МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 62550— 2025

Надежность в технике

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ

(IEC 62550:2017, Spare parts provisioning, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 119 «Надежность в технике»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 октября 2025 г. № 190-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Азербайджан	AZ	Азстандарт
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 декабря 2025 г. № 1785-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 62550—2025 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2026 г.

Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 62550:2017 «Обеспечение запасными частями» («Spare parts provisioning», IDT)

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6).

Дополнительные сноски в тексте стандарта, выделенные курсивом, приведены для пояснения текста оригинала

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© IEC, 2017
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 1
4 Основные положения 5
5 Прогнозирование количества запросов 10
6 Определение необходимого количества запасных частей 13
7 Документация по запасным частям 25
8 Управление поставками 28
Приложение А (справочное) Прогнозирование запросов 32
Приложение В (справочное) Показатели результативности 35
Приложение С (справочное) Пример: оценка необходимого количества запасных частей и оптимизация запасов на складе 40
Библиография 44

Введение

Обеспечение запасными частями — это процесс планирования состава и количества необходимых запасных частей с учетом требований к системе и особенностей ее технического обслуживания и ремонта.

Обеспечение запасными частями является важным компонентом эффективной технической поддержки. Если необходимые составные части отсутствуют при проведении планового технического обслуживания или ремонта, продолжительность простоя увеличивается. При наличии слишком большого количества запасных частей организация несет чрезмерные затраты.

Планирование и поставка запасных частей для достижения бизнес-целей организации основаны на обеспечении наличия нужной запасной части, в нужном количестве, в нужное время, в нужном месте.

Обеспечение запасными частями является необходимым условием выполнения всех задач технического обслуживания, таких как замена отказавших составных частей и ремонт системы. Запасные части для задач корректирующего технического обслуживания поставляют через случайные промежутки времени так, чтобы обеспечить постоянную готовность системы. Для профилактического обслуживания и обслуживания по техническому состоянию могут быть использованы замены составных частей через фиксированные или приблизительно равные периоды времени. Координация запросов запасных частей с их поставкой в требуемое время является важной задачей.

Такие методологии, как интегрированная логистическая поддержка (ILS) и вспомогательный анализ логистической поддержки (LSA), позволяют получить необходимую информацию для обеспечения запасными частями. Эта информация включает в себя структуру декомпозиции системы, концепцию технического обслуживания и концепцию поставок. Оптимизация обеспечения запасными частями охватывает задачи, позволяющие получить ответы на следующие вопросы:

Какие запасные части должны храниться в организации, выполняющей техническое обслуживание, а какие — у поставщика?

Сколько запасных частей каждого вида должно быть на складе?

Оптимизация обеспечения запасными частями основана на методах исследования эксплуатации и выбранных методах обеспечения безотказности и может быть выполнена аналитически или с использованием методов моделирования Монте-Карло. Процесс оптимизации направлен на то, чтобы сбалансировать затраты на хранение запасных частей с вероятностью отсутствия необходимых запасных частей и связанными с этим потерями.

До заказа запасных частей и материалов следует уточнить последовательность и процедуры закупки необходимых запасных частей и материалов, управления ими и их хранения. Кроме того, должна быть составлена и конкретизирована общая концепция поставок.

Все вовлеченные организации от производства до закупок, хранения и технического обслуживания должны иметь полную прозрачность в отношении наличия запасных частей и материалов и возможных сроков завершения выполнения задачи. Планируемые материальные затраты на выполнение задачи следует сравнить с фактическими затратами. Эти затраты документируют и формируют основу планирования контролируемых запасных частей и материалов. С помощью этого процесса может быть оптимизировано обеспечение запасными частями для удовлетворения требований к готовности при минимальных запасах запасных частей и материалов.

Настоящий стандарт дополняет ГОСТ 27.507 общими принципами формирования политики управления запасами и создания системы обеспечения запасными частями и материалами в организации. Применение этих принципов позволяет оптимизировать затраты организации на обеспечение запасными частями с учетом эксплуатационных требований к запасным частям, системам, оборудованию, а также требований к количеству и квалификации персонала. Настоящий стандарт рекомендует внедрение экономичных методов поставок и хранения запасных частей за счет более гибкого взаимодействия с поставщиками и организациями, выполняющими ремонт. Настоящий стандарт побуждает организации к применению таких методов, как анализ уровня ремонта (LORA), анализ логистической поддержки (LSA), анализ риска, управление устареванием и, таким образом, помогает организации в создании более экономичных и результативных способов обеспечения запасными частями и материалами. Настоящий стандарт предназначен для широкого применения, особенно для вновь создаваемых и модернизируемых систем обеспечения запасными частями.

Стандарт применим во всех отраслях промышленности, где возможность сопровождения объекта оказывает существенное влияние на его надежность в течение жизненного цикла.

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Надежность в технике

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ

Dependability in technics.
General requirements for the spare parts provisioning

Дата введения — 2026—07—01

1 Область применения

В настоящем стандарте установлены требования к обеспечению запасными частями как части действий по обеспеченности техническим обслуживанием, которые влияют на показатели надежности и способствуют поддержанию непрерывной эксплуатации продукции, оборудования и систем в соответствии с их предполагаемым применением.

Настоящий стандарт предназначен для использования широким кругом поставщиков, организаций, выполняющих техническую поддержку, и пользователей и может быть применен к любым объектам.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте нормативные ссылки отсутствуют.

3 Термины, определения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

ISO и IEC ведут терминологические базы данных для использования в области стандартизации по следующим адресам:

- Электропедия IEC: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru ;
- платформа онлайн-просмотра ISO: доступна по адресу gost.e-ecolog.ru .

Примечание — Некоторые термины, приведенные в IEC 60050-192, также включены в настоящий стандарт для удобства пользователей.

3.1 Термины и определения

3.1.1 **расходные материалы** (consumables): Любой невосстанавливаемый объект, который можно периодически заменять и который, как правило, не является самостоятельно функционирующим изделием.

Пример — Масло, смазочные материалы, гайки, болты и винты, прокладки и т. п.

Примечание — Как правило, расходные материалы имеют относительно низкую стоимость.

3.1.2 **корректирующее техническое обслуживание** (corrective maintenance): Техническое обслуживание, выполняемое после обнаружения неисправности для восстановления объекта.

Примечание — Корректирующее обслуживание программного обеспечения неизменно включает в себя некоторые его модификации.

[IEC 60050-192:2015, 192-06-06]

Издание официальное

3.1.3 **отказ <объекта>**[1)] (failure): Событие, заключающееся в утрате объектом способности работать в соответствии с установленными требованиями.

Примечание 1 — Отказ объекта — это событие, вызванное неисправным состоянием объекта. См. неисправность [IEC 60050-192:2015, 192-04-01].

Примечание 2 — Для классификации отказов могут быть использованы такие определения, как катастрофический (аварийный), критический, существенный, несущественный и незначительный, в соответствии с важностью последствий отказов, выбором и определением критериев значимости отказов в зависимости от области применения объекта.

Примечание 3 — Наряду с другими причинами отказа такие причины, как применение не по назначению, нарушение требований эксплуатации и износ, могут быть использованы для классификации отказов в соответствии с причиной отказа.

[IEC 60050-192:2015, 192-03-01]

3.1.4 **уровень декомпозиции** (indenture level): Уровень разделения системы на составные части при представлении системы в виде иерархической схемы.

Пример — Система, подсистемы, сборочные единицы, компоненты.

Примечание — С точки зрения технического обслуживания уровень декомпозиции зависит от различных факторов, включая сложность конструкции объекта, доступность составных частей, профессионализма персонала, особенностей испытательного оборудования и данные анализа безопасности.

[IEC 60050-192:2015, 192-01-05]

3.1.5 **интегрированная логистическая поддержка (объекта) ILS** (integrated logistic support ILS): Процесс менеджмента, направленный на определение и координацию предоставления всех частей, материалов и ресурсов, необходимых для эксплуатации и технического обслуживания объекта.

[IEC 60050-192:2015, 192-01-30]

3.1.6 **объект**[2)] (item): Предмет рассмотрения.

Примечание 1 — Объект может быть отдельной составной частью, компонентом, устройством, функциональным блоком, оборудованием, подсистемой или системой.

Примечание 2 — Объект может включать в себя аппаратные средства, программное обеспечение, людей или любую комбинацию перечисленного.

[IEC 60050-192:2015, 192-01-01, изменено — исключены внутренние ссылки и примечания 3, 4 и 5]

3.1.7 **уровень технического обслуживания** (level of maintenance, maintenance level): Набор действий технического обслуживания, которые необходимо выполнять на определенном уровне декомпозиции.

[IEC 60050-192:2015, 192-06-04]

3.1.8 **непосредственно заменяемый объект, LRI** (line replaceable item, LRI): Аппаратный или программный блок, который может быть заменен на оборудовании непосредственно пользователем или службой технической поддержки.

Примечание — В некоторых проектах вместо LRI применен термин «непосредственно заменяемый блок» (LRU).

3.1.9 **техническое обслуживание**[3)] (maintenance): Комплекс всех организационных мероприятий и технических действий, направленных на сохранение такого состояния объекта, в котором он может выполнять требуемые функции, или восстановление объекта до состояния, в котором он может выполнять требуемые функции.

Примечание — Предполагается, что организационные мероприятия включают в себя надзорную деятельность.

[IEC 60050-192:2015, 192-06-01]

3.1.10 **политика технического обслуживания, концепция технического обслуживания** (maintenance policy, maintenance concept): Определение целей технического обслуживания, направле-

---

[1)] *См. также ГОСТ 27.002—2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (пункт 3.4.1).*

[2)] *См. также ГОСТ 27.002—2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (пункт 3.1.1).*

[3)] *См. также ГОСТ 27.002—2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (пункт 3.5.2).*

ния действий технического обслуживания, уровней декомпозиции, уровней технического обслуживания, поддержки технического обслуживания и их взаимосвязей.

Примечание — Политика технического обслуживания обеспечивает основу для планирования технического обслуживания, определения требований к обеспеченности техническим обслуживанием и разработки материально-технической поддержки.

[IEC 60050-192:2015, 192-06-02]

3.1.11 **линия технического обслуживания, эшелон технического обслуживания** (line of maintenance, maintenance echelon): Место в организационной структуре, где должны быть выполнены установленные уровни технического обслуживания.

Пример — 1-й эшелон — эксплуатация; 2-й эшелон — ремонтная организация; 3-й эшелон — средства изготовителя.

Примечание — Линия технического обслуживания характеризуется уровнем квалификации персонала, имеющимися средствами, местоположением и т. д.

[IEC 60050-192:2015, 192-06-03]

3.1.12 **обеспечение техническим обслуживанием** (maintenance support): Обеспечение объекта техническим обслуживанием с необходимыми ресурсами.

Примечание — Ресурсы включают в себя человеческие ресурсы, вспомогательное оборудование, материалы и запасные части, средства технического обслуживания, документацию и информацию, а также информационные системы технического обслуживания.

[IEC 60050-192:2015, 192-01-28]

3.1.13 **действие по техническому обслуживанию, задача технического обслуживания** (maintenance action, maintenance task): Последовательность элементарных действий технического обслуживания.

Пример — Локализация неисправности, диагностика неисправности, ремонт и проверка работоспособности.

[IEC 60050-192:2015, 192-06-11]

3.1.14 **неремонтопригодный объект**[1)] (non-repairable item): Объект, который в заданных условиях после отказа не может быть возвращен в состояние, в котором он может функционировать в соответствии с требованиями.

Примечание 1 — Заданные условия могут включать технические, экономические и другие условия.

Примечание 2 — Объект, неремонтопригодный в некоторых условиях, может быть ремонтопригодным в других условиях.

[IEC 60050-192:2015, 192-01-12]

3.1.15 **устаревание**[2)] (obsolescence): Переход объекта из категории объекта, доступного для приобретения у изготовителя, в категорию объекта, приобретение которого у изготовителя невозможно, или частое изменение состояния объекта от пригодности к эксплуатации к невозможности функционирования без внешних причин.

3.1.16 **профилактическое техническое обслуживание** (preventive maintenance preventative maintenance): Техническое обслуживание, проводимое профилактически для снижения интенсивности деградации и вероятности отказа.

[IEC 60050-192:2015, 192-06-05, изменено — исключено примечание 1]

3.1.17 **ремонтопригодный объект** (repairable item): Объект, который в заданных условиях после отказа может быть возвращен в состояние, в котором он может выполнять требуемые функции.

Примечание 1 — Заданные условия могут включать технические, экономические и другие обстоятельства.

Примечание 2 — Объект, который подлежит ремонту в некоторых условиях, может не подлежать ремонту в других условиях.

[IEC 60050-192:2015, 192-01-11]

[1)] *См. также ГОСТ 27.002—2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (пункт 3.5.11).*

[2)] *В ряде национальных стандартов Российской Федерации термин «устаревание» также означает, что объект перестает удовлетворять современным требованиям.*

3.1.18 **запасная часть**[1)] (spare part): Компонент или составная часть, ремонтопригодная или неремонтопригодная, из соответствующей спецификации, используемая для технического обслуживания или ремонта машин и оборудования.

3.1.19 **склад**[2)] (stock position): Любое место, где располагают запасные части для их хранения и учета.

Примечание — Термины «хранение» и «учет» запасных частей, как правило, взаимосвязаны.

3.1.20 **обеспеченность объекта техническим обслуживанием** (supportability): Возможность поддержки объекта, обеспечивающей требуемую готовность объекта с определенными эксплуатационными показателями и предоставлением ресурсов для логистики и технического обслуживания.

Примечание — Обеспеченность техническим обслуживанием объекта обусловлена присущей ему ремонтопригодностью в сочетании с внешними по отношению к объекту факторами, которые влияют на относительную простоту обеспечения требуемого технического обслуживания и логистической поддержки.

[IEC 60050-192:2015, 192-01-31, изменено — отсутствует внутренняя ссылка]

3.1.21 **система**[3)] (system): <в надежности> Набор взаимосвязанных объектов, которые совместно удовлетворяют требованиям.

Примечание 1 — Предполагается, что система имеет определенную реальную или абстрактную границу.

Примечание 2 — Для работы системы могут потребоваться внешние ресурсы (вне границ системы).

Примечание 3 — Структура системы может быть иерархической, например, система, подсистема, компонент и т. д.

Примечание 4 — Условия использования и технического обслуживания должны быть выражены или подразумеваться в виде требований.

[IEC 60050-192:2015, 192-01-03]

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

CS — система обмена информацией (communication system);
DCN — сеть обмена данными (data communication network);
DTN — сеть передачи данных (data transport network);
EBO — среднее количество невыполненных запросов (expected backorders);
FR — интенсивность удовлетворения запросов (fill rate);
ILS — интегрированная логистическая поддержка (integrated logistic support);
IP — первоначальная поставка (initial provisioning);
IPC — иллюстрированный каталог запчастей (illustrated parts catalogue);
IPD — исходные данные поставок (Initial provisioning data);
LORA — анализ уровня ремонта (level of repair analysis);
LRI/LRU — непосредственно заменяемый объект/непосредственно заменяемый блок (line replaceable item/line replaceable unit);
MAD — средняя продолжительность административного простоя (mean administrative delay);
MoE — показатели результативности (measures of effectiveness);
MDT — средняя продолжительность неработоспособного состояния (mean down time);
MLD — средняя продолжительность логистического простоя (mean logistic delay);
MRT — средняя продолжительность ремонта (mean repair time);
MTBF — средняя наработка между отказами (mean operating time between failures);
MTBR — среднее время между заменами (mean time between replacements);
MTD — средняя продолжительность технического простоя (mean technical delay);

[1)] *См. также ГОСТ 27.002—2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (пункт 3.5.14).*

[2)] *Складом могут быть специальные здания, строения, сооружения, помещения, открытые площадки или их части, обустроенные для целей хранения товаров и выполнения складских операций. К складским операциям относят операции по приему, сортировке, комплектации, упаковке, отпуску, отгрузке.*

[3)] *См. также ГОСТ 27.002—2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (пункт 3.1.3).*

MTTF — среднее время до отказа (mean time to failure);
MTTR — среднее время до восстановления (mean time to restoration);
MWT — среднее время ожидания (mean waiting time);
NFF — неисправность не найдена (no fault found);
NI — не проиллюстрирован (not illustrated);
NOR — нет готовности к работе (not operationally ready);
OEM — изготовитель оригинального оборудования (original equipment manufacturer);
QPNHA — количество для сборки следующего, более высокого, уровня (quantity per next higher assembly);
ROS — риск дефицита (risk of shortage);
TAT — время оборота (turn-around time);
TT — время транспортировки (transportation time).

4 Основные положения

4.1 Участники и основные этапы процесса обеспечения запасными частями

Элементы (составные части, компоненты), предназначенные для замены при проведении технического обслуживания и ремонта, являются запасными частями. Хранение запасных частей — часть комплексного процесса обеспечения материальными ресурсами, который гарантирует, что необходимые для технического обслуживания запасные части будут доставлены в необходимом количестве, в соответствующий момент времени и в нужном месте.

Настоящий стандарт применим ко всем видам продукции, оборудования и систем (в том числе к аппаратному обеспечению со связанным с ним программным обеспечением). Большая часть из перечисленных объектов требует определенного уровня технического обслуживания для обеспечения требуемой функциональности, надежности, возможностей, а также экономических требований, требований безопасности и нормативных требований.

На готовность поддерживаемой системы влияет общая результативность технического обслуживания. Таким образом, готовность системы можно рассматривать как общую цель обеспечения системы запасными частями. Воздействие устаревания также следует рассматривать как влияющий фактор (см. IEC 62402).

Оператор, выполняющий техническое обслуживание объекта, должен обеспечивать высокий уровень обслуживания и функционирования. Организация, выполняющая техническое обслуживание, несет ответственность за результативность, затраченное время и стоимость работ по техническому обслуживанию. Обзор сферы ответственности и целей, а также основных этапов процесса обеспечения запасными частями показан на рисунке 1.

