.) [8].

Полное описание процесса АЛП представлено в международном стандарте S30001 (последняя версия вышла в 2023 г.), который создан в 2006 г. и ведется международной группой под совместным председательством ASD (Европейская ассоциация аэрокосмической и оборонной промышленности) и AIA (Ассоциация аэрокосмической

промышленности США) [9]. В России развитие процесса АЛП ведется при участии АО НИЦ «Прикладная Логистика». Коллективом этой компании под руководством Е.В. Судова был опубликован ряд трудов на данную тему, в том числе «Анализ логистической поддержки: теория и практика» (издано в 2014 г.) [10].

Процесс АЛП состоит из ряда последовательно проводимых работ. В данной статье уделяется внимание построению логистической структуры изделия. Это один из начальных этапов АЛП, и этот этап является базовым для последующих работ АЛП. На нем определяются составные части (СЧ) изделия, которые будут рассматриваться далее в процессе анализа [11].

Логистическая структура – разновидность электронной структуры изделия, создаваемая в процессе АЛП в двух формах:

- логистическая структура функции (ЛСФ) определяет функциональные требования к изделию и представляет собой иерархическую структуру, при которой функции нижнего порядка влияют на функции верхнего;
- логистическая структура изделия (ЛСИ) определяет перечень систем и компонентов, которые реализуют функции, и представляет собой иерархическую структуру¹, при которой компоненты образуют функциональные группы.

Элементы ЛСИ отбираются в структуру по принципам, подобным изложенным в методиках MSG-3 и RCM [12, 13], и на основе исходных данных, таких как:

- материалы технического проекта и конструкторская документация;
- эксплуатационная документация;
- документация на изделия-аналоги и покупные комплектующие изделия;
- оценка/опрос специалистов, участвующих в разработке и эксплуатации изделия.

АЛП является циклическим, итеративным процессом и может проводиться на всех стадиях жизненного цикла изделия с уточнением результатов предыдущих итераций анализа [14, 15]. Если проводить АЛП на стадии разработки, то для достижения требуемых показателей готовности конструкторский состав изделия в процессе анализа должен быть исследован как можно более полно. Если при проведении АЛП на данном этапе нет возможности однозначно определить необходимость включения какой-либо составной части изделия в ЛСИ, то она рассматривается в процессе анализа до тех пор, пока не будет собрано убедительное количество информации, ко-

¹ ГОСТ Р 53394-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Термины и определения.

торое позволит принять обоснованное решение о включении или невключении [16]. А информация об изделии при проведении анализа на стадии разработки может быть неполной или обрывочной.

Для изделия уже разработанного и эксплуатируемого, как правило, существуют различные виды эксплуатационных документов, такие как руководство по эксплуатации, ремонту, каталог изделий и т.п. А также имеется статистика по отказам и другим событиям, случающимся в эксплуатации. Это может, при наличии таких данных, сильно упростить работы на данном этапе АЛП [17].

Цель исследования – описание процесса разработки ЛСИ и формирование примера на основе системы рулевого управления автомобиля.

Материалы и методы исследования

Анализ методов разработки ЛСИ, используемых при проведении АЛП и описанных в соответствующих стандартах и методиках. Разработка примера ЛСИ одной из систем автомобиля. В качестве исходных данных для разработки примера использовалась эксплуатационная документация автомобилей «Урал», размещенная на официальном сайте производителя (<https://shop.uralaz.ru/docs/>).

Результаты исследования и их обсуждение

Логистическая структура изделия является разновидностью электронной структуры изделия и представляет собой иерархическую систему, в которой изделие делится

на основные функциональные системы. Согласно международному стандарту ASD S1000D [18], базовому нормативному документу, на основе которого осуществляется разработка и сопровождение электронной эксплуатационной документации в среде ИЛП [19], для наземной техники основными функциональными системами могут быть:

- агрегат силовой;
- органы управления;
- трансмиссия;
- электрические системы;
- системы вентиляции, обогрева и охлаждения и др.