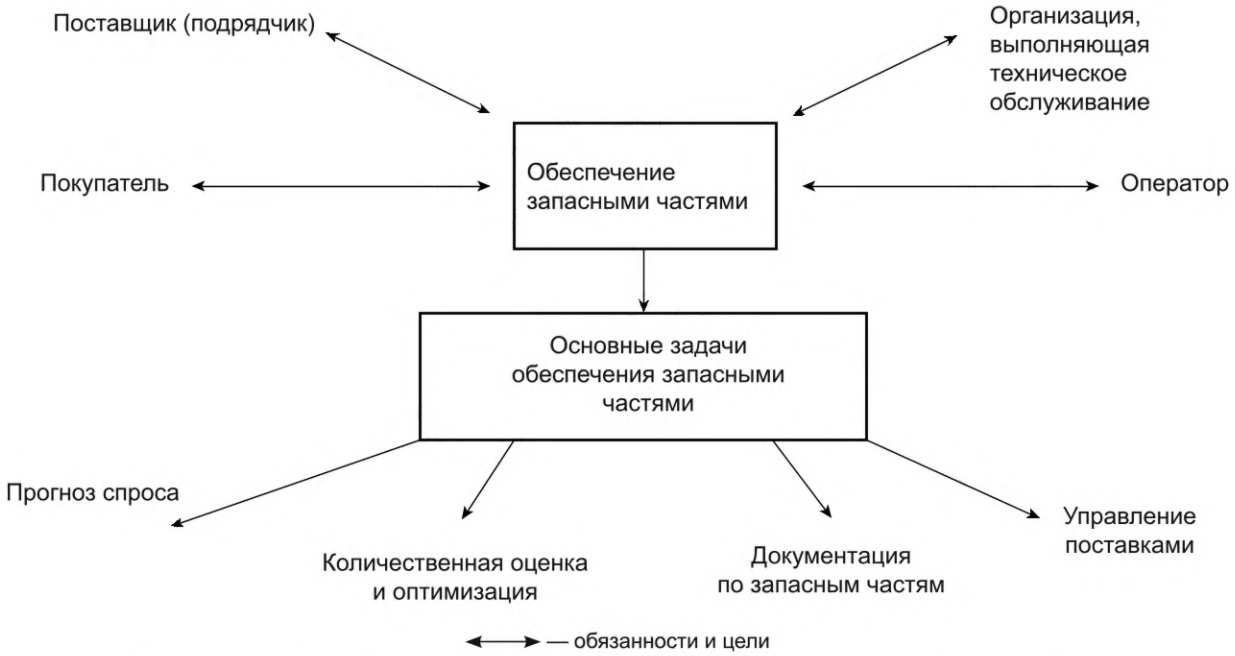


Рисунок 1 — Участники и основные этапы процесса обеспечения запасными частями

Для удовлетворения запросов на запасные части необходимо рассмотреть следующее:

- какие запасные части необходимы;
- сколько запасных частей должно быть на складе;
- где следует хранить запасные части;
- когда и с какой периодичностью следует заказывать запасные части;
- какое решение является наиболее экономичным для всех участников.

В таблице 1 в качестве примера указаны обязанности, цели и показатели для различных участников.

Таблица 1 — Ответственность, цели и показатели поставщиков запасных частей, организаций, выполняющих техническое обслуживание, операторов и пользователей

	Поставщик запасных частей	Организация, выполняющая техническое обслуживание	Оператор/пользователь[1)]
Ответственность	Наличие соответствующих запасных частей; качество поставляемых объектов; качество обслуживания поставок; сертификация объектов (при необходимости)	Высокая готовность обслуживаемых объектов; высокое качество технического обслуживания	Высокая эксплуатационная готовность
Цель	Прибыль от поставки запасных частей	Обеспечение успешного восстановления системы; прибыль организации, выполняющей техническое обслуживание	Оператор: преимущества от эксплуатации и готовности. Пользователь: высокое качество обслуживания
Показатели	Уровень услуг; затраченное время	Продолжительность неработоспособного состояния системы; затраты на техническое обслуживание; качество ремонта	Готовность системы; качество обслуживания

[1)] *Оператор — сотрудник эксплуатирующей организации; пользователь — физическое лицо, использующее объект.*

4.2 Типы запасных частей

Для выполнения большей части задач технического обслуживания необходимы материалы и запасные части. Когда составная часть выходит из строя, ее заменяют новой или отремонтированной[1)]. Время, необходимое для замены, зависит от концепции технического обслуживания. Если вышедшая из строя составная часть ремонтопригодна, ее можно отремонтировать на месте или при извлечении из ремонтируемого объекта в другом предусмотренном месте. Политика ремонта объекта путем замены отказавших составных частей требует, чтобы готовые к использованию запасные части были доступны в момент возникновения отказа.

Во время технического обслуживания некоторые объекты, называемые расходными материалами, не могут быть использованы повторно. Другие объекты, называемые запасными частями, разделяют на две группы:

- ремонтопригодные запасные части;
- неремонтопригодные запасные части.

В идеале ремонтопригодные запасные части могут быть отремонтированы в каждом конкретном случае. В некоторых случаях, например, когда ремонт экономически нецелесообразен или технически невозможен, или когда надежность запасной части снизилась в результате выполнения некоторого количества ремонтных работ, запасную часть заменяют новой.

Во многих проектах, особенно для крупных систем, ремонтопригодные запасные части могут составлять значительную долю первоначальных инвестиций в запасные части. Что касается таких объектов, как бытовая техника, оборудование для развлечений или даже автомобили, то ремонтопригодные запасные части составляют меньшую долю.

Неремонтопригодные запасные части — это составные части, которые не могут быть отремонтированы по техническим или экономическим причинам. В случае отказа их признают непригодными и заменяют новыми. Требуемое количество неремонтопригодных запасных частей, так же как и количество ремонтопригодных запасных частей, определяют по количеству запросов[2)] и времени, необходимому для получения запасной части. Это время включает в себя время выполнения заказа, время административных простоев и время транспортировки.

Неисправные неремонтопригодные составные части в процессе технического обслуживания удаляют. Первоначальные инвестиции на приобретение таких запасных частей по сравнению с ремонтопригодными запасными частями невелики, однако затраты на пополнение запасов за год могут быть значительными.

В дополнение к ремонтопригодным и неремонтопригодным запасным частям необходимы также расходные материалы, такие как гайки, болты, шайбы, смазочные материалы. Далее упоминаются расходные материалы, но в цели настоящего стандарта подробное рассмотрение расходных материалов не входит.

4.3 Определение номенклатуры и идентификация запасных частей как неотъемлемая часть анализа уровня ремонта (LORA)

LORA — это специальное исследование, которое используют для определения оптимального уровня технического обслуживания или места проведения ремонта. В LORA также входит определение наименее ремонтопригодной запасной части, такой как подшипник, двигатель или генератор, которую определяют, исследуя сочетание стоимости запасных частей, затрат на рабочую силу, периодичности выполнения задач и альтернативных затрат; это обеспечивает наилучшую отдачу от инвестиций для организации. LORA может быть использован для оптимизации конструкции или как часть оценки системы поддержки.

На стадиях проектирования при выполнении LORA рассматривают ряд сценариев, которые могут включать следующие:

а) методологию технического обслуживания:
   - замена и утилизация;
   - ремонт на месте;
   - замена и ремонт в специализированной организации;

[1)] *Ремонт — по ГОСТ 18322, пункт 2.1.2.*

[2)] *Здесь и далее под количеством запросов следует понимать количество запросов за установленный период времени.*

b) согласованный комплекс критериев и действий для замены составных частей, позволяющий:

- извлечь составную часть как часть подсистемы, заменить и отремонтировать ее в соответствии с текущим уровнем обслуживания;
- извлечь составную часть как часть подсистемы, заменить и отремонтировать ее в соответствии с более высоким уровнем используемого типа обслуживания;
- извлечь и заменить составную часть при ремонте в соответствии с текущим уровнем технического обслуживания;
- извлечь и заменить составную часть при ремонте в соответствии с более высоким уровнем используемого типа технического обслуживания;

c) тип обслуживания:

- в процессе эксплуатации;
- в условиях эксплуатации, когда система не работает;
- в ремонтной организации (возможно, ориентированной на несколько типов обслуживания);
- у изготовителя.

LORA также должен действовать в соответствии с рядом ограничений, таких как:

- концепция технического обслуживания, которая может заранее определять типы технического обслуживания и их возможности в отношении ремонта;
- критичность объектов (составных частей);
- политика и ограничения пользователя;
- критерии безопасности;
- аспекты собственности;
- требования заказчика;
- экономические аспекты.

Виды необходимых запасных частей определяют в процессе разработки концепции технического обслуживания, это является частью процесса LORA и/или установления требуемой обеспеченности техническим обслуживанием.

Принципы определения номенклатуры и идентификации запасных частей показаны на рисунке 2.

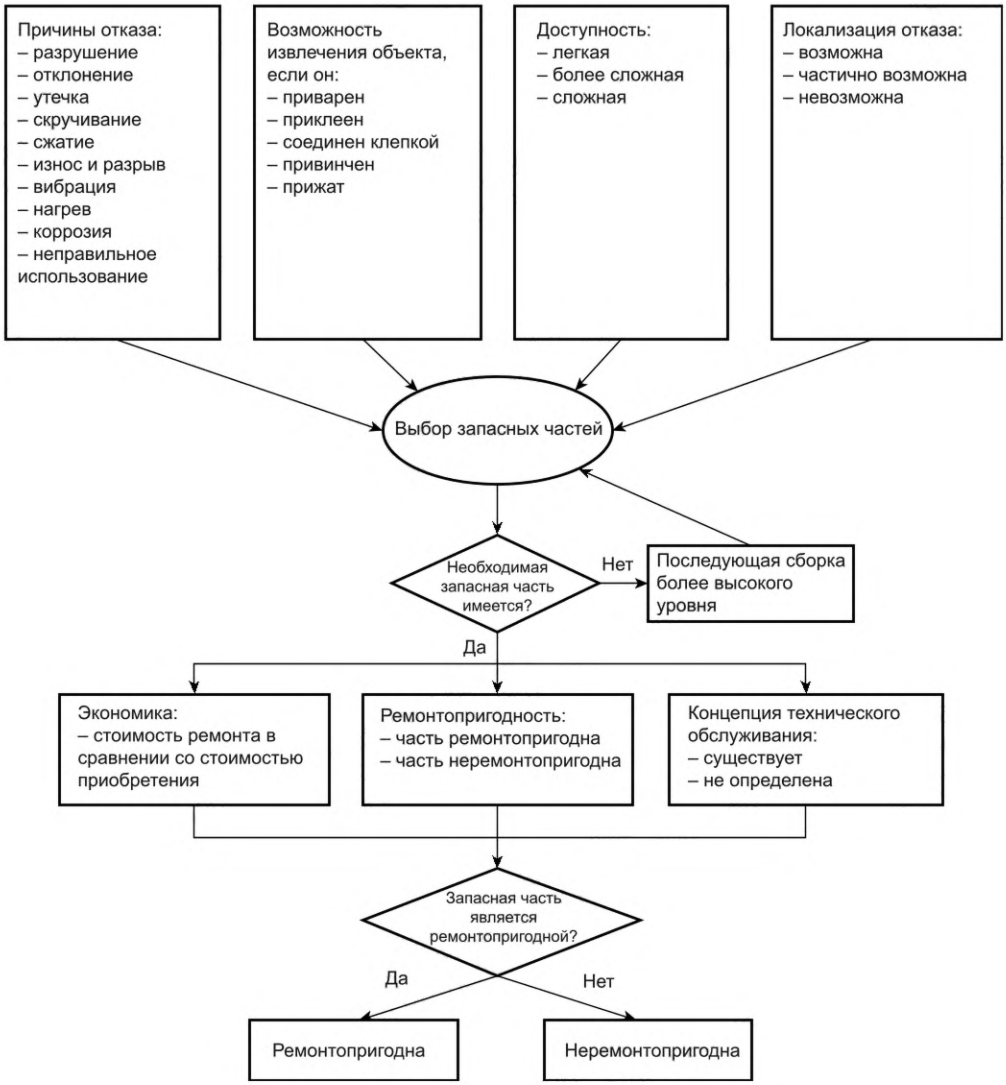


Рисунок 2 — Идентификация запасных частей

Все запасные части и расходные материалы, необходимые для выполнения задач корректирующего и профилактического технического обслуживания, являются элементами обеспеченности техническим обслуживанием. Количество запасных частей, подлежащих поставке и хранению на складе, должно быть определено для каждого типа технического обслуживания (см. раздел 6).

Для подавляющего большинства запасных частей и расходных материалов их необходимое количество[1)] для плановых и профилактических работ может быть рассчитано, поскольку требования для каждой задачи известны. Однако для некоторых задач, которые включают мониторинг состояния компонентов, требуются запасные части для замены составных частей, идентифицированных как неисправные или отказавшие. Такие запасные части могут потребоваться при выполнении планового или непланового корректирующего технического обслуживания. В любом случае оценка количества необходимых запасных частей может быть выполнена так же, как и для всех задач корректирующего обслуживания[2)].

---

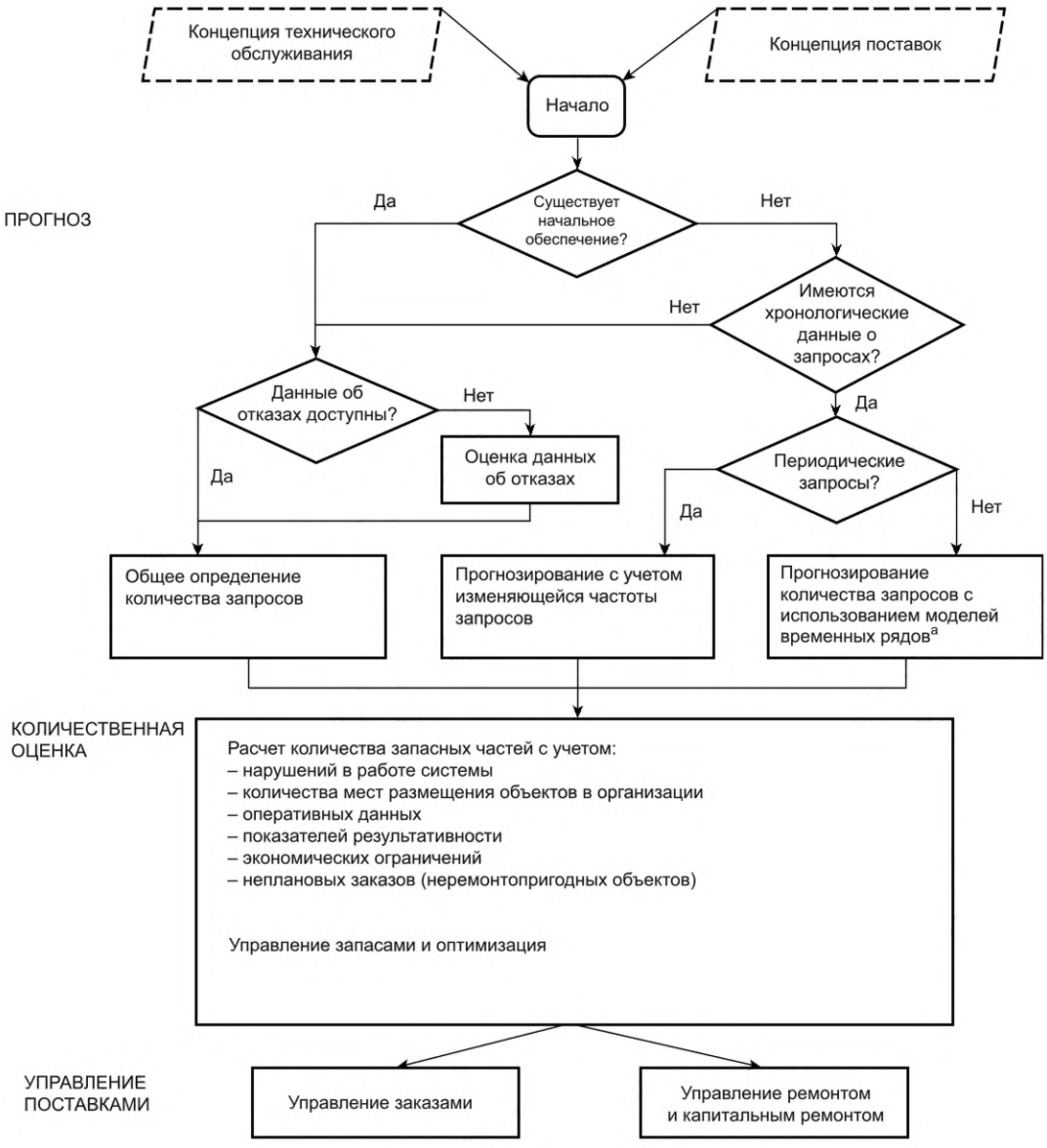
1) Здесь и далее под необходимым количеством следует понимать необходимое количество по отношению к установленному периоду времени.

2) Для расчета могут быть использованы методики ГОСТ 27.507.

4.4 Общий процесс обеспечения запасными частями

Общий процесс обеспечения запасными частями может быть начат после разработки концепции технического обслуживания в соответствии с 4.3 и разработки концепции поставок. Как концепция технического обслуживания, так и концепция поставок могжет быть скорректирована при выполнении процесса обеспечения запасными частями.

На рисунке 3 показаны основные этапы процесса обеспечения запасными частями.



[a] Например: экспоненциального сглаживания.

Рисунок 3 — Процесс обеспечения запасными частями при проектировании и разработке

5 Прогнозирование количества запросов

5.1 Общие положения

Количество запросов на запасные части определяет объем и организацию системы обеспечения запасными частями. Точность прогноза количества запросов является решающим фактором для

качества модели размещения запасов. Спрос выражают в виде необходимого количества запасных частей и материалов в течение установленного периода времени.

Если количество запросов в будущем известно и может быть определено, его считают детерминированным, в противном случае его считают стохастическим. Количество запросов или распределение запросов, изменяющиеся с течением времени, при сохранении количества обслуживаемых объектов рассматривают как динамический процесс. Если время не влияет на количество запросов при сохранении количества обслуживаемых объектов, процесс считают стационарным. Приблизительно равномерное распределение количества запросов во времени приводит к постоянной интенсивности запросов; колебания количества запросов считают случайными. Для запасных частей применимы все описанные характеристики количества запросов.

Для объектов (технических систем или оборудования) запрос возникает, когда составная часть отказала и должна быть заменена функционирующей. Количество запросов зависит от режима использования, состояния объекта после отказа и внешних воздействующих факторов. В идеале количественные значения применимых параметров могут быть определены на основе этих данных. Интенсивность отказов определяют на основе исследования наблюдений за репрезентативным количеством идентичных объектов или объектов с аналогичной конструкцией с применением статистических методов, например анализа Вейбулла (см. IEC 61649). Выбор метода прогнозирования количества запросов зависит от имеющейся информации. Если конкретное значение интенсивности отказов и/или интенсивности использования не известно, могут быть применены только методы прогнозирования с использованием предположений взамен недостающей информации, что приводит к более высоким соответствующим рискам.

5.2 Прогноз, основанный на данных о расходе запасных частей

5.2.1 Общие положения

Производственный процесс, как правило, можно рассматривать как детерминированный процесс, поскольку планирование запасных частей и материалов предусмотрено процессом производства и соответствующим процессом обеспечения запасными частями. Резервные запасы необходимо создавать только на случай краткосрочных и среднесрочных отклонений в производстве. Значимые изменения количества запросов, как правило, вызваны изменениями в производственных процессах. Запросы, поступающие на склады запасных частей, в основном носят случайный характер, т. е. на основе средних значений возможно планирование только на продолжительный период или для большого количества работающих систем. Отклонения от этих средних значений часто бывают значительными.

Случайность запросов запасных частей, связанных с отказами, затрудняет применение обычных алгоритмов, основанных на временных рядах. Правильный выбор модели очень важен, и зависит от режимов использования и эксплуатации.

5.2.2 Процедуры прогнозирования

Анализ существующих процедур прогнозирования, подробно описанных в приложении А, может быть применен не только для прогноза количества необходимых запасных частей, но и в целом для прогноза количества запросов на производстве и в торговле.

Процедуры прогнозирования количества запросов можно разделить на три основные категории:

- детерминированные процедуры;
- статистический анализ;
- субъективные оценки.

Для многих объектов слишком сложно выполнить планирование количества запросов на основе спецификации составных частей и материалов для конкретной продукции. В этих случаях в качестве показателя будущего потребления запасных частей и материалов можно использовать показатель потребления в прошлом. Факторы, определяющие расход запасных частей и материалов, в этом случае не рассматривают и предполагают, что влияющие переменные, которые действовали в прошлом, будут и далее воздействовать на потребление запасных частей и материалов аналогичным образом. Таким образом, потребление в прошлом рассматривают как основу для планирования количества запросов. На основе так называемых временных рядов можно сделать выводы относительно будущего спроса.

5.3 Первоначальное определение количества запросов

5.3.1 Общие положения

Выше[1)] было указано, что при возможности использования данных об объекте можно спрогнозировать количество запросов необходимых запасных частей. На начальных стадиях часто хронологические данные, необходимые для оценки показателей технического обслуживания и логистической поддержки, включая необходимый объем запасных частей, отсутствуют. Следовательно, для раннего использования в процессе разработки системы необходимы методы прогнозирования безотказности. Такие методы существуют (особенно в отношении электронного оборудования). Следует отметить, что эти методы основаны на эмпирических данных. Это означает, что формулы и данные основаны на существующей технологии, практике проектирования и условиях работы системы.

На безотказность существенно влияет следующее:

- конструкция системы;
- качество составных частей;
- интенсивность нагрузки;
- факторы окружающей среды.

Более подробная информация приведена в специальных стандартах и справочных данных о безотказности для конкретных отраслей промышленности (см. IEC 61709).

Следует также рассмотреть следующее:

- требования поставщика к методам и периодичности технического обслуживания, а также частоту замены поставщиком изнашиваемых деталей в соответствии с гарантийными обязательствами поставщика;
- установленные гарантийные требования;
- наличие запасных частей с продолжительным сроком службы, продолжительным периодом использования, когда техническое развитие или другие факторы (например, прекращение деятельности поставщика) влияют на доступность запасных частей;
- старение запасных частей/расходных материалов при хранении и требования к правильному хранению — упаковке, характеристикам окружающей среды, таким как влажность и температура (см. IEC PAS 62435).

5.3.2 Прогнозирование интенсивности отказов и параметра потока отказов

Интенсивность отказов и параметр потока отказов при работе объекта являются важными показателями при определении количества необходимых запасных частей. В соответствии с определением интенсивность отказов применяют к невосстанавливаемым (неремонтопригодным) объектам, а параметр потока отказов используют для восстанавливаемых (ремонтопригодных) объектов. В настоящем стандарте как для ремонтопригодных, так и для неремонтопригодных компонентов использован термин «интенсивность (параметр потока) отказов», поскольку в обоих случаях необходимо предпринимать действия для устранения отказа, т. е. произвести замену либо ремонт отказавшей составной части. Точность значения интенсивности (параметра потока) отказов является фактором риска, который следует учитывать при оценке количества необходимых запасных частей. Интенсивность (параметр потока) отказов может быть определена по опубликованным данным, историческим данным, данным испытаний и эксплуатации. Коммерческие организации публикуют средние значения интенсивности (параметра потока) отказов составных частей и факторов окружающей среды на основе данных, полученных от организаций широкого спектра отраслей промышленности. Хронологические данные организации для составных частей (или их аналогов) позволяют определить более точную оценку интенсивности (параметра потока) отказов, при наличии достаточного количества данных для составных частей, работающих в указанной или аналогичной среде. Испытания системы для определения точного значения интенсивности (параметра потока) отказов составных частей могут быть очень дорогостоящими, обычно их используют только для подтверждения полученных значений. Эксплуатация может обеспечить наилучшие данные, они недоступны при определении первоначального количества запасных частей. Однако сбор данных эксплуатации позволяет скорректировать интенсивность (параметр потока) отказов для определения количества запасных частей в будущем (см. также IEC 61709).

При расчете количества запасных частей обычно предполагают, что интенсивность (параметр потока) отказов (или количество циклов, пройденное расстояние и т. п.) постоянны во времени. Это предположение о постоянстве интенсивности (параметра потока) отказов может быть некорректным, но,

---

[1)] *См. 5.1, 5.2.*

если система включает большое количество составных частей, отказы которых возникают случайно во времени, интенсивность (параметр потока) отказов системы стремится к константе. Важно признать, что при первоначальном обеспечении запасными частями существует вероятность ошибки в случае небольших партий; но даже для больших партий может потребоваться год или большее время, прежде чем отказы станут достаточно случайными с течением времени, а интенсивность (параметр потока) отказов системы — постоянной.

Характеристикой отказов является интенсивность (параметр потока) отказов или MTBF. При постоянной интенсивности (параметре потока) отказов средняя наработка между отказами является величиной, обратной по отношению к интенсивности (параметру потока) отказов.

Если интенсивность (параметр потока) отказов не постоянна, это может быть вызвано износом и различиями в сроках службы компонентов. В таких случаях следует выполнить прогнозирование срока службы и отразить его в прогнозе интенсивности (параметра потока) отказов для требуемого периода времени.

5.3.3 Расчет интенсивности запросов

В комплексной процедуре интенсивность запросов λ рассчитывают на основе предполагаемой интенсивности (параметра потока) отказов и количества анализируемых идентичных составных частей. Применимые уравнения приведены в разделе А.3.

Выражение λT представляет собой среднее количество запросов в течение заданного периода времени T. Эту величину можно рассчитать по формуле (В.3), приведенной в приложении В.

Иногда указывают неисправности, которые не подтверждаются при более позднем анализе. Следовательно, вероятность того, что неисправность не найдена (NFF), должна быть включена в расчет интенсивности запросов. Некоторые отказы (вторичные отказы) вызваны внешними событиями, такими как ненадлежащий ремонт, отказ других объектов. По этим причинам при оценке количества запасных частей необходимо учитывать интенсивность замен, а не интенсивность отказов. Интенсивность замен включает все внешние факторы, влияющие на количество замененных составных частей (см. приложение В).

6 Определение необходимого количества запасных частей

6.1 Общие положения

6.1.1 Описание процесса

Методы, используемые для обеспечения запасными частями, зависят от особенностей их использования при профилактическом или корректирующем техническом обслуживании.

Для корректирующего технического обслуживания оценку и оптимизацию необходимого количества запасных частей первоначально следует выполнять на основе MTBF, MTTF или непостоянной интенсивности отказов с применением математических и статистических методов. Точность оценки оказывает существенное влияние как на стоимость, так и на доступность запасных частей. Сначала оценивают MTBF, MTTF или интенсивность (параметр потока) отказов, но с опытом использования системы увеличивается количество фактических данных. В дополнение к показателям безотказности требуемое количество неремонтопригодных запасных частей определяют на основе продолжительности периода, на который должны быть предоставлены запасные части, это значение должно быть оптимизировано. Для оценки необходимого количества ремонтопригодных запасных частей необходимо учитывать время выполнения ремонтных работ.

При профилактическом обслуживании оценка необходимого количества запасных частей в основном детерминирована, но в некоторых случаях количество запасных частей определяют на основе вероятностной модели.

Сложные технические системы состоят из большого количества составных частей. Эти составные части в свою очередь могут состоять из сборочных единиц, блоков и/или компонентов. Если в такой системе возникает отказ, продолжительность восстановления работоспособного состояния системы в значительной степени зависит от результативности диагностики и локализации неисправности, а также от усилий по ремонту и продолжительности ремонтных работ по восстановлению системы. Еще одним важным фактором в этой задаче является наличие необходимых запасных частей. Высокая эксплуатационная готовность системы требует наличия достаточного количества запасных частей, и это

особенно важно, если продолжительность ремонта составных частей велика, а время замены на уровне системы мало.

Хранение необходимого количества запасных частей требует значительных инвестиций. Растущий недостаток средств и/или растущее давление конкуренции требуют применения методов оценки количества запасных частей, учитывающих как технические, так и экономические ограничения.

Стоимость ремонтопригодных запасных частей составляет основную часть общей стоимости запасных частей. Однако их количество относительно невелико. Необходимое количество в основном определяют на основании продолжительности выполнения ремонтных работ и интенсивности отказов. Выбор номенклатуры и необходимого количества ремонтопригодных запасных частей требует большой осторожности.

На необходимое количество неремонтопригодных запасных частей влияет помимо интенсивности (параметра потока) отказов время получения компонента для замены, которое включает время обработки и время выполнения заказа. Таким образом, процедуры оценки необходимого количества неремонтопригодных запасных частей отличаются от процедур для ремонтопригодных запасных частей.

Общий процесс обеспечения запасными частями в процессе проектирования и разработки показан на рисунке 4.

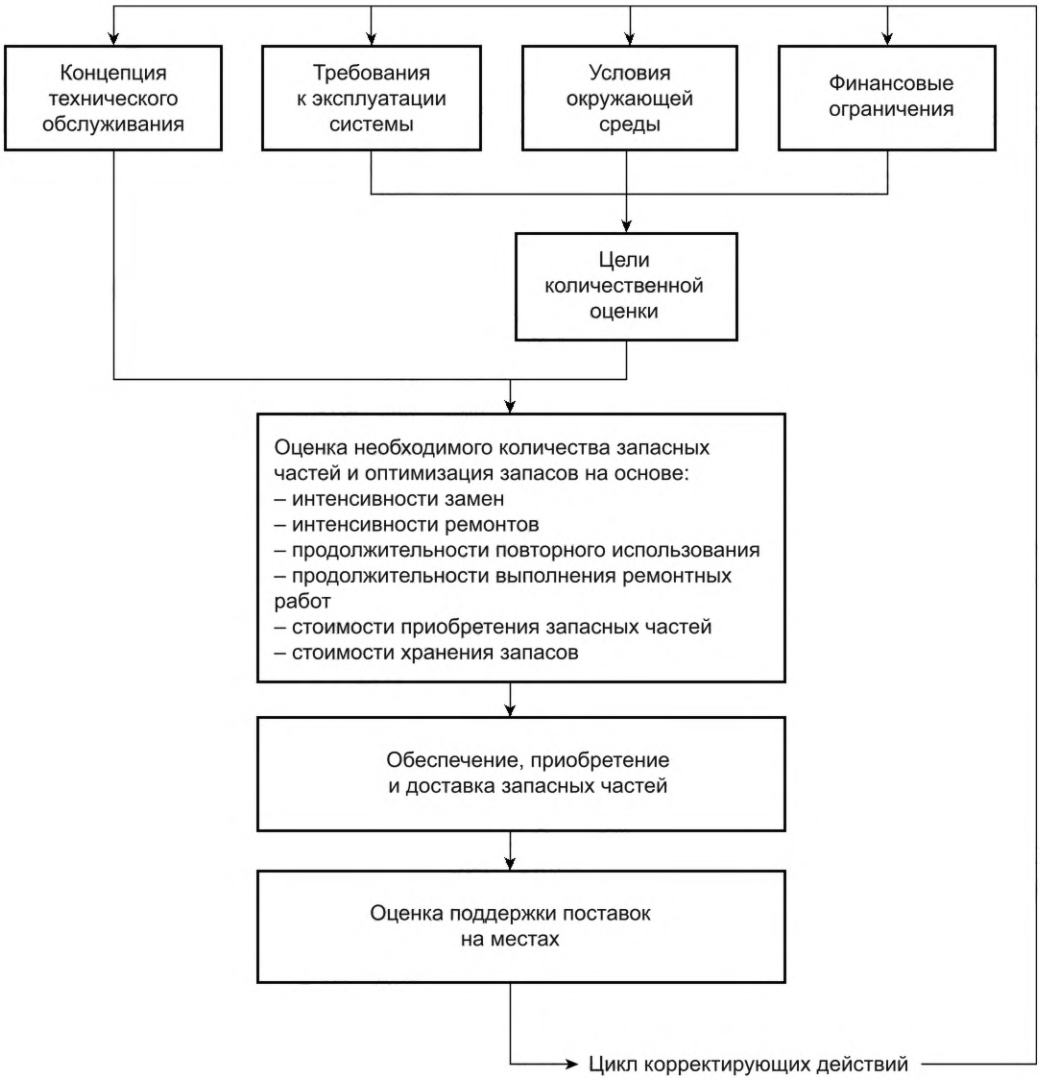


Рисунок 4 — Процесс обеспечения системы запасными частями в процессе ее использования

Необходимое количество запасных частей зависит:

- от количества запасных частей, необходимых для корректирующего технического обслуживания (ремонтопригодных и неремонтопригодных компонентов);
- количества запасных частей для профилактического обслуживания (периодически заменяемых компонентов);
- количества запасных частей, необходимых для пополнения запасов неремонтопригодных запасных частей;
- количества запасных частей, необходимых для выполнения работ при ремонте ремонтопригодных запасных частей (для повторного использования);
- количества запасных частей, необходимых для замены списанных ремонтопригодных запасных частей (списанные запасные части удаляют из запасов).

Запасные части могут быть получены непосредственно от поставщика или изготовителя или из хранения готовыми к использованию при обеспечении их доступности. Важно убедиться, что они подходят для использования по назначению.

6.1.2 Распределения вероятностей отказов, используемых для оценки необходимого количества запасных частей

Оценку необходимого количества запасных частей выполняют на основе распределения вероятностей отказов. Выбор подходящего распределения зависит от особенностей отказа[1)]. Для оценки количества запасных частей можно использовать следующие распределения, наиболее распространенным из которых является распределение Пуассона:

- распределение Пуассона со всеми простыми вычислительными процедурами, например с использованием программ для электронных таблиц (в случаях, когда значение λT меньше 50 или удовлетворяет неравенству $50 \leq \lambda T \leq 100$, можно использовать как распределение Пуассона, так и нормальное распределение);
- нормальное распределение при значениях λT, превышающих 100;
- отрицательное биномиальное распределение для сложных задач, например, это распределение может быть применено для многоуровневых задач или задач с различными целями, если это возможно, в противном случае распределение Пуассона может быть использовано без большой потери точности;
- логарифмически нормальное распределение, например, для таких случаев, как оценка количества запасных частей в эксплуатации (например, совокупность, подверженная риску);
- другие распределения вероятностей отказов только в обоснованных случаях, например распределение Вейбулла, используют для анализа компонентов с ограниченным сроком службы (из-за износа).

Распределение Пуассона — это однопараметрическое распределение, в котором математическое ожидание и дисперсия имеют одинаковое значение. Распределение Пуассона может быть применено в случае, когда некоторый параметр (время или иной) является непрерывным, в то время как количество событий, которые могут произойти в течение этой непрерывной переменной, устанавливают путем подсчета (оно дискретно). Данное распределение можно применять, когда вероятность события очень мала. Это ситуация, когда интервал времени большой и/или уровень запросов низкий. Распределение Пуассона является наиболее часто применяемым распределением для оценки необходимого количества запасных частей.

Нормальное распределение является двухпараметрическим распределением и применимо в ситуациях, когда распределение случайной величины зависит от большого количества независимых друг от друга факторов. Нормальное распределение применяют при высокой интенсивности запросов. Поэтому нормальное распределение часто используют при высоких интенсивностях потребления для определения количества неремонтопригодных запасных частей. Поскольку нормальное распределение может привести к отрицательным значениям, следует соблюдать осторожность, чтобы этого избежать.

Распределение Пуассона можно рассматривать как особый тип отрицательного биномиального распределения. Отрицательное биномиальное распределение иногда используют для многоэшелонной системы обеспечения запасными частями. Для отрицательного биномиального распределения подсчитывают время (или другую связанную переменную) и случайную величину (дискретную), например, количество отказавших составных частей, до тех пор, пока не будет найдена одна работоспособная запасная часть.

---

1) Выбор распределения вероятностей отказов требует проведения специального анализа с использованием данных об отказах.

При определении оценки необходимого количества запасных частей предполагают, что интенсивность (параметр потока) отказов постоянна во времени. Для больших совокупностей наблюдаемая интенсивность (параметр потока) отказов является постоянной, поскольку различные интервалы времени работы приводят к равномерному распределению отказов. Применение распределения Вейбулла или отрицательного биномиального распределения требует знания двух параметров с достаточной достоверностью.

6.1.3 Показатели результативности (MoE)

6.1.3.1 Общие положения

Высокая результативность обеспеченности техническим обслуживанием имеет решающее значение для обеспечения готовности и экономичной эксплуатации системы. Поэтому оптимизацию политики технического обслуживания, обеспечения ресурсами для технического обслуживания и политики обеспечения запасными частями следует проводить параллельно.

MoE, связанные с обеспечением запасными частями, можно разделить на две группы:

- MoE, связанные с запасами, такие как интенсивность пополнения запасов, риск нехватки, среднее количество невыполненных запросов, среднее время ожидания;
- MoE, связанные с системой, такие как оперативная готовность системы, количество систем не готовых к работе (NOR), вероятность успеха выполнения миссии.

Оптимизация затрат на систему обеспечения запасными частями достигается за счет компромисса между этими показателями и стоимостью запасов.

6.1.3.2 Интенсивность удовлетворения запросов (FR)

FR является MoE и представляет собой вероятность того, что запрос может быть удовлетворен немедленно. Его рассчитывают для каждой позиции на складе. FR иногда также называют уровнем обслуживания или интенсивностью запросов.

Среднюю FR рассчитывают, как среднее арифметическое с весовыми коэффициентами для групп позиций на складе в соответствии с относительным уровнем запросов на каждую позицию на складе. Относительная интенсивность запросов в этом случае основана либо на общей интенсивности запросов на позицию запасов, либо на интенсивности запросов с определенным источником.

6.1.3.3 Риск дефицита (ROS)

ROS является MoE и представляет собой вероятность неудовлетворения запроса. Его рассчитывают для каждой позиции на складе с использованием тех же определений и предположений, что и для FR в 6.1.3.2.

ROS является дополнением к FR, т. е. ROS = 1 – FR.

Мера ROS не характеризует задержки, связанные с отсутствием запасных частей. Таким образом, среднее время ожидания является значимым показателем.

6.1.3.4 Среднее количество невыполненных запросов (EBO)

Дополнительным показателем при оценке необходимого количества запасных частей является среднее количество невыполненных запросов (EBO). Невыполненный запрос — это запрос, который не выполнен немедленно, а отложен до следующей поставки (для ремонтопригодных запасных частей — до следующего поступления отремонтированной запасной части). В этом показателе учитывают как количество, так и продолжительность задержек (простоев).

6.1.3.5 Среднее время ожидания (MWT)

Время ожидания объекта на складе — это время с момента появления запроса (заказа) до момента выдачи запрошенного компонента со склада. Если компонент имеется в наличии в момент запроса, то время ожидания равно нулю. Задержки в доставке из-за административных процедур или физических действий с запасной частью являются частью продолжительности административного простоя и времени транспортировки.

MWT представляет собой среднее арифметическое времен ожидания запасных частей на складе с весовыми коэффициентами, соответствующими относительной интенсивности запросов на каждую позицию на складе. Время ожидания является частью технического простоя, иногда MWT может быть равно MTD.