Системы могут быть разбиты на подсистемы. Функциональная система «Органы управления» может включать в себя:

- ручные органы управления;
- ножные органы управления;
- вспомогательные органы управления.

Пример ЛСИ, включающей элементы верхнего уровня, в основном абстрактные системы, показан на рис. 1.

К ручным органам управления автомобиля относится рулевое управление. Рулевое управление является не абстрактной системой, а конкретной сборочной единицей и включает в себя физические компоненты, такие как агрегаты и детали.

Структура ЛСИ, начиная с уровня, на котором описываются физические компоненты изделия, строится с учетом принадлежности компонентов к системам и подсистемам изделия, входности компонентов друг в друга и их расположения в конструкции изделия (одни и те же компоненты, расположенные в разных местах, могут быть разными элементами ЛСИ по месту установки).

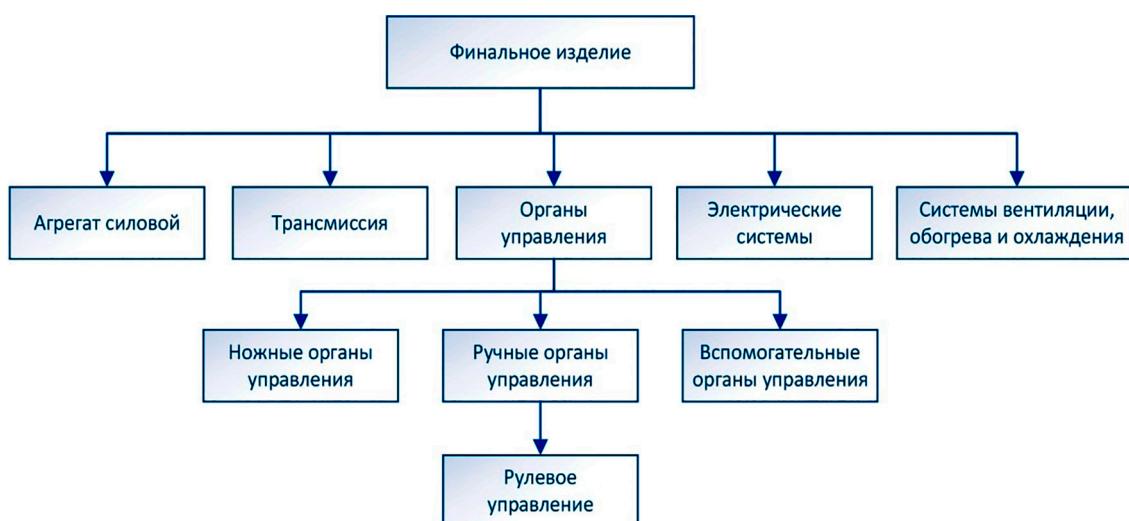


Рис. 1. Элементы ЛСИ верхнего уровня
Примечание: составлен автором по источнику [18]

Необходимо ответить на вопрос о том, какие СЧ изделия из системы рулевого управления должны войти в ЛСИ. Логистическая структура отличается от конструкторского состава тем, что в нее входят не все компоненты изделия, а только используемые для разработки программы ТОиР и последующего моделирования СТЭ. В первую очередь в ЛСИ включаются крупные агрегаты, которые могут сниматься непосредственно с изделия. Разбиение их на составные части в структуре зависит от ремонтопригодности каждого из них или целесообразности ремонта на низких уровнях объектов СТЭ. При выделении составных частей у одного из агрегатов также необходимо понимать, какие СЧ могут быть задействованы в работах ТОиР (например, на основе данных об изделиях аналогах) или же могут отказывать с некоторой частотой [20].

Критериями включения компонентов изделия в ЛСИ могут быть²:

- ограниченный срок службы;
- поставщик рекомендует плановое обслуживание;
- в конструкции используются новые технологии;
- риск устаревания;
- потребность в обслуживании или замене при эксплуатации;
- встроенное ПО, загружаемое пользователем.

Крепежные элементы и стандартные изделия, как правило, не включают в ЛСИ, относя их к СЧ или системам, в которых они используются.