Предполагается, что как только запасная часть прибывает на склад, она становится доступной для выдачи. Следовательно, время, затраченное на распаковку запасной части, считают частью продолжительности административного простоя.

Необходимо отметить, что приведенное выше определение используют даже тогда, когда номинальное (максимальное) количество запасных частей на складе равно нулю. В этом случае время

ожидания равно времени ожидания на вспомогательном складе плюс время транспортировки и продолжительность выполнения ремонтных работ.

MWT играет важную роль в оценке и оптимизации количества запасных частей во многоэшелонных системах обеспечения запасными частями.

6.1.3.6 Коэффициент оперативной готовности[1)] системы

Коэффициент оперативной готовности системы — это доля времени в течение всего периода эксплуатации, когда система находится в состоянии готовности.

6.1.3.7 Количество систем, не готовых к работе (NOR)

Среднее NOR рассчитывают для всех групп систем, для которых рассчитывают готовность. Данный показатель отражает среднее значение NOR в группе, в которой нет готовности из-за простоя.

6.1.4 ABC-анализ (анализ Парето)

Инвентарная ведомость часто содержит большое количество различных запасных частей, особенно неремонтопригодных составных частей. Предполагается, что такой набор запасных частей препятствует проведению детального анализа запасов. Затраты на оценку тысяч запасных частей, имеющих, как правило, низкую индивидуальную стоимость, превышают стоимость запасов. По практическим соображениям количество не всех запасных частей можно планировать и контролировать с одинаковыми усилиями. Это приводит к необходимости применения процедуры, связывающей затраты на планирование и контроль количества отдельных запасных частей с их вкладом в общие инвестиции. ABC-анализ не учитывает критичность запасных частей для обеспечения эксплуатации или безопасности, а также сроки поставки.

Стоимости хранения и затрат, связанных с неготовностью системы, также могут быть включены в качестве составляющих в общие инвестиции, если они являются значительными.

ABC-анализ позволяет выполнить процедуру классификации набора запасных частей путем их группировки в три класса. Процедура включает в себя следующие действия:

- расчет годового бюджета для каждого отдельного вида запасных частей на основе учета его цены и запросов его за год;
- ранжирование всех запасных частей в порядке убывания годового бюджета;
- расчет процентной доли влияния каждого вида запасных частей на общий бюджет;
- суммирование процентов;
- отнесение запасных частей к группам A, B и C (см. рисунок 5).

[1)] *См. также ГОСТ 27.002—2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (пункты 3.1.11, 3.6.6.3).*

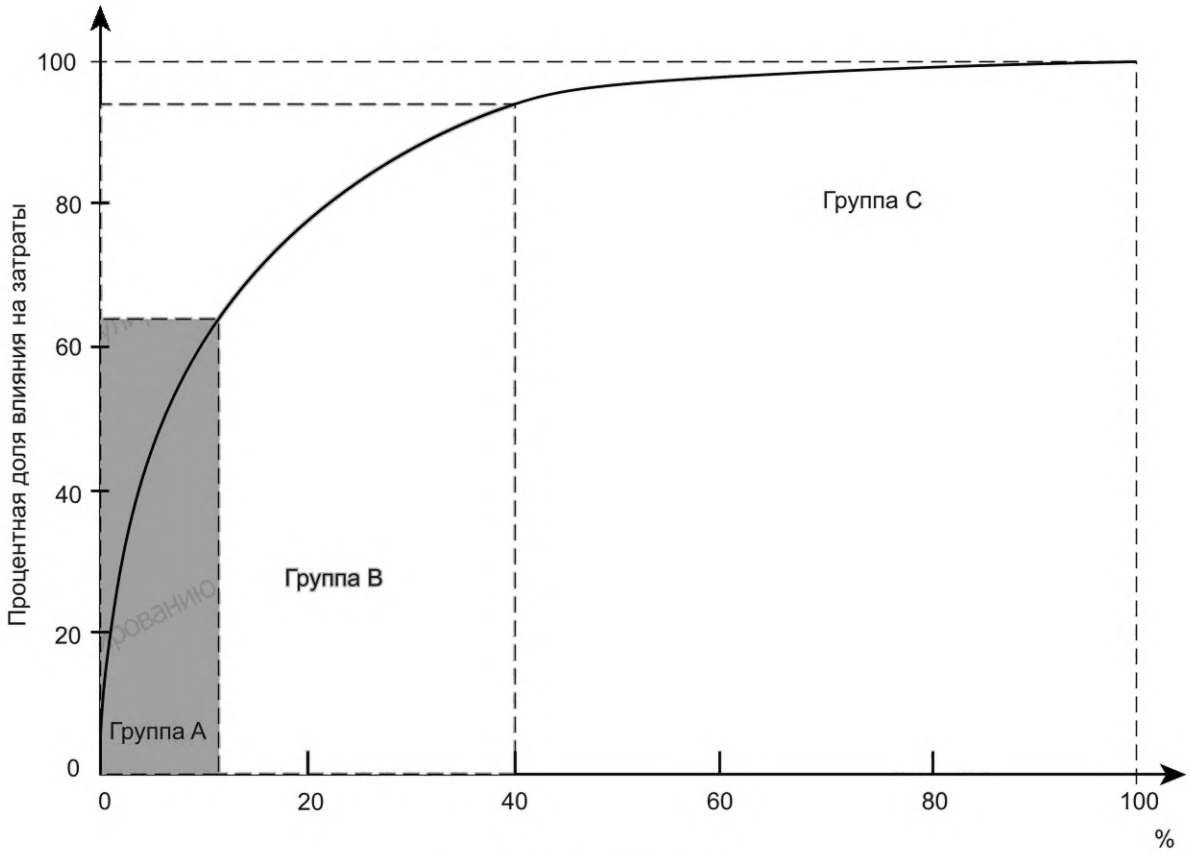


Рисунок 5 — Принцип ABC-анализа

Если цена запасной части неизвестна, необходимо ее оценить. Для прогнозирования годового запроса см. раздел 5.

Анализ запасная часть-бюджет-статистика показывает следующие результаты:

- лишь очень небольшое количество запасных частей, примерно 5 % — 10 % всей совокупности, составляет около 65 % общего бюджета; эти запасные части относят к группе А;
- небольшое количество запасных частей, примерно 25 % — 30 % всей совокупности, составляет примерно 25 % — 30 % общего бюджета; эти запасные части относят к группе В;
- большое количество запасных частей, примерно 60 % — 70 % всей совокупности, составляет примерно 10 % — 15 % общего бюджета; эти запасные части относят к группе С.

В системе обеспечения запасными частями запасные части группы А следует рассматривать с точки зрения их влияния на общие затраты. Полезно тратить больше усилий на планирование и контроль этих запасных частей, чтобы добиться значительной экономии.

К группе В применяют обычные процедуры. Менеджер по запасным частям должен детально контролировать количество запасов и его изменения.

Запасные части группы С контролирует простая система, которая должна быть автоматизирована, даже если это может привести к незначительному увеличению запасов.

Для различных групп запасных частей необходимо учитывать следующие процессы:

а) для запасных частей группы А:
- детальный анализ рынка, цены, структуры затрат и значимости запасных частей;
- процедуры точной поставки;
- конкретный прогноз спроса;
- точный контроль запасов;
- точный контроль цепочки поставок;
- тщательное определение безопасности и переупорядочивание запасов;
- точный расчет оптимального с точки зрения затрат порядка величин;
- строгий контроль продолжительности хранения запасов;

b) для запасных частей группы B:

- для запасных частей этой группы следует рассмотреть процедуры, промежуточные между процедурами для групп A и C;

c) для запасных частей группы C:

- упрощенные процедуры поставок;
- упрощенная процедура контроля запасов;
- базовый контроль цепочки поставок;
- определение более высокой сохранности и переупорядочивания запасов;
- простой расчет порядка величин;
- простой контроль продолжительности времени хранения в запасах.

6.1.5 Количественная оценка ремонтопригодных запасных частей

В целом ремонтопригодные запасные части можно рассматривать как запасные части групп A или B, в соответствии с терминологией ABC-анализа.

В каждый момент периода использования системы предполагается, что вероятность отказа и время выполнения ремонтных работ остаются постоянными. Кроме того, предполагается, что ремонт ремонтопригодных запасных частей образует замкнутый цикл. На практике это не всегда так, поскольку иногда запасные части нецелесообразно или невозможно ремонтировать по экономическим причинам, из-за износа или устаревания.

Далее приведены наиболее важные условия и предпосылки, которые являются основой для оценки необходимого количества ремонтопригодных запасных частей.

Отказы различных составных частей не зависят друг от друга, т. е. отказ одной составной части не приводит к отказу другой составной части на том же уровне структуры системы. Если необходимо учитывать также вторичные или индуцированные отказы, в интенсивность запросов должен быть включен соответствующий коэффициент (см. 5.3.3).

Интенсивность (параметр потока) отказов постоянна во времени, усталость или износ материалов явно не учитываются.

Для каждой детали время выполнения ремонтных работ предполагается постоянным, т. е. не учитываются распределение времени ремонта и его зависимость от объема ремонта.

Предполагается наличие замкнутого цикла ремонта. Запасные части, ремонтопригодные не во всех возможных ситуациях, следует рассматривать с определенной вероятностью как ремонтопригодные запасные части, а в оставшейся части — как неремонтопригодные запасные части.

Время оборота определяют как период времени от удаления неисправной составной части из системы до поступления на склад запасной части после ремонта. Кроме того, необходимо также учитывать время транспортировки и административных простоев.

6.1.6 Количественная оценка неремонтопригодных запасных частей

В общем случае неремонтопригодные запасные части можно рассматривать как запасные части групп B или C в соответствии с терминологией ABC-анализа.

В системе управления запасами инвентарные позиции можно контролировать непрерывно или через определенные промежутки времени. Система непрерывного анализа запускает такой порядок, при котором доставка будет выполнена по истечении определенного времени, как только объем запасов опустится ниже определенного уровня (точки *s*). Другой альтернативой является периодический анализ, поскольку он выполняет инвентаризацию только через определенные промежутки времени *T*, которые обычно являются постоянными. Также возможна комбинация этих стратегий. Наиболее распространенные виды политики управления запасами показаны на рисунке 6.

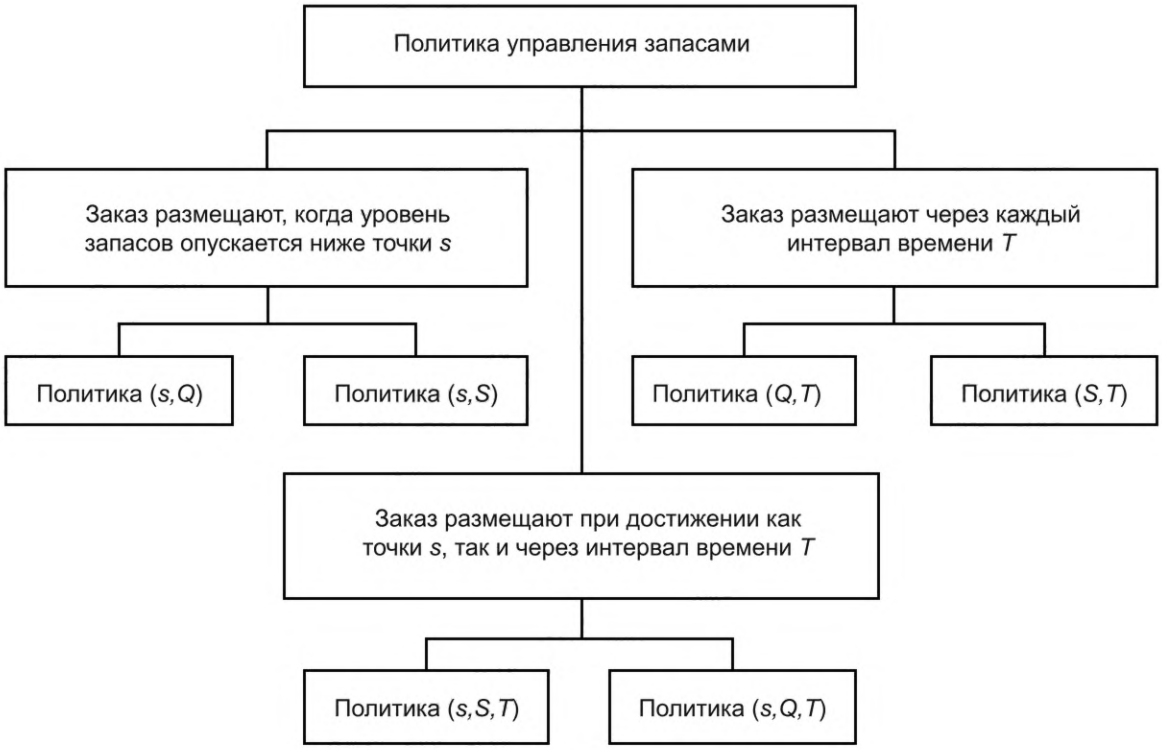


Рисунок 6 — Политика управления запасами

Два параметра, по существу, контролируют политику управления запасами:

a) момент времени оформления заказа на поставку («Когда должен быть размещен заказ?»):

- заказ на поставку размещают, когда уровень запасов падает ниже «предельного уровня запасов». Этот лимит запасов называют точкой *s*;
- заказ на поставку размещают через периоды времени *T*;
- заказ на поставку размещают, когда выполнены оба указанных выше условия, т. е. через каждый период времени *T* заказ размещают только в том случае, если объем запасов опускается ниже точки заказа *s*;

b) объем заказа на поставку («Сколько запасных частей нужно заказать?»):

- каждый раз заказывают определенное количество *Q*, которое считают оптимальным объемом заказа;
- объем заказа на поставку равен разности *S* максимального уровня запасов и существующего уровня запасов на момент оформления заказа на поставку.

Политика (*S,T*) приводит к неблагоприятным условиям чередования объемов заказа, что может стать затруднительным при снижении потребления до очень небольших объемов, так что экономические условия, согласованные с поставщиком, могут быть неприменимы. Политика (*Q,T*) при снижении потребления может быстро привести к завышению объема запасов; эта политика, как правило, менее гибкая.

Политики (*Q,T*) и (*s,Q*) приводят к идентичным процессам управления запасами, когда запрос является непрерывным и детерминированным.

Таким образом, процедура оценки необходимого количества неремонтопригодных запасных частей включает определение точек заказа *s* и максимального уровня запасов *S*.

6.2 Стратегические (критические, страховые) запасные части

Поскольку хранение большого количества запасных частей приводит к значительным затратам, необходимо исследовать другие факторы, влияющие на работу системы, такие как:

- более короткая продолжительность ремонта, регламентирующее время выполнения заказа;
- повышение безотказности системы/подсистемы/компонента;
- применение одной или нескольких систем.

Очень результативным методом исследования является маржинальный анализ, который определяет выгоды и издержки различных вариантов путем изучения нарастающего влияния на общий доход и общие затраты, вызванного очень небольшим (всего на одну единицу) изменением выпускаемой продукции или инвестиций в каждом варианте. Маржинальный анализ поддерживает принятие решений на основе незначительных или постепенных изменений ресурсов, а не на основе общих или средних значений.

В ситуациях, когда будущее производство запасных частей не гарантировано или когда запасные части могут быть изготовлены только с большими дополнительными затратами, может возникнуть необходимость в объеме запасных частей сверх требуемого количества в качестве резерва безопасности (страховые запасные части). См. IEC 62402.

6.3 Системы обеспечения запасными частями

Запасные части могут храниться в соответствии с системой обеспечения запасными частями в нескольких местах, централизованно или локально. Более крупные организации, как правило, хранят необходимые запасные части в соответствии с иерархически структурированной системой обеспечения запасными частями. Пример такой многоуровневой системы показан на рисунке 7. Самый высокий уровень — это источник запасных частей, который представляет собой центральный склад, вторым уровнем может быть страна, третьим уровнем может быть регион, оба являются промежуточными складами, наконец, четвертый уровень может быть местом расположения запасных частей или локальным складом.

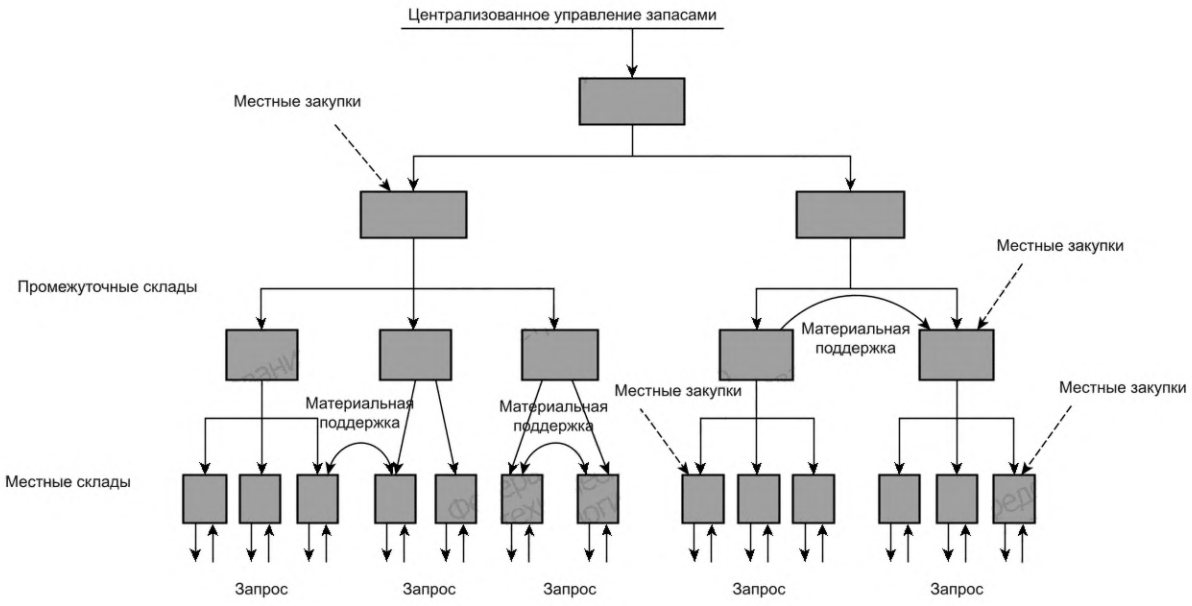


Рисунок 7 — Иерархически структурированная система обеспечения запасными частями

В рамках такой иерархической системы обеспечения запасными частями запросы поступают с самого низкого уровня. С того уровня, где системы и/или устройства эксплуатируют, интенсивность запросов на различные запасные части различна. Требования на самом низком уровне могут меняться спорадически, тогда как на более высоком уровне запросы распределяются более равномерно. Это необходимо учитывать при выборе подходящего распределения при определении необходимого количества запасных частей, индивидуальных интенсивностей запросов, времени отклика и времени транспортировки поставляемых запасов.