На примере автомобиля «Урал С35510 6x4» была рассмотрена система рулевого управления. При отсутствии данных о статистике отказов использовалась доступная эксплуатационная документация. Согласно каталогу изделия, система рулевого управления автомобиля «Урал С35510 6x4» состоит из 134 разъемных компонентов, включающих в себя сборочные единицы, детали и стандартные изделия. Основными сборочными единицами являются «Установка рулевого управления» и «Установка рулевой колонки».

Основные детали, входящие в установку рулевого управления:

- шарнир вала рулевого управления;
- механизм рулевого управления;
- тяга сошки.

Основные детали, входящие в установку рулевой колонки:

- рулевое колесо;

- колонка рулевого управления;
- втулка шлицевая с шарниром.

Согласно руководству по эксплуатации изделия рулевое управление имеет принципиальную схему основных рабочих механизмов и гидравлическую схему гидропривода.

Принципиальная схема рулевого управления включает в себя:

- колесо рулевое многофункциональное;
- гайка крепления рулевого колеса;
- колонка рулевого управления;
- рулевой механизм с сошкой;
- болтовое соединение;
- тяга.

Гидравлическая схема гидропривода включает в себя:

- рулевой механизм;
- нагнетательный трубопровод;
- насос;
- всасывающий трубопровод;
- бак масляный;
- сливной трубопровод.

Техническое обслуживание рулевого управления для всех видов ТО предусматривает:

- осмотр и проверку исправности соединения рулевых тяг, люфта в соединениях рулевого привода, крепления вилок карданных валов, герметичности системы, вращение, возврат в исходное положение и люфт рулевого колеса;
- проверка уровня масла в масляном баке;
- проверка крепления рулевого механизма к кронштейну и кронштейна к раме;
- проверка затяжки гаек крепления тяг рулевого управления;
- проверка состояния резиновых чехлов шарниров рулевых тяг;
- проверка люфта в наконечниках рулевых тяг;
- проверка на наличие повреждений хомута и шарового пальца поперечной рулевой тяги;
- проверка надежности крепления трубопроводов в местах укладки по шасси.

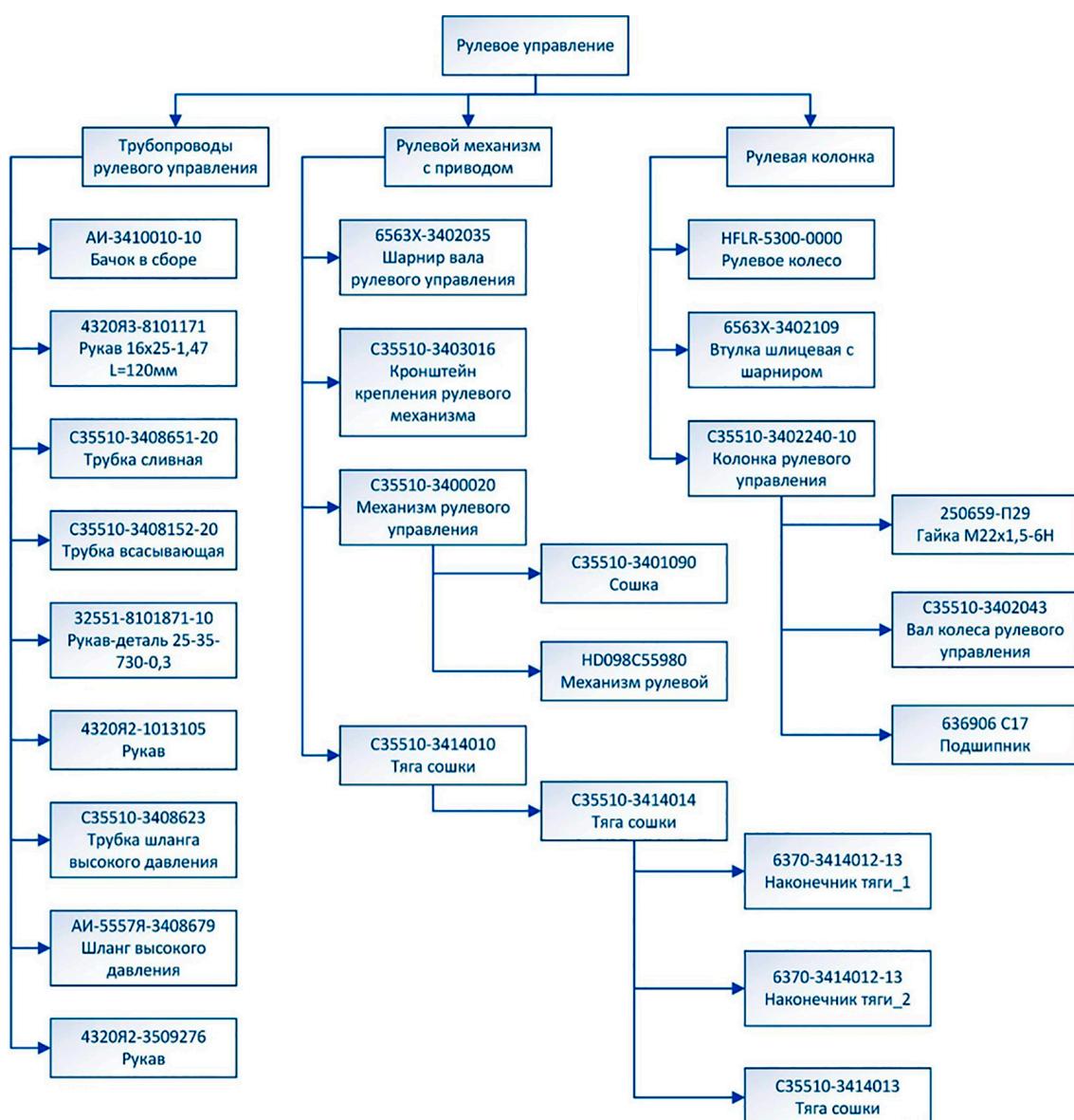
Возможные виды отказов рулевого управления включают в себя³:

- износ деталей шарниров рулевых тяг, шлицевых втулок карданного привода руля;
- ослабление крепления рулевого механизма;
- ослабление крепления рулевого колеса на валу;
- недостаточный уровень масла в бачке гидросистемы рулевого управления;
- потеря подвижности шлицевого соединения карданного вала рулевого управления;

² Методические указания. Руководство по проведению анализа логистической поддержки изделий авиационной техники // НИЦ «Прикладная Логистика». 2010. [Электронный ресурс]. URL: <https://cals.ru/sites/default/files/downloads/lss/ils.pdf> (дата обращения: 19.11.2025).

³ Автомобили «Урал-С3» и их модификации. Руководство по эксплуатации С35510-3902035-01 РЭ (издание первое) // АО «АЗ «Урал». 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://shop.uralaz.ru/upload/iblock/480/gang7e6c2496ozcwn046cwioarb5xd8.pdf> (дата обращения: 19.11.2025).

- засорен фильтр тонкой очистки масляного бака;
- задиры на опорных поверхностях золотника;
- неправильно отрегулированы гидравлические клапаны ограничения давления конечных положений;
- неисправен насос или модель насоса не соответствует модели автомобиля, насос не обеспечивает требуемой производительности и давления;
- засорение сетчатого фильтра грубой очистки;
- чрезмерно высок уровень масла;
- засорен сапун;
- воздух в гидросистеме рулевого управления;
- передняя ось / подшипники поворотного кулака имеют тяжелый ход;
- тяжелый ход рулевой колонки;
- слишком высокое давление в нагнетающей системе;
- ослаблено крепление кронштейна рулевого механизма;
- напорный трубопровод пережат или перекручен, в систему проходит воздух или уровень жидкости мал;
- износ рулевого насоса;
- трение механических частей рулевого механизма друг о друга.



*Рис. 2. ЛСИ рулевого управления
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования*

По результатам анализа составные части рулевого управления были сгруппированы в три подгруппы, принятые по основным сборочным единицам и гидравлической схеме гидропривода:

- трубопроводы рулевого управления (9 элементов ЛСИ);
- рулевой механизм с приводом (10 элементов ЛСИ);
- рулевая колонка (6 элементов ЛСИ).