В традиционных системах обеспечения запасными частями руководство каждого склада знает только, где заказать запасные части, готовые для технического обслуживания, и куда отправить дефектные составные части. Как правило, в таких ситуациях применяют иерархически структурированные системы обеспечения запасными частями. Поскольку компьютерные информационные системы доступны и могут быть использованы для управления запасами, у каждого менеджера склада должна быть возможность иметь информацию об отдельных уровнях запасов в окружающих магазинах, чтобы

сделать поддержку более гибкой. Примеры показаны на рисунке 7 и называются «материальная поддержка».

MoE должны быть рассчитаны с вершины иерархической структуры вниз к основанию. Во многих случаях лучше разработать стратегию изменения порядка для минимизации EBO или MWT и применить многоуровневую оптимизацию для поиска подходящих значений вместо использования FR.

Средние значения MoE могут быть сгруппированы многими различными способами, например:

- все позиции на складе в конкретном месте (MoE в зависимости от местоположения);
- все позиции на складе, непосредственно поддерживающие определенный тип систем в определенном месте;
- все позиции на складе для данного основного вида составных частей, которые напрямую поддерживают системы;
- все позиции на складе, которые напрямую поддерживают системы; это общее значение MoE на уровне системы.

Среди систем обеспечения запасными частями необходимо различать:

- системы с несколькими объектами и несколькими складами;
- системы с одним объектом и несколькими складами;
- системы с одним объектом и единственным складом.

На практике более распространены системы с несколькими объектами и несколькими складами; их можно охарактеризовать следующим образом:

- на каждом складе хранится несколько видов запасных частей;
- запрос является стохастическим и, как правило, перемежающимся;
- время доставки является случайным;
- отправка осуществляется через определенные промежутки времени (один раз в день, неделю, месяц) для каждого вида запасных частей в отдельности или для нескольких видов запасных частей одного поставщика;
- управление запасами в основном осуществляется непрерывно;
- при выборе процедуры отправки учитывают долгосрочные аспекты затрат.

При моделировании процедуры выдачи запасных частей системы управления запасами с несколькими видами запасных частей и несколькими складами заменяют процедурами вспомогательных систем с одним видом запасных частей и одним складом, например, сеть складов поддерживает свой ассортимент запасных частей (несколько видов запасных частей) с центральным, региональными и местными складами (несколько складов), их рассматривают отдельно для каждого вида запасных частей (один вид запасных частей) и каждого склада (один склад). То же самое относится к запасам запасных частей, которые поставляют иерархически и которые содержат различные запасные части.

Это упрощение необходимо, поскольку стохастические динамические системы с несколькими компонентами и несколькими складами в большинстве случаев не разрешимы аналитически во всей своей сложности. Упрощение моделей складов запасных частей происходит в два этапа:

- преобразование системы управления запасами с несколькими видами запасных частей и несколькими складами в систему, объединяющую системы с одним видом запасных частей и несколькими складами, с определением целевых количеств в зависимых вспомогательных складах;
- преобразование системы управления запасами с одним видом запасных частей и несколькими складами в систему, объединяющую системы с одним видом запасных частей и одним складом для выбора процедуры отправки запасных частей со склада самого высокого уровня.

На рисунке 8 показаны основные модели с одним видом запасных частей и одним складом. Это детерминированные и стохастические модели.



Рисунок 8 — Модели с одним компонентом и одним складом

С помощью методов моделирования могут быть получены решения для очень сложных ситуаций, но это требует больших усилий. Обобщение полученных решений за пределами рассматриваемого случая часто невозможно.

6.4 Оптимизация запасов

Многие промышленные предприятия, такие как аэрокосмические организации, электростанции и производственные предприятия, использующие сложное оборудование, часто сталкиваются с трудной задачей обеспечения высокой готовности систем в условиях ограничений на запасы запасных частей. Случайный отказ только одного компонента может привести к тому, что система выйдет из состояния оперативной готовности. Поскольку время пребывания в неработоспособном состоянии может вызвать существенные потери, запасы следует поддерживать на таком уровне, чтобы минимизировать продолжительность простоя. Поэтому очень важно, чтобы вероятность отсутствия необходимых запчастей на складе была как можно ниже. Однако, поскольку большая часть запасных частей является дорогостоящей, следует также избегать хранения излишнего количества запасных частей.

Благодаря оптимизации системы управления запасами объемы запасных частей на складе могут быть оптимизированы и обеспечивать максимальную готовность при минимальных запасах.

Политику технического обслуживания и политику обеспечения запасными частями не следует рассматривать отдельно или последовательно, как это часто делают на практике. При поддержании количества запасных частей, обеспечивающего функционирование системы, часто наблюдается затоваривание. Непомерно большие запасы сковывают капитал. Объем запасных частей на складе в основном зависит от концепции технического обслуживания. Поэтому программы технического обслуживания необходимо разрабатывать таким образом, чтобы снизить затраты как на техническое обслуживание, так и на обеспечение запасными частями.

Минимизация общих инвестиций в товарно-материальные запасы — это задача нелинейной целочисленной оптимизации. Известно, что такие задачи трудно решать даже для небольшого количества составных частей.

Обзор методов оптимизации запасов приведен в приложении С.

Процедуры оптимизации количества неремонтопригодных запасных частей должны также учитывать затраты на хранение и затраты, связанные с выполнением заказа. Общее количество заказов зависит от продолжительности цикла заказа, которую необходимо оптимизировать. Основными составляющими общих затрат являются затраты на хранение, минимальное количество заказов, цена, зависящая от количества, и затраты на выполнение заказа.

Оптимизация затрат на неремонтопригодные запасные части в основном предполагает применение оптимальной политики заказа, т. е. оптимальное количество заказов и оптимизированные пункты заказа в соответствии со службой доставки. Расчеты количества заказов и дат выполнения заказов могут быть выполнены только независимо. Большие объемы заказов с одинаковыми граничными условиями приводят к большей номенклатуре запасов, большему объему запасов и меньшему количеству операций с заказами, чем при небольших объемах заказов. Поэтому необходимо оптимизировать эти влияющие факторы и затраты на существующую систему обеспечения запасными частями.

Оптимизацию количества неремонтопригодных запасных частей компонентов осуществляют на основе двух параметров модели управления запасами (см. рисунок 9):

- объема заказа *Q*;
- безопасного объема запасов *SS*.

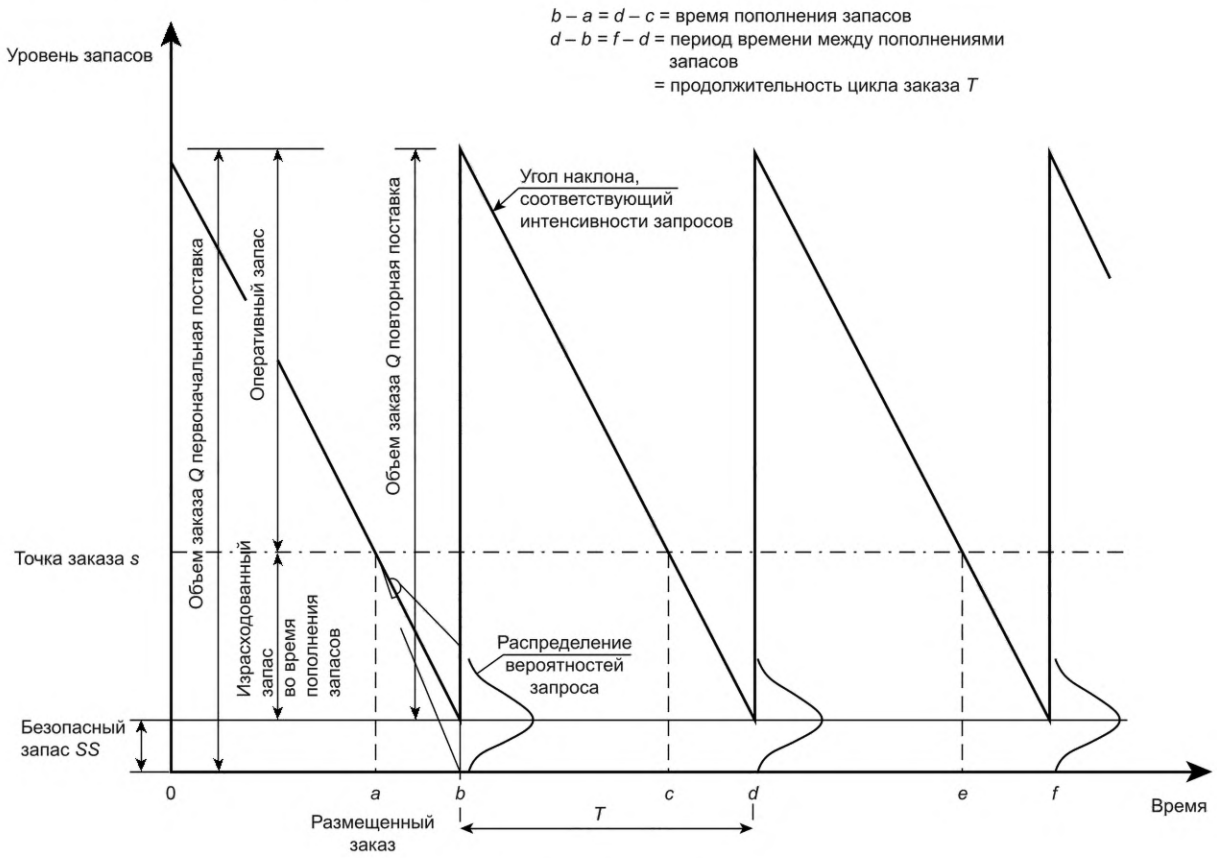


Рисунок 9 — Идеальная модель для неремонтопригодных запасных частей объектов

Необходимое количество запасных частей может быть определено на основе прогнозируемой интенсивности потребления запасных частей. Оперативный запас оптимизируют таким образом, чтобы минимизировать общие затраты:

- затраты на хранение;
- косвенные (не зависящие от количества заказов) затраты на закупки;
- прямые затраты на закупки.

Объем заказа *Q* включает в себя:

- оперативный запас;

- запас, израсходованный во время повторной поставки;
- безопасный запас.

На основе заданной готовности системы безопасный запас определяют с применением вероятностного анализа. Для каждого отдельного неремонтопригодного компонента безопасный запас выбирают таким образом, чтобы затраты на его хранение были минимальны с учетом заданного среднего времени ожидания.

Объем запасных частей на складе представляет собой буфер, который гарантирует готовность к поставке при колебаниях потребления и/или продолжительности замены составной части. Безопасный запас необходим для поддержания готовности к поставкам и, следовательно, готовности системы. С другой стороны, он вызывает затраты на хранение, и поэтому необходимо оптимизировать количество запасов с учетом затрат на их хранение.

7 Документация по запасным частям

7.1 Принципы и цели

В идеале все заказанные запасные части должны иметь уникальную идентификацию и четко указывать оборудование, узел или сборочную единицу, к которым они относятся. В процессе снабжения следует разработать код и присвоить его каждой части. Код является связующим звеном между анализом обеспеченности техническим обслуживанием и пользователем, для которого он определяет утвержденный план технического обслуживания.

7.2 Иллюстрированный каталог запасных частей (IPC)

IPC и/или перечень запасных частей необходимы для технического обслуживания и обеспечивают связь между физическим местоположением составной части в системе и уникальной идентификацией, применяемой для обеспеченности техническим обслуживанием[1)].

IPC и/или перечень запасных частей обычно являются договорными требованиями поставки для заказчика. Они должны быть адаптированы к требованиям технического обслуживания, выполняемого заказчиком и/или другими организациями, занимающимися техническим обслуживанием.

При сборе данных необходимо следовать общему принципу иерархии системы, представляющему разукрупнение системы в технической последовательности ее разборки с идентификацией всех сборочных единиц, их отдельных компонентов и прочих частей в соответствии с чертежами и спецификациями. Последовательность этих объектов составляют с использованием уникальной идентификации, и именно это позволяет создавать IPC на основе одних и тех же данных. Техническое деление соответствует планам технического обслуживания заказчика.

В дополнение к техническому делению указывают следующее:

- сырье;
- расходные материалы;
- ремонтные комплекты;
- составные части для отгрузки/хранения.

При необходимости представление IPD должно быть выполнено в форме, которая может быть применена при работе более чем с несколькими потребителями, использующими одну и ту же систему или одно и тоже оборудование. Различные стандарты конфигурации могут быть легко идентифицированы, а данные, характерные для каждого потребителя, занесены в один и тот же перечень.

Всякий раз, когда существуют различия в уровне деления системы, используемой двумя или более потребителями, составление и представление IPD должны обеспечивать максимально необходимое деление.

База данных содержит все элементы данных, необходимые для охвата различных типов информации, которые могут потребоваться. Однако при формировании записей необходимо включать только те данные, которые имеют отношение к компоненту, а элементы данных должны быть классифицированы таким образом, чтобы выбор соответствующих элементов данных мог быть сделан в соответствии с логикой и принятым порядком.

[1)] *IPC или перечень запасных частей в той или иной форме могут быть приведены в конструкторской документации.*

Эта классификация делит элементы данных на три группы:

- обязательные элементы данных, которые необходимы для создания записи о компоненте;
- условные элементы данных, используемые в зависимости от особенностей записи о компоненте;
- дополнительные элементы данных, вводимые в соответствии со специальными договоренностями между заказчиком и подрядчиком.

В процессе сбора данных идентифицируют классификацию данных, относящихся к составным частям, и данных, относящихся к их местоположению. Это означает, что элемент данных о составной части может иметь одинаковое значение в каждом местоположении, в котором ее используют (связан с деталями), или значение элемента данных о данной составной части может отличаться и храниться независимо о каждом местоположении (связан с местоположением). Например, MTBF составной части может быть одинаковой или отличаться в различных местах системы.

Сбор данных осуществляют, используя конструкторскую документацию, а также других определенных источников данных о системе и ее структуре в соответствии с назначенными элементами данных в записях IPD. Иерархическое деление должно быть отражено в структуре IPD, показывая инженерную взаимосвязь узлов и их частей, записанную в виде логического порядка деления объекта. Эту взаимосвязь определяет обозначение элемента данных, представляющее собой цифровой код, выделенный для обозначения различных уровней деления. Цифру «1» используют для отображения верхнего уровня, следующий уровень показывает цифра «2», и так далее по мере дальнейшего деления. Для всех объектов число, соответствующее следующему более высокому уровню сборки (QPNHA), должно указывать количество компонентов, установленных в одной единице следующей более высокой сборки.

В IPD общая структура данных может быть определена с помощью «категоризации». Стандартная «категоризация» введена во многих отраслях промышленности, таких как космонавтика, железнодорожная отрасль, автомобилестроение. Она определяет разделы и подразделы, в которые должны быть собраны данные, и, следовательно, предоставляет значения начальных символов уникального идентификатора. Назначение разделов, их подразделов и более мелких делений, единиц измерения и цифр для определения значений остальных символов уникального идентификатора, выполняют с особым вниманием к содержанию каждой категории. Результатом такого деления является создание схем эффективного и экономичного графического представления системы. Разработанные IPD являются основой для создания схем, используемых в процессе IP. Эти схемы вместе с конкретными частями IPD впоследствии используют при подготовке IPC.

Специальные компоненты должны быть указаны в конце рисунка с кодом «1». Это компоненты, которые должны быть включены в IPD, но не содержатся в иерархическом делении системы. Схема может содержать более одного из таких компонентов. Последовательность, в которой они должны быть представлены, должна соответствовать следующему:

- составные части для хранения и транспортировки;
- непрограммные устройства и носители данных;
- элементы маркировки (таблички, отличительные знаки и т. д.);
- контейнеры для хранения и транспортировки;
- ремонтные комплекты;
- комплекты запчастей.

Специальные компоненты должны быть включены в отдельные схемы. Типы компонентов могут включать:

- сырье;
- винты и прокладки;
- расходные материалы;
- общие схемы допусков;
- испытательное оборудование и инструменты;
- состав ремонтного комплекта.

Составные части, не представленные на схеме, должны быть отмечены как «не проиллюстрированные (NI)».

Некоторые особенности записи возникают только в тех случаях, когда возможно или желательно поставлять запасные части, которые не идентичны изготовленным OEM. В таких случаях поставляемая запасная часть требует предоставления специальной информации о ее состоянии, включая:

- предоставление запасной части в «предварительно подобранном» состоянии, например с избыточным припуском на отделку;
- предоставление комплекта блоков с установленными дополнительными компонентами;

- предоставление блоков со снятыми или незакрепленными компонентами, например специальными насадками, болтами, электропроводами и уплотнениями.

Такие составные части должны быть указаны в отдельной записи с тем же уникальным идентификатором, что и установленные или изготовленные на собственном производстве. Составная часть, изготовленная на собственном производстве, должна быть указана первой как нерекомендуемая, за которой следуют соответствующие данные для поддержки рекомендуемой запасной части.

Некоторые составные части не могут быть доведены до состояния «как поставлено»; они требуют выполнения определенных операций (например, сверления или зенкования отверстий) до или во время установки. Такие составные части должны быть идентифицированы, и соответствующая информация должна быть указана.

Ремонтный комплект включает в себя набор запасных частей, поставляемых под единым номером с составной частью, для ремонта которой их используют, в соответствии с утвержденной изготовителем схемой. Ремонтный комплект может включать стандартные запасные части, специальные ремонтные части и, где это применимо, вспомогательные инструменты и специальные расходные материалы.

Ремонтный комплект — это комплект, включающий в себя набор элементов, таких как прокладки, уплотнения, уплотнительные кольца, поставляемых под одним номером с соответствующей составной частью, которые заменяют всякий раз, когда составная часть, для которой изготовлен ремонтный комплект, разбирают для ремонта или исследования. Ремонтный комплект обычно включает компоненты, указанные в техническом делении составной части, их идентифицируют как элементы комплекта.

Для комплекта запасных частей следует учитывать срок годности отдельных компонентов (см. IEC 62435).

Подробная информация о расходных материалах (например, топливе, маслах, смазочных материалах, жидкостях, красках, клеях, смесях, растворителях и аналогичных материалах), необходимых для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта оборудования в соответствии с концепцией и политикой технического обслуживания, должна быть указана на отдельной схеме. Эти расходные материалы должны быть сгруппированы по типам (например, смазочные материалы, лаки, растворители, чистящие средства). Все позиции, указанные на схеме расходных материалов, должны быть указаны как непроиллюстрированные (NI).

Если два или более компонента взаимозаменяемы в определенном месте, они должны быть представлены с одним и тем же уникальным идентификатором. Этим компонентам должен быть присвоен соответствующий информационный код взаимозаменяемости.

Конкретная информация должна быть определена в базе данных и должны быть указаны соответствующие коды. Эти коды могут включать сведения (перечень может быть дополнен):

- о взаимозаменяемости;
- специальных условиях запасных частей;
- необходимости подгонки;
- комплекте запасных частей;
- ремонтном комплекте.

7.3 Каталог запасных частей

Каталоги запчастей служат для обмена информацией пользователей, изготовителей и поставщиков о потребностях в запасных частях и помогают при выполнении ремонтных работ. Кроме того, каталоги запчастей являются организационными ресурсами при управлении запасными частями как у изготовителя или поставщика, так и у пользователя. Каталоги запчастей предоставляют на основе соглашения между изготовителями или поставщиками и пользователями.

Содержание каталога запчастей зависит от предполагаемой цели и /или концепции технического обслуживания и должно быть согласовано между изготовителем и поставщиком или пользователем.

Объем информации, приводимой в каталоге запчастей, должен быть согласован изготовителем и поставщиком и пользователем.

8 Управление поставками

8.1 Общие положения

8.1.1 Деятельность

Управление поставками охватывает среднесрочные и краткосрочные действия. Управление поставками должно обеспечивать (см. рисунок 10):

- планирование запасных частей (стратегическое, бюджетное, для поставки и работы);
- подготовку, планирование и размещение заказов на запасные части;
- контроль сроков выполнения заказов;
- контроль времени оборота.

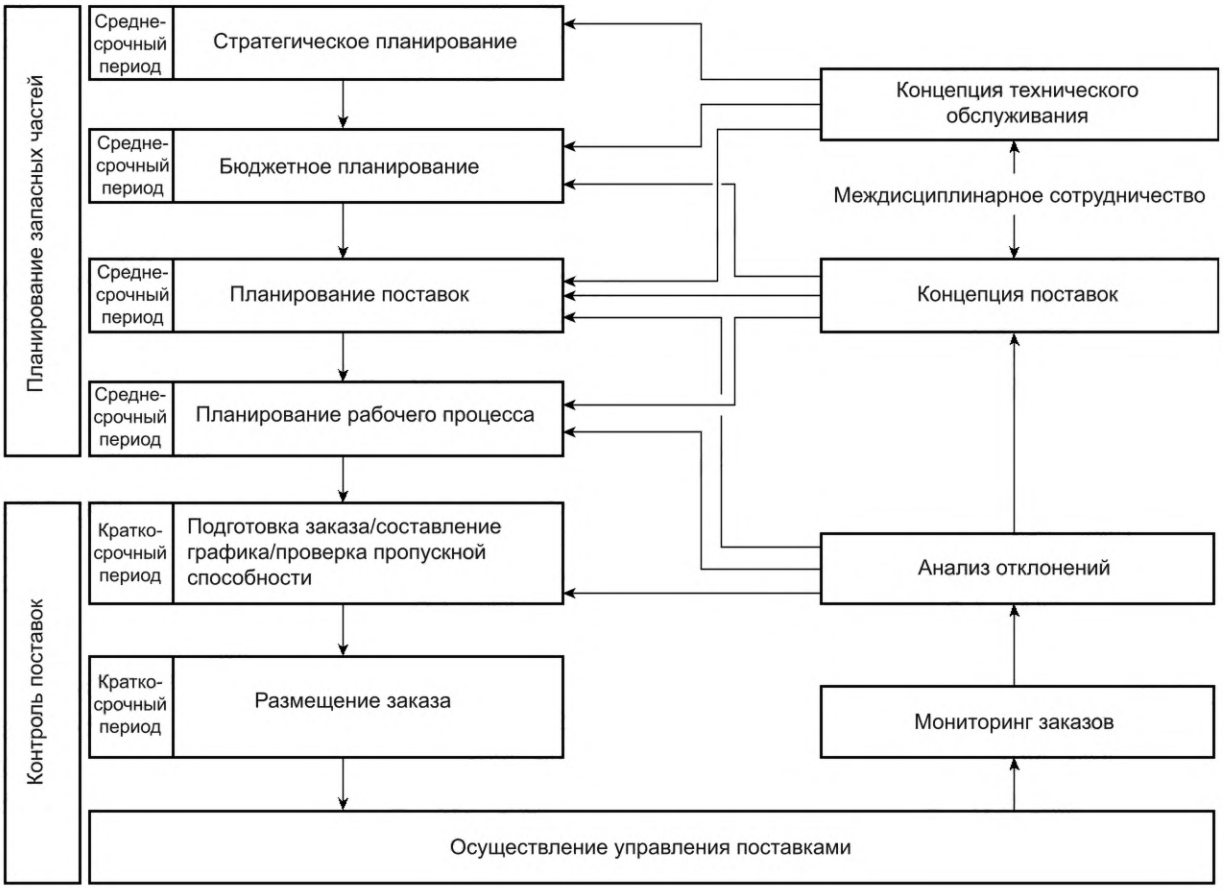


Рисунок 10 — Деятельность по управлению поставками

В настоящем стандарте описано управление поставками, поскольку оно влияет на обеспечение запасными частями, но рассмотрены не все аспекты управления поставками.

8.1.2 Экономическое обеспечение

Предпосылками для экономичного обеспечения запасными частями являются:

- определение задач и ответственности;
- персонал для выполнения задач;
- определение показателей результативности, таких как FR, готовность, время ожидания;
- организационные вспомогательные средства;
- одобренные методы хранения;
- документация по запасным частям.

8.2 Источники запасных частей

Запасные части и материалы, необходимые для технического обслуживания, можно приобретать не только у OEM, но и из других источников[1)]. Спецификации и качество запасных частей и материалов определяет OEM, они также зависят от условий эксплуатации и использования. Обеспечение качества является совместной ответственностью изготовителя запасных частей и конечного пользователя.

8.3 Политика в области поставок

8.3.1 Инсорсинг

Термин «инсорсинг» означает перенос производства или услуг на территорию организации или в ее непосредственные окрестности с целью освобождения транспортных процедур от внешнего влияния. В контексте поставки запасных частей внешний поставщик услуг может управлять, например, распределительным складом на территории оператора системы.

8.3.2 Аутсорсинг

Термин «аутсорсинг» указывает на передачу услуг внешним предприятиям. Организация старается организовать свою работу «как можно более экономно» («бережливое производство») и в отношении служб поддержки поставок поддерживать только те из них, которые относятся к основной деятельности. Таким образом, следует рассмотреть основные продукцию или услуги, которые составляют большую часть оборота. Особую ценность представляют подразделения организации, изготавливающие продукцию, которую нельзя приобрести по той же цене, что и на рынке.

В этом смысле экономически выгодно переносить или закрывать участки производства продукции, которую можно более экономично приобрести на рынке. Необходимо оценить другие критерии, такие как присутствие на рынке, а также зависимость от поставок и их стабильность.

Аутсорсинг функций службы снабжения оказывает большое влияние на поддержку системы для управления потребностями в обслуживании. Процесс оперативного планирования должен быть тесно интегрирован с функциями планирования услуг и технического обслуживания и со сценарием поставщика услуг; жизненно важна интеграция, как с точки зрения процесса, так и с точки зрения системы.

8.3.3 Единственный источник

Многие предприятия используют поиск единого поставщика или ограниченного количества поставщиков, чтобы снизить сложность поиска источников поставок и затраты на совершение закупок, а также повысить прозрачность процесса закупок. Термин «единый поставщик» означает концентрацию на одном источнике закупок. Выбранный поставщик должен быть квалифицированным.

С повышением требований к качеству возрастает важность единого источника в политике поставок. Общие инвестиции обычно приводят к взаимозависимости. Тесное сотрудничество на основе обучения, опыта и синергии может привести к снижению затрат, в результате чего поставщики и заказчики получают прибыль, которая не может быть увеличена без сотрудничества.

Что касается повышенного риска непредвиденных обстоятельств, следует создать условия инфраструктуры таким образом, чтобы они обеспечивали быстрое и безопасное снабжение. Сотрудничество, необходимое при использовании единого источника, требует, в частности, наличия возможности взаимодействовать с различными организационными культурами, способствуя доверию, открытости и принятию критики с высокой степенью готовности на всех уровнях. Для обеспечения тесного сотрудничества должны быть созданы структуры, которые минимизируют взаимодействия и способствуют оптимальному, а не изолированному локальному решению проблем. Эффективный поток запасных частей, материалов и данных является неотъемлемым элементом отношений с единственным поставщиком.

Сосредоточившись на одном или нескольких поставщиках, можно снизить затраты на выполнение закупок и логистику. Дополнительные преимущества заключаются в возможно более эффективном использовании мощностей поставщиков при больших объемах заказов. Концентрация на собственных возможностях поставщиков приводит к экономии средств в результате разделения труда. Также реорганизация потока материалов и товаров приводит к снижению затрат, например, за счет меньших затрат на капитальные вложения в запасные части и материалы и меньших затрат на содержание складских запасов.

При рассмотрении экономики единственного источника может быть трудно подсчитать затраты и выгоды от сотрудничества. Кроме того, сомнительно, способны ли существующие системы бухгалтерского учета помочь в проведении такого анализа. Оценку риска, который принимает на себя

[1)] *В этом случае может потребоваться согласование с изготовителем.*

организация, ограничиваясь одним поставщиком, трудно измерить. Существуют некоторые риски, такие как нарушения в производстве и перерывы в работе, уязвимость к забастовкам, непризнание новых технологических разработок, отказ от конкуренции, а также потенциальные «издержки переключения», которые усложняют замену поставщика. Следовательно, необходимо изучить, являются ли стоимостные преимущества единственного источника достаточно выгодными, и уравновешиваются ли они трудно просчитываемыми рисками. При рассмотрении недостатков политики единственного поставщика следует оценить, возможно ли снабжение из двух источников, т. е. для каждой составной части следует предусмотреть по крайней мере двух поставщиков.

8.3.4 Глобальный источник

Термин «глобальный источник» четко не определен несмотря на интенсивное обсуждение в литературе. Часто под глобальным источником понимают «международную закупку» или эффективное использование общемировых ресурсов в диапазоне персонала, материалов, энергии и капитала. Глобальный источник может быть определен как освоение международного рынка применительно к стратегии управления поставками и как систематическое расширение политики закупок из международных источников и корректировки стратегии закупок.

Для того чтобы иметь возможность эффективно управлять глобальным поиском поставщиков, требуется рассмотрение ряда внутренних и внешних аспектов. К внешним аспектам относятся политическая стабильность, безопасность торговли и вопросы права, должен быть осуществлен переход от чисто закупочной функции к управлению цепочками поставок. Глобальный поиск поставщиков может стать эффективным только при наличии обширных знаний, управленческого опыта, хорошей квалификации и соответствующей ориентации сотрудников. Расширенное изучение рынка закупок является существенной предпосылкой для получения необходимой информации. Логистическая цепочка должна быть контролируемой и управляемой на всех границах и системах юрисдикции, это приводит к возрастающей сложности, глобальным сетям передачи данных и использованию различных транспортных средств.

Оценка концепции глобального источника, включающей компонент международных закупок, в основном сосредоточена на снижении затрат на доставку. Различия в ценах очевидны и непосредственно заметны, однако за этим скрывается комплексный подход. Оценка должна включать аспекты меньшего риска закупок и более высокой безопасности поставок. Следует учитывать оценку рисков, связанных с колебаниями валютных курсов, перебоями в цепочках поставок и политическими изменениями.

Ускоренный переход к закупкам по всему миру приводит в основном к ухудшению качества и четкости выполнения графика потоков запасных частей и материалов. Для поддержания фиксированного уровня обслуживания необходимо применять расширенные методы планирования, например, отдельные системы управления или более высокую частоту планирования.

8.3.5 Параллельные источники

Технические системы могут быть закуплены и внедрены в один или несколько этапов. В этом случае для количественной оценки и закупки запасных частей рекомендуются различные процедуры.

При одноэтапном введении системы, как правило, предъявляют более высокие требования к качеству определения количества запасных частей, чем при введении в несколько этапов, в частности, если это касается оборудования или систем, которые изготавливают в небольшом количестве. Поскольку нельзя исключить поломки и трудности при первом изготовлении, необходимо применять соответствующие процедуры первоначальной поставки.

В случае систем, изготавливаемых в большом количестве, но закупаемых одним заказчиком в небольшом количестве (по сравнению с общим объемом производства), в целом можно предположить, что запасные части с незначительно измененными затратами могут быть приобретены в течение короткого времени. В этих случаях экономичным и целесообразным является запас количества запасных частей, соответствующего требованиям всего этапа эксплуатации. Кроме того, количественная оценка обычно может основываться на данных о надежности, полученных другими операторами.

Для систем, изготавливаемых лишь в небольших количествах и предназначенных для ограниченной группы пользователей, обычно необходима так называемая пожизненная закупка, т. е. закупка на весь срок службы системы, поскольку производство прекращается после установки оборудования и поставки запасных частей. Последующие повторные заказы могут быть изготовлены, если это технически возможно, только на единичном производстве по значительно более высокой цене. Это означает, что запасные части следует закупать одновременно с изготовлением системы.

8.3.6 Управление устареванием

Термин «устаревание» используют для обозначения того, что объект, в данном случае запасную часть, больше невозможно приобрести. В принципе все товары, доступные на рынках, могут быть подвержены устареванию, поэтому поставки запасных частей могут постепенно прекращаться к концу жизненного цикла объекта.

Любая часть оборудования, инструменты, аппаратные средства, программное обеспечение, сопутствующая продукция и т. д. могут устаревать. Проблема устаревания возникает на всех этапах жизненного цикла объекта, но последствия устаревания особенно велики после завершения серийного производства объекта. Как правило, фаза устаревания начинается сразу после поступления информации о прекращении производства объекта, в этом случае объект считают устаревшим. Устаревание неизбежно, дорого обходится, его нельзя игнорировать.

Управление устареванием — это процесс обеспечения того, что объект может быть изготовлен и обеспечен техническим обслуживанием в течение предполагаемого срока службы. Процесс состоит из запланированных и скоординированных действий по обеспечению готовности объекта в течение его предполагаемого срока службы путем экономичного и практически осуществимого обеспечения объекта сменными компонентами и вспомогательными действиями.

При управлении устареванием следует учитывать два основных варианта стратегии:

- реактивная стратегия: на проблемы устаревания реагируют по мере их возникновения;
- проактивная стратегия: заранее разрабатывают и внедряют план управления устареванием. Более подробная информация приведена в IEC 62402.

8.4 Планирование и контроль потока ремонтируемых запасных частей

Существует несколько вариантов действий по замене запасных частей:

- непрерывный ремонт: неисправные ремонтопригодные составные части отправляют на ремонт немедленно, как только идентифицирована необходимость их ремонта;
- ремонт партиями: неисправные ремонтопригодные составные части отправляют на ремонт только по достижении заранее определенного количества;
- использование новых составных частей: оценивают процент неисправных ремонтопригодных составных частей, ремонт которых экономически нецелесообразен, их необходимо заказывать, чтобы количество запасных частей оставалось постоянным (изготовление объекта может занять больше времени, чем ремонт);
- разборка и ремонт: заменяемая составная часть может состоять из нескольких элементов, но более целесообразным считается замена составной части более высокого уровня. При последующей разборке составной части определяют элемент более низкого уровня, который затем подвергают оперативному ремонту или ремонту партиями;
- модификация: значимость модификации может потребовать немедленной модификации всех запасных частей, модификации запасных частей только при ремонте или модификации запасных частей только тогда, когда ремонт связан с модификацией. Модификация может увеличить время оборота.

Кроме того, возможно хранение запасных частей в нескольких местах, также могут существовать центры, обеспечивающие запасными частями несколько конкретных складов. Это позволяет заимствовать необходимую запасную часть в другом месте или центре. Это особенно правильно для глобальных систем.

Динамичная система обеспечения запасными частями, которая автоматически отслеживает номенклатуру и объем запасных частей, обеспечивает немедленное выявление возможных проблем, что может значительно улучшить снабжение запасными частями крупных систем.

При планировании поставок запасных частей также необходимо учитывать время, необходимое для надлежащей упаковки запасных частей, чтобы обеспечить их транспортировку и хранение без ущерба, вызванного неправильным обращением или воздействием окружающей среды. В некоторых случаях упаковка предназначена для поставки партии заранее определенного объема.

Приложение А
(справочное)

Прогнозирование запросов

А.1 Общие положения

Отправной точкой всех решений является прогноз количества будущих запросов. Могут быть применены три основные группы процедур прогнозирования запросов:

- детерминированные процедуры;
- статистический анализ на основе данных о потреблении;
- субъективная оценка.

Обзор процедур прогнозирования показан на рисунке А.1.



Рисунок А.1 — Процедуры прогнозирования запросов

А.2 Комплексное определение количества запросов

Наиболее неблагоприятный случай — это ситуация, когда для первоначального обеспечения доступна только оценка интенсивности (параметра потока) отказов. Количество запросов запасных частей и их распределение во времени оценивают по особенностям отказов составной части. Кроме того, необходимо учитывать условия и интенсивность эксплуатации составной части.

Важным параметром для расчета необходимого количества запасных частей является время замены неремонтопригодных запасных частей или время оборота ремонтопригодных запасных частей.

При внедрении новой технической системы данные о потреблении в прошлом для первоначального обеспечения запасными частями отсутствуют. Таким образом, анализ временных рядов не может быть выполнен. Вместо него потребность прогнозируют с помощью данных о безотказности.

В принципе существует три метода получения данных о безотказности:

- испытания на безотказность и/или экспериментальное определение изготовителями запасный частей;
- оценка на основе данных эксплуатации и статистики отказов от пользователей;
- руководства по прогнозированию безотказности, такие как IEC 61709 и IEC 62308.

Первый метод подходит для новых составных частей, для которых еще нет эмпирических данных. Преимущество этой процедуры заключается в том, что возможны мониторинг и регулировка условий измерения и значений нагрузок. Выборки отказов и причины отказов могут быть точно оценены в лаборатории. Лабораторные испытания являются технически сложными и очень дорогостоящими из-за необходимого объема и продолжительности испытаний. Для сокращения продолжительности испытаний можно использовать ускоренные испытания в соответствии с IEC 62506 и IEC 61649.

Второй метод, как правило, дешевле и применим при наличии данных эксплуатации и статистики отказов. На основе отказов и наработок можно рассчитать MTBF, а также напрямую подсчитать вероятность безотказной работы, т. е. можно учесть все воздействия окружающей среды. Учитывая интенсивность (параметр потока) отказов в зависимости от конкретных условий, можно оптимизировать и рассчитать объем хранения запасных частей для повышения готовности объекта.

Обратная связь с изготовителем оборудования может быть проблематичной. Следует учитывать только те отказы, которые произошли при номинальной (нечрезмерной) нагрузке в результате механических, электрических, тепловых или других воздействий окружающей среды. Кроме того, причины отказа и тип отказа (первичный или вторичный отказ) не могут быть достоверно распознаны.

Третий метод, использующий при определении интенсивности отказов вместо лабораторных испытаний или оценки данных эксплуатации опыт третьих сторон, является простым способом получения первых приближенных оценок показателей безотказности. Оценки интенсивности (параметра потока) отказов запасных частей, предлагаемых на рынке, можно найти в справочниках, перечисленных в IEC 61709.

А.3 Прогноз, основанный на данных о потреблении

А.3.1 Общий обзор

Установленные процедуры прогнозирования запросов на основе результатов прошлых наблюдений включают:

- прогноз на основе скользящего среднего;
- прогноз на основе взвешенного скользящего среднего;
- прогноз на основе экспоненциального сглаживания;
- прогноз на основе регрессионного анализа;
- прогноз на основе моделирования.