Компоненты в подгруппы выбирались на основе описанных критериев отбора, а также рекомендаций планового обслуживания изделия и перечня возможных отказов, описанных в эксплуатационной документации.

Подробная ЛСИ рулевого управления показана на рис. 2.

Заключение

В данной работе описаны основные принципы, применяемые при разработке логистических структур, выполнено построение ЛСИ, представлены как элементы верхнего уровня, так и разбиение сборочных единиц на компоненты.

Выбор компонентов для ЛСИ является предварительным анализом изделия при выполнении АЛП. Информация об изделии и его составных частях часто имеет неоднородный характер. Причинами этого являются:

- неполная информация об изделии на стадии разработки;
- отсутствие на конкретном этапе жизненного цикла изделия разработанной и информативной эксплуатационной документации;
- отсутствие единого подхода по мониторингу эксплуатации изделия;
- неоднородный характер данных, получаемых с мест эксплуатации и точек обслуживания.

Соответственно, разными также могут быть и исходные данные для разработки ЛСИ. В результате исследования были рассмотрены основные принципы построения ЛСИ на примере системы рулевого управления автомобиля «Урал С35510 6x4» с помощью эксплуатационной документации на изделие. Проведен выбор объектов, подходящих для последующих работ анализа логистической поддержки. Перечень объектов был сформирован в структуру из трех подсистем и двадцати пяти элементов. Материалы статьи могут служить рекомендациями для работ АЛП на этапе разработки логистических структур.

Список литературы

1. Любимов В.А. Комплексная оценка готовности сложного технического объекта // Известия ТулГУ. Техни-

ческие науки. 2021. № 9. С. 137–140. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-otsenka-gotovnosti-slozhnogo-tehnicheskogo-obekta> (дата обращения: 19.11.2025). DOI: 10.24412/2071-6168-2021-9-137-140.

2. Веретенина С.В. Выявление факторов управления стоимостью интегрированной логистической поддержки ситуационной модели экспорта // Инновации и инвестиции. 2023. № 7. С. 279–284. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyyavlenie-faktorov-upravleniya-stoimostyu-integrirovannoy-logisticheskoy-podderzhki-situatsionnoy-modeli-eksporta> (дата обращения: 19.11.2025).

3. Косенков О.И., Лагунов С.А., Гусев В.И. К вопросу о внедрении технологий управления жизненным циклом вооружения и военной техники в деятельность органов военного управления // Военная мысль. 2020. № 11. С. 102–110. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-vnedenii-tehnologiy-upravleniya-zhiznennym-tsiklom-vooruženiya-i-voennoy-tehniki-v-deyatelnost-organov-voennogo> (дата обращения: 19.11.2025).

4. Рубинов В.И., Чистилин Д.А., Воробьев В.А. Внедрение систем интегрированной логистической поддержки изделий авиационной техники // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 5 (5). С. 94–98. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-sistem-integrirovannoy-logisticheskoy-podderzhki-izdeliy-aviatsionnoy-tehniki> (дата обращения: 19.11.2025).

5. Лагунов С.А., Артеменко В.Б., Исаев Р.А. Предложения по архитектуре информационной системы управления жизненным циклом техники железнодорожных войск // Военная мысль. 2019. № 11. С. 78–87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predlozheniya-po-arhitekture-informatsionnoy-sistemy-upravleniya-zhiznennym-tsiklom-tehniki-zheleznydorozhnyh-voysk> (дата обращения: 19.11.2025).

6. Короленко В.В., Грибанов В.В., Дорошенко А.Б. Информационное обеспечение анализа логистической поддержки изделий авиационной техники // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 6 (6). С. 83–93. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnoe-obe-spichenie-analiza-logisticheskoy-podderzhki-izdeliy-aviatsionnoy-tehniki> (дата обращения: 19.11.2025).

7. MSG-3: Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development (Vol. 1 – Fixed Wing Aircraft and Vol. 2 – Rotorcraft). Revision 2022.1. Airlines for America. 2022. URL: <https://publications.airlines.org/products/msg-3-operator-manufacturer-scheduled-maintenance-development-volume-1-fixed-wing-aircraft-revision-2022-1> (дата обращения: 19.11.2025).

8. Моубрей Д. Техническое обслуживание, ориентированное на надежность / пер. с англ. К.А. Зырянов, В.С. Смирнов; под. ред. К.А. Зырянова. Екатеринбург: К.А. Зырянов, 2018. 448 с. ISBN 978-5-6042031-0-1.

9. S3000L. International procedure specification for Logistics Support Analysis (LSA). ASD. 2024. URL: <https://umbraco.asd-europe.org/media/oajimmmc/s3000l-issue-21.pdf> (дата обращения: 19.11.2025).

10. Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.Н. и др. Анализ логистической поддержки: теория и практика. М.: ИнформБюро, 2014. 258 с. ISBN 978-5-904481-21-6.

11. Рыченков Д.Б. Современные методики выбора функционально значимых элементов радиоэлектронного оборудования воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213 (3). С. 105–110. URL: <https://avia.mstuca.ru/jour/article/view/456/382> (дата обращения: 19.11.2025).

12. Спиченко И.В. Логика построения системы технического обслуживания и ремонта авиационной техники на основе опыта использования MSG-3 // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 213 (3). С. 111–114. URL: <https://avia.mstuca.ru/jour/article/view/457/383> (дата обращения: 19.11.2025).

13. Измайлов М.К. Стратегия предупреждения поломки основных средств предприятия на основе автоматизации процесса управления ими // Beneficium. 2020. № 3 (36). URL: <https://beneficium.pro/index.php/beneficium/article/view/>

- BENEFICIUM.2020.3%2836%29.4-11/103 (дата обращения: 19.11.2025). DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2020.3(36).4-11.
14. Казьмина И.В., Дерканосова А.А. Особенности логистического обеспечения высокотехнологичного предприятия // Вестник ВГУИТ. 2020. № 1 (83). С. 333–339. URL: <https://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/article/view/2404/3440> (дата обращения: 19.11.2025).
15. Малышина Н.А. Основы механизма интегрированной логистической поддержки системы услуг в индустрии культуры // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право. 2015. № 3. С. 309–314. URL: https://eup.sgu.ru/sites/eup.sgu.ru/files/text-pdf/2024/04/3-2015_ekonomika-77-82.pdf (дата обращения: 19.11.2025). DOI: 10.18500/1994-2540-2015-15-3-309-314.
16. Акинфиев Д.К. Значимость логистических структур при проведении анализа логистической поддержки // Научный резерв. 2020 № 4 (12). С. 13–18. EDN: QQKNCP.
17. Акинфиев Д.К., Власов А.О. Интегрированная логистическая поддержка – как механизм совершенствования регламента технического обслуживания и ремонта // Научный резерв. 2021. № 2 (14). С. 39–44. EDN: FOHVFH.
18. АС 1.1.S1000DR–2014. Авиационный справочник. Международная спецификация на технические публикации, выполняемые на основе общей базы данных. М.: ФГУП «НИИСУ», 2014. URL: https://cals.ru/sites/default/files/downloads/ndocs/S1000DR_2014.pdf (дата обращения: 19.11.2025).
19. Строев В.В. Анализ нормативной базы цифровизации управления разработкой и производством высокотехнологичной продукции // ЕГИ. 2022. № 2 (40). С. 269–276. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-normativnoy-bazy-tsifrovizatsii-upravleniya-razrabotkoy-i-proizvodstvom-vysokotehnologichnoy-produktsii> (дата обращения: 19.11.2025).
20. Антоненко И.Н. Методология RCM: ретроспектива и перспектива надежностно-ориентированного технического обслуживания // Энергия единой сети. 2019. № 1 (43). С. 34–46. URL: https://energия-единой-сети.pdf/wp-content/uploads/2019/03/05_anthonenko_ntc_ees_1_43.pdf (дата обращения: 19.11.2025).

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.