А.3.2 Прогноз на основе скользящего среднего

При применении прогноза на основе скользящего среднего усредняют значения за некоторое количество прошлых периодов времени:

$$p_i = \frac{d_{i-1} + d_{i-2} + \cdots + d_{i-k} + d_{i-n}}{n} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} d_{i-k}, \quad (A.1)$$

где p_i — прогноз на текущий период планирования;

d_{i-k} (k = 1, 2, ..., n) — количество запросов в предыдущие периоды планирования;

n — количество рассматриваемых периодов планирования.

Эта процедура прогнозирования требует наличия данных о запросах за предыдущие периоды. В данном расчете все периоды планирования имеют одинаковый вес.

А.3.3 Прогноз на основе взвешенного скользящего среднего

При прогнозировании на основе взвешенного скользящего среднего применяют различные весовые коэффициенты для конкретных периодов планирования. При наличии сезонного влияния значения аналогичных периодов учитывают с более высоким весом. Если недавний запрос считают более важным по сравнению с запросами в предыдущие периоды, веса упорядочивают в убывающем порядке. Эта процедура требует, чтобы были доступны данные о количестве запросов за предыдущие периоды и соответствующие им весовые коэффициенты.

$$p_i = \frac{w_1 d_{i-1} + w_2 d_{i-2} + \cdots + w_k d_{i-k} + w_n d_{i-n}}{n} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} w_k d_{i-k}. \quad (A.2)$$

А.3.4 Прогноз на основе экспоненциального сглаживания

Прогноз на основе экспоненциального сглаживания представляет собой частный случай прогнозирования на основе взвешенного скользящего среднего. Экспоненциальное сглаживание — это метод, который может быть применен к данным временных рядов для прогнозирования. Процедура требует знания не всех отдельных значений в прошлом, а только трех элементов данных:

$p_{\text{прогноз ст.}}$ — прогноз по данным предыдущего планового периода;

$p_{\text{факт. ст.}}$ — фактическое количество запросов по данным предыдущего планового периода;

α — коэффициент сглаживания.

Термин «сглаживание» означает своего рода усреднение. Следующая формула соответствует экспоненциальному сглаживанию 1-го порядка:

$$p_{\textit{прогноз нов.}} = p_{\text{прогноз ст.}} + \alpha(p_{\text{факт. ст.}} - p_{\text{прогноз ст.}}). \quad (A.3)$$

Коэффициент сглаживания α является константой, которая должна быть установлена и принимает значения от 0 до 1. Новое значение $p_{\textit{прогноз нов.}}$ вычисляют на основе предыдущего (старого) значения $p_{\text{прогноз ст.}}$ и скоррек-

тированной умножением на коэффициент сглаживания α разности фактического и прогнозируемого запросов за предыдущий период планирования.

Если значение α равно 1, новое значение $p_{прогноз\ нов.}$ равно фактическому объему запросов в предыдущем периоде планирования. При α = 0,1 в новом прогнозе учитывают только 10 процентов отклонения прогнозируемого объема запросов от фактического. Значения α, близкие к 1, имеют незначительный эффект сглаживания и придают большее значение недавним изменениям данных; значения α, близкие к нулю, имеют больший эффект сглаживания и придают меньшее значение недавним изменениям.

На основе (А.3) можно записать:

$$p_i = p_{i-1} + \alpha \cdot (d_{i-1} - p_{i-1}) = \alpha \cdot d_{i-1} + p_{i-1} \cdot (1 - \alpha). \quad (A.4)$$

Последовательно заменяя в формуле p_{i-1} (старое значение) значением предыдущего периода, формулу можно записать следующим образом:

$$p_i = \alpha \cdot d_{i-1} + \alpha\,(1 - \alpha) \cdot d_{i-2} + \alpha\,(1 - \alpha)^2 \cdot d_{i-3} + \alpha\,(1 - \alpha)^3 \cdot d_{i-4} + \cdots . \quad (A.5)$$

Формула (А.5) показывает, что значение, используемое в прогнозе, представляет собой среднее значение, которое определяют на основе объема запросов за прошлые периоды, умноженных на весовые коэффициенты. Весовые коэффициенты представляют собой геометрическую прогрессию. Термин «сглаживание» означает, что более старые значения оказывают на результат меньшее влияние, чем недавние значения.

Формально корректной процедуры оценки α не существует. На практике применяют значения α в диапазоне от 0,2 до 0,5. Статистические методы также могут быть использованы для оптимизации значения α. Например, в качестве α может быть использовано такое значение α, при котором сумма квадратов разностей $(p_{k-1} - d_{k-1})^2$ минимальна.

А.3.5 Прогноз на основе регрессионного анализа

Многие наблюдения в экономике, а также в управлении запасами представлены в виде временных рядов. Чтобы оценить будущий объем запросов, необходимо изучить историю запросов в прошлом и различные факторы, влияющие на него. Например, исследование может показать, что в прошлом объем запросов возрастал с постоянным отношением данных предыдущего периода планирования к последующему периоду. Существуют три основных фактора, которые могут влиять на рост запросов: количество систем, вызывающих запросы, интенсивность использования и снижение надежности, например, из-за износа или усталости. Следовательно, эти факторы должны быть исследованы.

Приложение В
(справочное)

Показатели результативности

В.1 Общие положения

Наличие запасных частей рассматривают как важный фактор результативности сопровождения системы. Наличие и техническое обслуживание соответствующего запаса запасных частей имеет решающее значение для обеспечения готовности технической системы. Рассматриваемые ниже модели не учитывают затраты. Возможно, включение затрат позволит получить более эффективные показатели.

В данном приложении описаны различные показатели результативности.

В.2 Показатели результативности, связанные с запасами

В.2.1 Интенсивность удовлетворения запросов (FR) и риск дефицита (ROS)

Система обеспечения запасными частями с номинальным запасом S данного объекта может быть описана на основе цепочки, которая может принимать следующие состояния:

$$S, S-1, S-2, S-k, \ldots, S-(S-1), S-S, S-(S+1), -2, \ldots, -\infty.$$

В состояниях от S до $S-(S-1)$ все запросы могут быть выполнены. Состояние S–S означает ситуацию, при которой на складе нет запасных частей, а также отсутствует запрос, который при возникновении не может быть удовлетворен. Таким образом, интенсивность удовлетворения запросов является суммой всех вероятностей $w(k)$ состояний от S до $S-(S-1)$:

$$FR = \sum_{k=0}^{s-1} w(k). \tag{B.1}$$

Риск дефицита (ROS) или вероятность отсутствия запасов определяет долю запросов, которые не могут быть немедленно удовлетворены за счет запасов запасных частей. В описанной цепочке все эти состояния не учитывают при определении интенсивности удовлетворения запросов. Сумма интенсивности удовлетворения запросов и риска дефицита всегда равна 1.

$$ROS = 1 - FR. \tag{B.2}$$

Предполагая, что $w_k(k|\lambda T)$ подчиняется распределению Пуассона, можно записать

$$ROS = \sum_{k=S}^{\infty} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-(\lambda T)} = 1 - \sum_{k=0}^{S-1} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-(\lambda T)}, \tag{B.3}$$

где T — продолжительность перехода, т. е. время выполнения ремонта (включая время транспортировки) для ремонтопригодных составных частей, время пополнения запаса (включая время транспортировки) для неремонтопригодных составных частей в часах;

λ — средняя интенсивность запросов в час;

S — количество запасных частей.

Если интенсивность отказов постоянна, среднее количество запросов в течение заданного времени T равно λT и может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\lambda T = N_{SyS} \cdot v \cdot QPS \cdot \rho_{item} \cdot T = \frac{N_{SyS} \cdot v \cdot QPS \cdot T}{MTBR}, \tag{B.4}$$

где N_{SyS} — количество систем;

v — интенсивность использования (например, количество часов работы на систему или календарных часов);

QPS — количество на систему;

ρ_{item} — интенсивность замен;

$MTBR$ — среднее время между заменами;

T — продолжительность перехода, т. е. время выполнения ремонта (включая время транспортировки) для ремонтопригодных запасных частей, время пополнения запасов (включая время транспортировки) для неремонтопригодных запасных частей в часах.

На рисунке В.1 FR показана как функция изменения среднего количества запросов в зависимости от заданного периода времени T (λ, T) и количества запасных частей S.

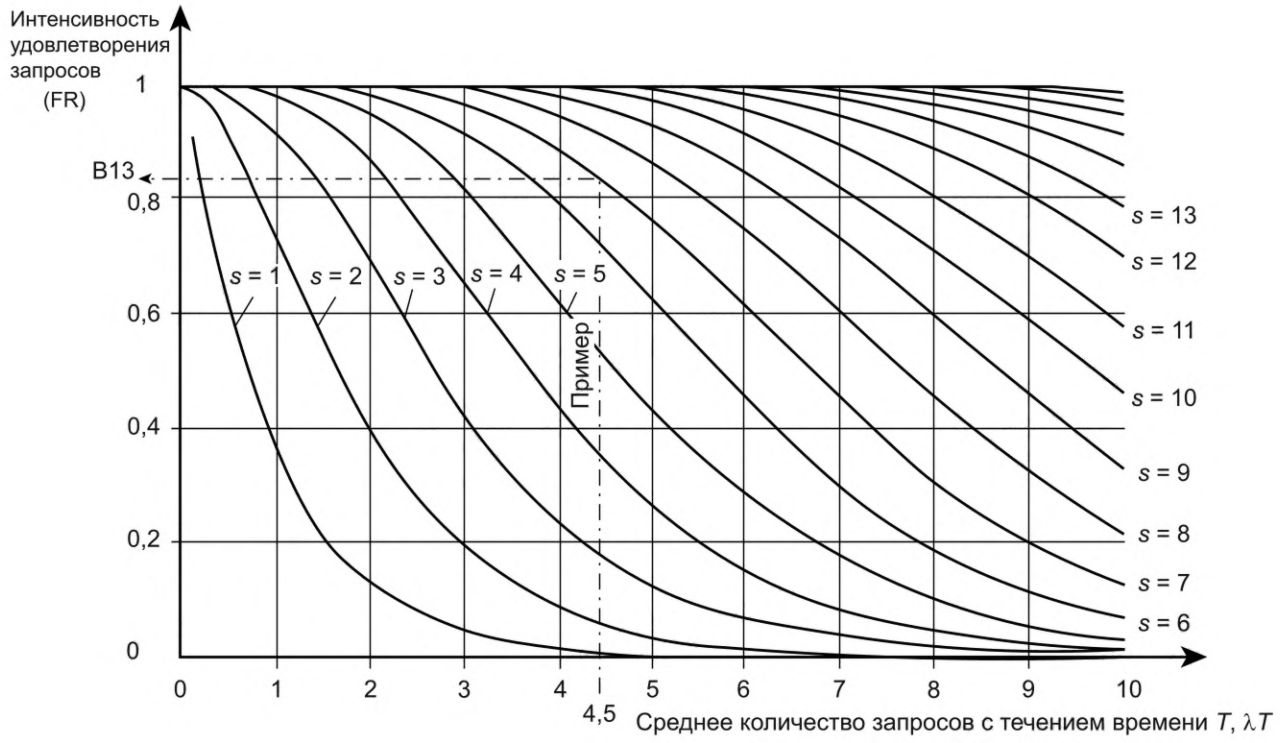


Рисунок В.1 — График для определения интенсивности удовлетворения запросов (FR) при использовании распределения Пуассона

Как правило, необходимое количество запасных частей может быть рассчитано по следующей приближенной формуле для общего количества более 30:

$$S = \{\lambda T + K \cdot \sqrt{\lambda T}\}. \quad \text{(B.5)}$$

Коэффициент K определяет интенсивность удовлетворения запросов и должен быть определен в соответствии с рисунком В.2.

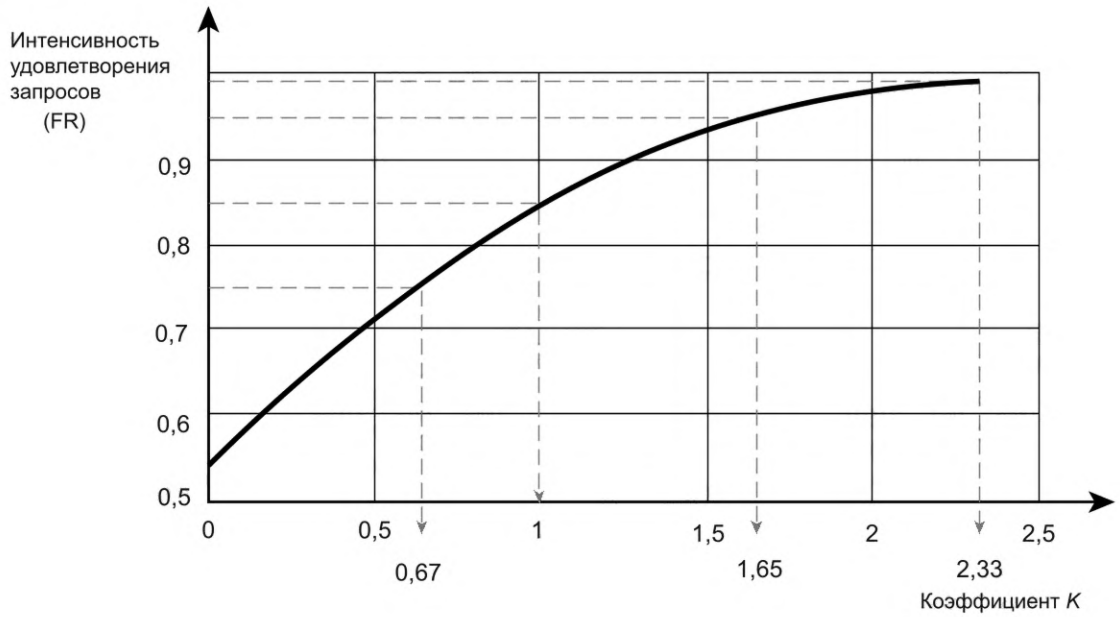


Рисунок В.2 — График для определения значения коэффициента K, соответствующего требуемой интенсивности удовлетворения запросов

В.2.2 Среднее количество невыполненных запросов (EBO)

Невыполненные запросы — это запросы, которые не могут быть удовлетворены немедленно. Они могут быть удовлетворены тогда, когда запасная часть выйдет из цикла ремонта или произойдет пополнение запасов. Система обеспечения запасами частями с невыполненными запросами показана на рисунке В.3.

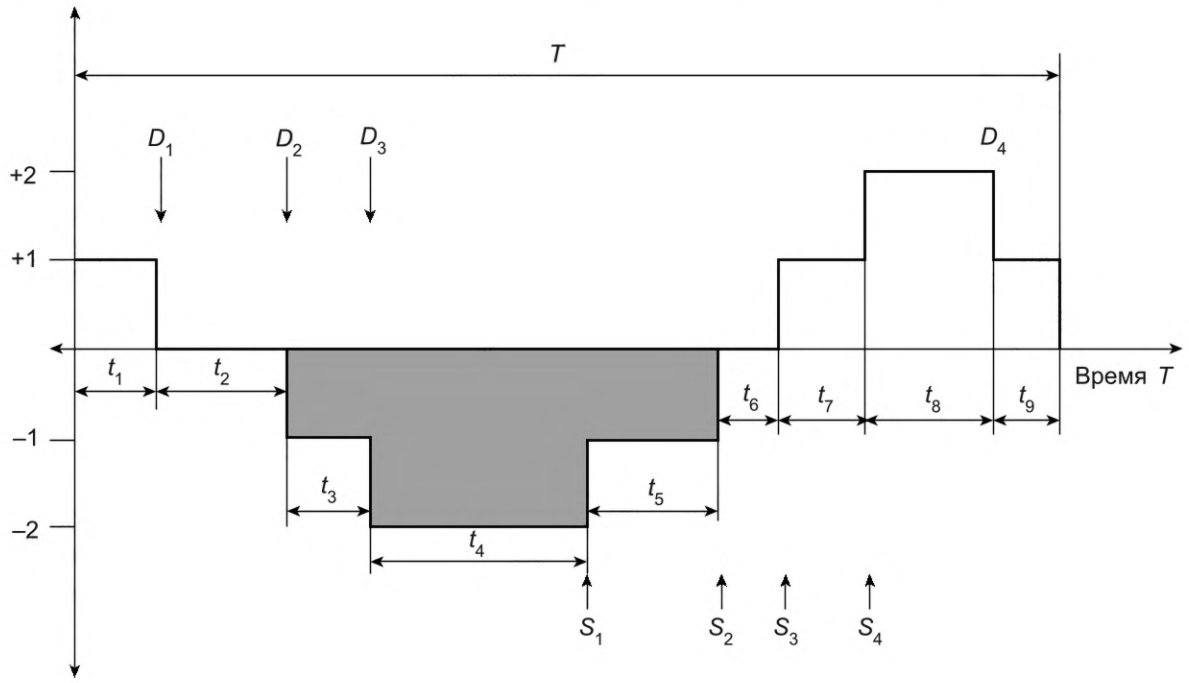


Рисунок В.3 — Система обеспечения запасными частями с невыполненными запросами

В течение рассматриваемого репрезентативного периода времени T возникают четыре запроса по каждой запасной части: запросы $D_1 – D_4$. В моменты времени от S_1 до S_4 отремонтированная запасная часть выходит из цикла ремонта. Следовательно, уровень запасов равен 1 в периоды времени t_1, t_7 и t_9, в течение времени t_8 уровень запасов равен 2, а в течение оставшегося времени $t_2 – t_6$ запасные части отсутствуют.

Удовлетворение запроса на запасную часть в момент времени D_2 задерживается, оно может произойти только после поступления компонента в момент времени S_1. Аналогично запрос в момент времени D_3 может быть удовлетворен только в момент времени S_2. В период времени T, как показано на рисунке В.3, два запроса не могут быть выполнены. Показатель «среднее количество невыполненных запросов» представляет собой средневзвешенное значение за период времени T и может быть определен следующим образом:

$$EBO = \frac{1 \cdot (t_3 + t_4) + 1 \cdot (t_4 + t_5)}{T} = \frac{t_3 + 2 \cdot t_4 + t_5}{T}. \quad (B.6)$$

Среднее количество невыполненных запросов также может быть описано с помощью цепочек следующих состояний:

$$S, S-1, S-2, S-k, \ldots, S-(S-1), S-S, S-(S+1), -2, \ldots, -\infty.$$

В состояниях от S до $S – (S – 1)$ все требования могут быть выполнены. Начиная с состояния $S – (S + 1)$, сначала 1 требование, затем 2 и т. д. не могут быть выполнены. Следовательно, количество неудовлетворенных запросов может быть рассчитано как сумма всех вероятностей $w(k)$ состояний $k \geq S + 1$, умноженных на член $(k – S)$; общее уравнение имеет вид:

$$EBO = \sum_{k=S+1}^{\infty} (k - S) \cdot w(k). \quad (B.7)$$

Если $w_k(k|\lambda T)$ подчиняется распределению Пуассона, уравнение для вычисления среднего количества неудовлетворенных запросов имеет вид:

$$EBO = \sum_{k=S+1}^{\infty} (k - S) \cdot w(k)(k|\lambda T) = \sum_{k=S+1}^{\infty} (k - S) \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-(\lambda T)}. \quad (B.8)$$

Для практических расчетов уравнение (B.8) не подходит, поскольку включает суммирование до бесконечности. Среднее количество неудовлетворенных запросов может быть определено путем вычисления с конечным суммированием по следующей формуле:

$$EBO = (\lambda T) \cdot \frac{(\lambda T)^S}{S!} \cdot e^{-(\lambda T)} + (\lambda T - S) \cdot \left[1 - \sum_{k=0}^{S} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-(\lambda T)}\right]. \quad \text{(B.9)}$$

Показатель EBO не является распространенным на практике. Концептуально его трудно понять, а также измерить. Причина, по которой он рассмотрен здесь подробно, заключается в важности расчета MWT.

B.2.3 Среднее время ожидания (MWT)

MWT может быть рассчитано на основе EBO путем деления его на интенсивность запросов λ:

$$MWT = \frac{EBO}{\lambda}. \quad \text{(B.10)}$$

MWT учитывает все запросы, даже те, для которых время ожидания из-за наличия запасов равно нулю. В случае возникновения запросов, которые не могут быть удовлетворены немедленно, продолжительность ожидания больше MWT.

На рисунке B.4 показано соотношение MWT и времени выполнения ремонта T, как функция среднего количества запросов в течение заданного времени $T(\lambda T)$ и количества запасных частей S. Таким образом, MWT можно вычислить путем умножения на продолжительность ремонта T.

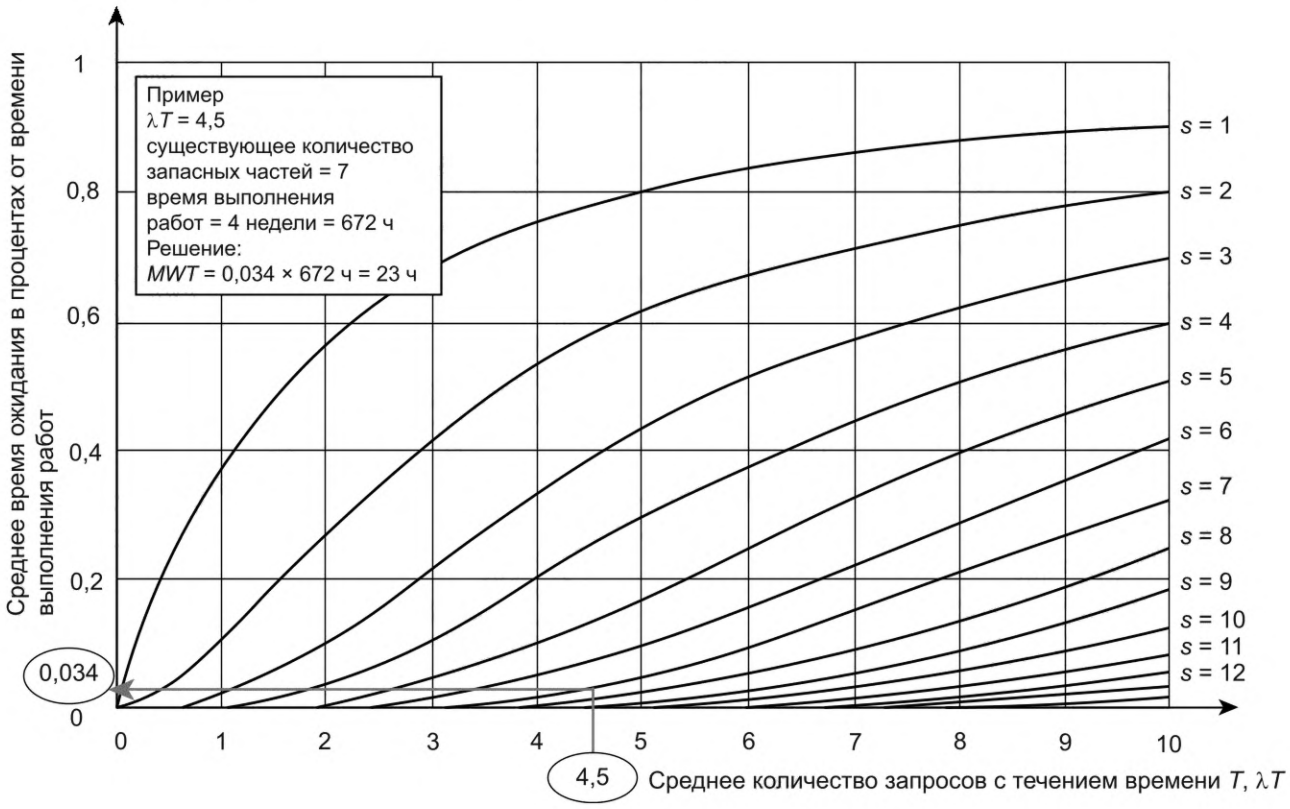


Рисунок B.4 — График для определения среднего времени ожидания (MWT) в случае, когда запросы подчиняются распределению Пуассона

B.3 Показатели результативности системы

B.3.1 Эксплуатационная готовность системы (A_{op})

Эксплуатационную готовность системы (A_{op}) при стационарной работе рассчитывают по следующей формуле:

$$A_{op} = \frac{MTBR}{MTBR + MDT}, \quad \text{(B.11)}$$

где A_{op} — эксплуатационная готовность системы;

$MTBR$ — среднее время между заменами;

MDT — средняя продолжительность неработоспособного состояния.

$$MDT = MRT + MLD + MWT, \quad \text{(B.12)}$$

где MRT — средняя продолжительность ремонта;
MLD — средняя продолжительность логистического простоя;
MWT — среднее время ожидания.

MRT рассчитывают, как средневзвешенное значение отдельных продолжительностей замены LRI. Средняя продолжительность логистического простоя представляет собой простои, вызванные нехваткой ресурсов.

Для прерывистых режимов работы формула (B.12) не применима. Определение реальной готовности при прерывистой работе должно учитывать конкретный режим работы, последствия отказов и ресурсы для ремонта. Для определения реальной готовности этой системы необходимо применить более сложный метод, такой как моделирование методом Монте-Карло.

B.3.2 Количество систем, не готовых к работе (NOR)

Показатель NOR рассчитывают, как среднее количество систем, не готовых к работе из-за текущего ремонта и нехватки запасных частей:

$$NOR = (1 - A_{op}) \cdot N, \quad \text{(B.13)}$$

где A_{op} — оперативная готовность системы;
N — общее количество систем.

Приложение С
(справочное)

Пример: оценка необходимого количества запасных частей и оптимизация запасов на складе

С.1 Общие положения

В данном примере описаны оценка необходимого количества запасных частей и оптимизация запасов на складе. Пример относится к объекту с наименованием «сеть обмена данными (DCN)». Пример заимствован из IEC 60300-3-3:2004. Структура деления объекта на элементы показана на рисунке С.1.

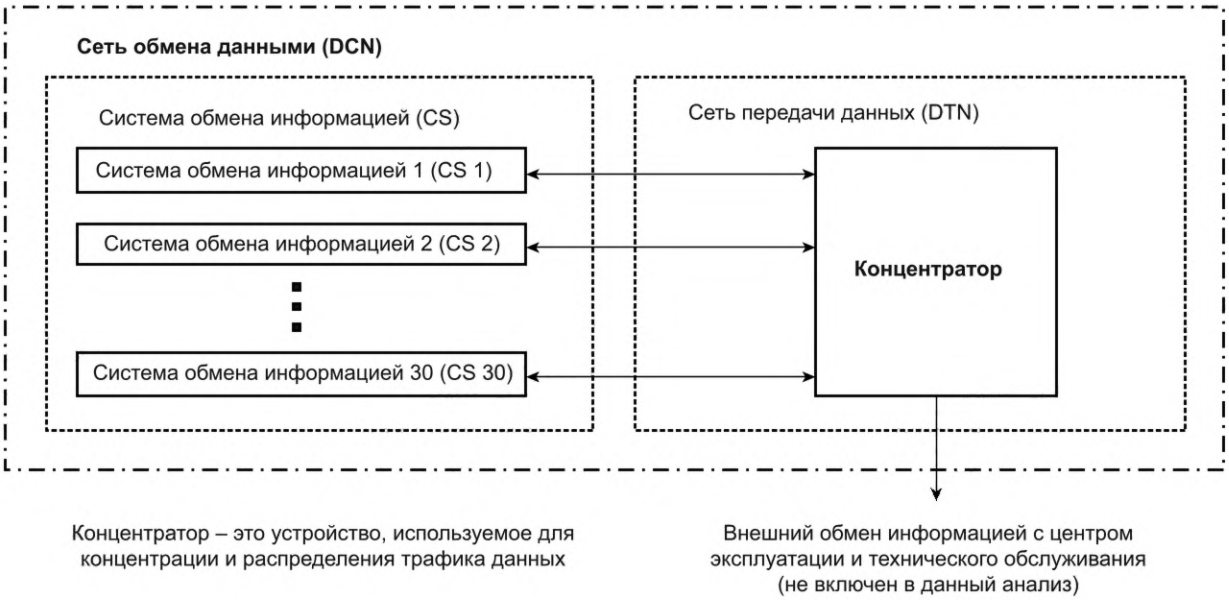


Рисунок С.1 — Структура DCN

Целью в данном примере является определение объема запасных частей, демонстрация информации для количественной оценки и иллюстрация процесса оценки и оптимизации необходимого количества запасных частей.

С.2 Структура деления объекта

Чтобы выполнить необходимые расчеты для оценки количества запасных частей, следует сформировать подробную структуру деления объекта. Структура деления системы определяет деление системы на составные части более низкого уровня.

Как показано на рисунке С.1, рассматриваемый объект представляет собой сеть обмена данными (DCN), состоящую из N идентичных систем обмена информацией (CS) и сети передачи данных (DTN). Сеть передачи данных охватывает все каналы передачи данных в DCN.

В таблицах С.1—С.5 представлена структура деления системы по трем уровням, а также приведены некоторые данные о надежности объекта и его стоимости.

Таблица С.1 — Первый уровень деления — сеть обмена данными

Уровень 1	Описание составной части	Обозначение	Требования к готовности	Количество N
P_1	Система обмена информацией	CS	Все простои приводят к штрафным санкциям	30
P_2	Сеть передачи данных	DTN	99,995 % на соединение	30 (1 на соединение)

Таблица С.2 — Второй уровень деления — система обмена информацией

Уровень 2	Описание составной части	Обозначение	Интенсивность отказов (z), количество отказов/10^6 ч	Затраты на составную часть CU[a]	Количество на следующем, более высоком, уровне
$P_{1.1}$	Система электроснабжения	PSS	См. таблицу С.3	См. таблицу С.3	1
$P_{1.2}$	Главный процессор	MP	См. таблицу С.4	См. таблицу С.4	1
$P_{1.3}$	Консоль отображения	DC (RI_7)	5 на объект	900	2
$P_{1.4}$	Устройство ввода-вывода	IOU (RI_8)	4 на объект	300	1
$P_{1.5}$	Система вентиляции	FS	См. таблицу С.5	См. таблицу С.5	1
Отказавшую (заменяемую) составную часть (RI) заменяют на «месте ее расположения» и ремонтируют «в ремонтной организации». [a] CU: денежная единица.					

Таблица С.3 — Третий уровень деления — система электроснабжения

Уровень 3	Описание составной части	Обозначение	Интенсивность отказов (z), количество отказов/10^6 ч	Затраты на составную часть CU[a]	Количество на следующем, более высоком, уровне
$P_{1.1.1}$	Блок электроснабжения	PSU (RI_1)	18 на объект	350	2
$P_{1.1.2}$	Блок управления электроснабжением	PCU (RI_2)P	4 на объект	200	1
$P_{1.1.3}$	Аккумулятор[b]	BATT (NR)[c]	Незначительная	100	8
[a] CU: денежная единица. [b] Аккумулятор требует профилактической замены из-за отказов, вызванных полным износом. [c] NR: неремонтопригодная составная часть.					

Таблица С.4 — Третий уровень деления — главный процессор

Уровень 3	Описание составной части	Обозначение	Интенсивность отказов (z), количество отказов/10^6 ч	Затраты на составную часть CU[a]	Количество на следующем, более высоком, уровне
$P_{1.2.1}$	Центральный процессор	CP (RI_3)	15 на объект	4000	2
$P_{1.2.2}$	Хранилище программ	PS (RI_4)	18 на объект	1000	2
$P_{1.2.3}$	Хранилище данных	DS (RI_5)	22 на объект	800	4
$P_{1.2.4}$	Система базы данных	DBS (RI_6)	3 на объект	400	1
[a] CU: денежная единица.					

Таблица С.5 — Третий уровень деления — система вентиляции

Уровень 3	Описание составной части	Обозначение	Интенсивность отказов (z), количество/10^6 ч	Затраты на составную часть CU[a]	Количество на следующем, более высоком, уровне
$P_{1.5.1}$	Вентилятор[b]	FAN (NR)[c]	Незначительная	40	4
$P_{1.5.2}$	Блок аварийной сигнализации	AU (RI_9)	2 на объект	80	1
[a] CU: денежная единица. [b] Вентилятор требует профилактической замены из-за отказов, вызванных полным износом. [c] NR: неремонтопригодная составная часть.					

С.3 Расчет количества и стоимости запасных частей

Расчеты в данном примере основаны на предположениях, основанных на оценках параметров функционирования, стоимости и других условиях:

- среднее время до восстановления (MTTR) — 0,5 ч;
- средняя продолжительность технического простоя (MTD) — 0,25 ч;
- средняя продолжительность административного простоя (MAD) — 4 ч;
- срок службы аккумулятора — 4 года;
- срок службы вентилятора — 9 лет;
- профилактическое обслуживание только аккумуляторов и вентиляторов;
- все ремонтопригодные составные части ремонтируют в централизованной ремонтной организации;
- время оборота (TAT) ремонтопригодных составных частей — 672 ч (28 дней);
- продолжительность транспортировки (TT) в одну сторону: с места расположения до централизованной ремонтной организации или в обратном направлении — 24 ч (1 день).

В таблице С.6 приведены результаты оценки количества ремонтопригодных запасных частей в соответствии с IEC 60300-3-3:2004.

Таблица С.6 — Инвестиции в запас ремонтопригодных запасных частей

Ремонтопригодный компонент RI	Уровень	Описание компонента	Затраты на покупки на единицу компонента CI	Количество ремонтопригодных запасных частей, NSRI	Общий объем инвестиций по типу SRI CU	Среднее время ожидания, час, MWT
RI_1	$P_{1.1.1}$	Блок питания (PSU)	350	3	1050	1,8
RI_2	$P_{1.1.2}$	Блок управления питанием (PCU)	200	1	200	3,6
RI_3	$P_{1.2.1}$	Центральный процессор (CP)	400	3	12 000	1,8
RI_4	$P_{1.2.2}$	Хранилище программ (PS)	100	3	3000	1,8
RI_5	$P_{1.2.3}$	Хранилище данных (DS)	800	6	4800	1,0
RI_6	$P_{1.2.4}$	Система базы данных (DBS)	400	1	400	3,6
RI_7	$P_{1.3}$	Консоль отображения (DC)	900	2	1800	2,4
RI_8	$P_{1.4}$	Единица ввода/вывода (IOU)	300	1	300	3,6
RI_9	$P_{1.5.2}$	Блок аварийной сигнализации (AU)	80	1	80	3,6
Всего					23 630	

В IEC 60300-3-3 приведен расчет MWT по приближенной формуле без привязки к конкретной позиции на складе.

На рисунке С.2 показана система обеспечения запасными частями для DCN. Существует два уровня складов: уровень ремонтной организации и уровень расположения объекта.

Количество запасных ремонтопригодных частей, указанное в таблице С.6, имеется в полном объеме на уровне ремонтной организации.

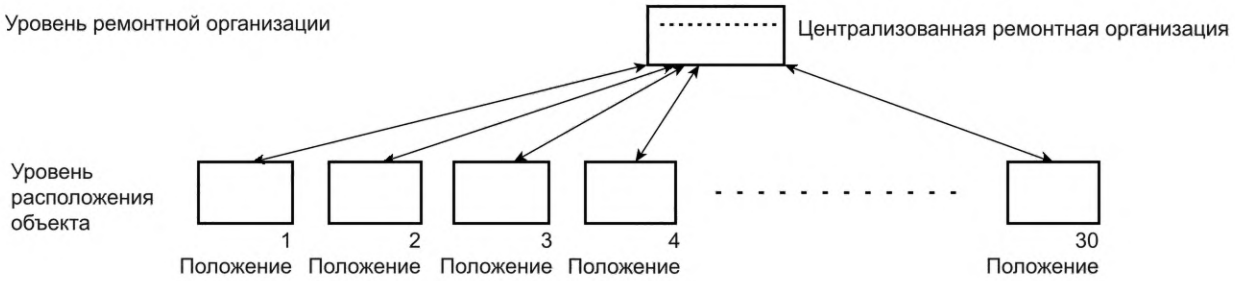


Рисунок С.2 — Система обеспечения запасными частями для DCN

Библиография

[1] IEC 60050-192 International electrotechnical vocabulary — Part 192: Dependability (Международный электротехнический словарь. Часть 192. Надежность (доступно по адресу gost.e-ecolog.ru electropedia.org))

[2] IEC 60300-1 Dependability management — Part 1: Guidance for management and application (Менеджмент надежности. Часть 1. Руководство по менеджменту и применению)

[3] IEC 60300-3-3:2004 Dependability management. Part 3-3: Application guide — Life cycle costing (Менеджмент надежности. Часть 3-3. Руководство по применению. Стоимость жизненного цикла)[1)]

[4] IEC 61649 Weibull analysis (Анализ Вейбулла)

[5] IEC 61709 Electric components — Reliability — Reference conditions for failure rates and stress models for conversion (Электрические компоненты. Безотказность. Исходные условия для интенсивности отказов и моделей нагрузок для преобразования)

[6] IEC 62308 Equipment reliability — Reliability assessment methods (Безотказность оборудования. Методы оценки безотказности)

[7] IEC 62402 Obsolescence management — Application guide (Управление устареванием. Руководство по применению)

[8] IEC PAS 62435 Electronic components — Long-duration storage of electronic components — Guidance for implementation (Электронные компоненты. Долговременное хранение электронных компонентов. Руководство по внедрению)

[9] IEC 62506 Methods for product accelerated testing (Методы ускоренных испытаний продукции)

[10] Hadley G.; Whitin T. M., Analysis of Inventory Systems. New Jersey, 1963

[11] Sherbrooke, Craig C., Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-echelon Techniques, Kluwer Academic Publishers, 2nd edition, 2004

[1)] *Заменен на IEC 60300-3-3:2017, Менеджмент надежности. Часть 3-3. Руководство по применению. Стоимость жизненного цикла.*

УДК 629.7.084:006.354

МКС 03.120.01
21.020

Ключевые слова: надежность, обеспечение запасными частями, отказ, невосстанавливаемый объект, восстанавливаемый объект, уровень технического обслуживания, политика технического обслуживания, устаревание, склад, поставки, логистическая поддержка

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 26.12.2025. Подписано в печать 03.02.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru