

УДК 519.873

А.И. Пятаков, Ю.И. Береснев, А.И. Моисеев, В.В. Кальников

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Пятаков Анатолий Иванович, кандидат технических наук, окончил Военную академию связи им. С.М. Буденного, адъюнктуру (там же). Главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования автоматизированных систем управления специального назначения и построения систем передачи дискретных сообщений. Имеет публикации в области надежности комплексов средств автоматизации и передачи данных. [e-mail: uljanovsk-anatol@mail.ru].

Береснев Юрий Иванович, кандидат военных наук, окончил ВАС им. С.М. Буденного. Заместитель главного конструктора направления ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области построения и эксплуатации систем управления специального назначения. Имеет публикации в области проектирования систем связи и обмена данными. [e-mail: mars@mv.ru].

Моисеев Александр Иванович, кандидат технических наук, окончил трансферный факультет Ульяновского государственного университета. Заместитель начальника комплексного научно-исследовательского отделения ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения. Имеет публикации, изобретения и зарегистрированные программные комплексы в сфере исследования и построения распределенных систем управления специального назначения. [e-mail: mars@mv.ru].

Кальников Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, окончил радиоинженерный факультет Киевского высшего военного инженерного училища связи им. М.И. Калинина. Главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения, построения систем связи и обмена данными. Имеет статьи, учебные пособия, изобретения в области проектирования распределенных систем управления специального назначения, систем связи и обмена данными. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

Усложнение задач, возлагаемых на комплексы средств автоматизации специального назначения (КСА СН), выдвигает перед службами эксплуатации на первый план задачу поддержания их высокой боевой готовности в условиях потока отказов компонентов. При этом под «эксплуатацией» помимо применения по назначению понимается материальное обеспечение, техническое обслуживание, ремонт и хранение, т. е. направление работ, решаемое системой логистической поддержки.

Проблематике логистической поддержки в части планирования, формирования и поставки запасных частей для ремонта и восстановления функционирования посвящена данная статья.

Авторами проведен анализ требований заказчика, направленных на обеспечение постоянной готовности КСА СН к выполнению стоящих перед ними функциональных задач.

Выявлено, что одним из видов работ, направленных на выполнение требований заказчика, является формирование запасов ремонтных частей, обеспечивающих проведение оперативного ремонта на объекте заказчика. Нормативные документы, определяющие порядок формирования запасов, в настоящее время отсутствуют.

В статье предложен подход к формированию оптимальных запасов заказчика на основе статистических данных об отказах за прошедший период и прогноза количества отказов в планируемом периоде.

В качестве модели прогноза предложен широко известный метод экспоненциального сглаживания, позволяющий давать несмещенную оценку как для стационарного временного ряда, так и для временных рядов, имеющих полиномиальную основу.

Ключевые слова: логистическая поддержка, эксплуатация комплекса средств автоматизации, запасные части, формирование оптимальных запасов, прогнозирование линейных временных рядов, экспоненциальное сглаживание.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-4-62-15-22

LOGISTIC SUPPORT FOR OPERATION OF COMPUTER-AIDED TOOLS OF THE SPECIFIC-APPLICATION CONTROL SYSTEMS

Anatolii Ivanovich Piatakov, Candidate of Sciences of Engineering; graduated from the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; completed his postgraduate studies at the same Academy; Chief Specialist of FRPC JSC 'RPA 'Mars'; specializes in the computer-aided application-specific control system design and the discrete-message transmitting system creation; an author of articles in the field of the reliability of computer-aided packages and data communication facilities. e-mail: uljanovsk-anatol@mail.ru.

Iurii Ivanovich Beresnev, Candidate of Military Sciences; graduated from the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; Deputy Chief Designer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; a specialist in building and maintenance of the communications and data exchange systems; an author of publications in the field of designing the application-specific control systems. e-mail: mars@mv.ru.

Aleksandr Ivanovich Moiseev, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Faculty of Dual Degree Programs of Ulyanovsk State University; Deputy Head of the Complex Research-and-Development Sector of FRPC JSC 'RPA 'Mars'; specializes in the application-specific management system design; an author of articles, inventions, and certificated software complexes in the field of research and building of the application-specific distributed management systems. e-mail: mars@mv.ru.

Vladimir Viktorovich Kalnikov, Candidate of Sciences in Engineering, Associate Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering of Kalinin Higher Military Engineering School of Communications (of Kiev); Chief Specialist at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; specializes in designing the application-specific management systems and building the communication and data exchange systems; an author of articles, textbooks, and inventions in the field of designing the application-specific distributed management systems, communication and data exchange systems. e-mail: mars@mv.ru.

Abstract

Complicating functions of computer-aided tools of specific application control systems prioritize the task of keeping a high-degree alert performed by the operations services in the presence of component failures. Besides its primary function, the operations service provides the logistic support, maintenance and repair, storage, etc. Thus, it includes all the functions of the logistic support system.

The article deals with such problems of the logistic support as planning, preparing and delivery of spare parts used to repair and recover systems.

The authors analyzed customer's requirements, which ensure stable operation of the specific application computer-aided systems.

They discovered that one of activities intended to meet the customer's requirements is preparing spare parts, which provide the operational onsite repair. Currently there are no governing documents specifying the procedure of spare parts preparation.

The article proposes an approach to preparing optimal quantity of spare parts based on failure statistics over the past period and forecasting the number of possible failures over the planned period of time.

The authors propose the widely-known method of exponential smoothing as a forecast model, which allows giving an unbiased estimate both for stationary time series, and for polynomial ones.

Keywords: logistic support, operation of computer-aided tools, spare parts, preparation of optimal quantity of spares, forecasting of line time series, exponential smoothing.

ВВЕДЕНИЕ

Логистическая поддержка поставщиком комплексов средств автоматизации специального назначения (КАСН) охватывает все стадии его жизненного цикла (ЖЦ), начиная с создания и заканчивая утилизацией. Наиболее ответственным этапом логистической поддержки КАСН является послепродажное обслуживание на стадии эксплуатации. Связано это с ростом числа и сложностью поставляемых КАСН, усложнением их функци-

ональных возможностей и увеличением требований по их технической готовности.

Стадия эксплуатации характеризуется выполнением как поставщиком, так и эксплуатирующей организацией совокупности работ по поддержанию изделия в работоспособном состоянии, обеспечивающем выполнение требований по назначению.

Для сокращения простоев отказавшего оборудования совместно с КАСН поставляются запасные части

и принадлежности (ЗИП), направленные на восстановление работоспособности изделия. Восполнение ЗИП КСА СН в гарантийный период осуществляет предприятие-изготовитель. В послегарантийный период восполнение ЗИП КСА СН осуществляется за счет средств заказчика.

Для исключения случаев простоя КСА СН из-за «нулевой» позиции в ЗИП (сменных модулей, блоков, узлов и ТС в целом) в обоих случаях должны быть созданы запасы либо на предприятии-изготовителе, либо у заказчика.

Технология формирования ЗИП (одиночного комплекта – ЗИП-О, и группового комплекта – ЗИП-Г), поставляемых совместно с изделием, нормирована государственными и отраслевыми стандартами [1, 2], и сложности в расчете его состава обычно не возникает. Однако методик формирования запасов изготовителя или заказчика при ограниченном бюджете инвестирования на сегодняшний день не существует.

Технология моделирования оптимальных запасов – основная тема предлагаемой публикации. Авторы рассматривают требования заказчика, который старается застраховать себя от срыва выполняемой задачи, вызванного ограниченной надежностью технических средств (ТС), входящих в КСА СН, путем обеспечения эксплуатации закупленных комплексов логистическими ресурсами.

1 ТРЕБОВАНИЯ ЗАКАЗЧИКА К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ КСА СН

КСА СН предназначены для автоматизации органов военного управления с целью повышения качества планирования и управления силами, оружием и видами обеспечения Вооруженных сил России.

Требование заказчика к КСА СН – обеспечение безотказного выполнения возложенных на него функций в заданном интервале времени в допустимых условиях обстановки.

Основным критерием выполнения данного требования является его способность не допускать перерывов в функционировании по своему назначению. То есть КСА СН должен сохранять работоспособное состояние в течение всего времени, отводимого на решение j -й функциональной задачи (ФЗ) $t_{фз}$. Вследствие стохастической природы протекающих в КСА СН процессов данный показатель состояния КСА СН является случайным. Математически оценивается такое состояние коэффициентом оперативной готовности.

Коэффициент оперативной готовности ($K_{ор}$) – это вероятность того, что изделие в момент времени t находится в работоспособном состоянии и, начиная с этого момента, выполнит требуемую функцию при данных условиях в интервале $(t + t_{фз})$. Коэффициент оперативной готовности при определенных условиях представляет собой произведение коэффициента готовности и вероятности безотказной работы [3]:

$$K_{ор} = K_{г} \cdot P_i(t + t_{фз}), \tag{1}$$

где $P_i(t + t_{фз})$ – вероятность безотказной работы в течение времени, отводимого на решение i -й ФЗ;

$K_{г}$ – коэффициент готовности.

Коэффициент готовности – это вероятность того, что КСА СН окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени. Коэффициент готовности вычисляется из выражения:

$$K_{г} = \frac{T_o}{T_o + T_{в}}, \tag{2}$$

где T_o – средняя наработка на отказ КСА СН;

$T_{в}$ – среднее время восстановления КСА СН.

Средняя наработка на отказ КСА СН в соответствии с [4] рассчитывается по выражению:

$$T_o = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{o_i}}}, \tag{3}$$

где T_{o_i} – средняя наработка на отказ i -го ТС;

n – количество ТС, входящих в состав КСА СН, без учета резервирования.

Средняя наработка на отказ ТС определяется на стадии разработки и фиксируется в формуляре (паспорте) изделия с оговоркой – «не менее». Средняя наработка на отказ ТС и КСА СН в целом зависит от нескольких факторов, среди них основные:

- различные поставщики комплектующих (радиоэлектронных элементов и технических средств);
- различные партии комплектующих от одного поставщика;
- различные климатические условия эксплуатации;
- различные навыки эксплуатации обслуживающего персонала.

Опыт эксплуатации показывает, что средняя наработка на отказ как технических средств, так и КСА СН в целом, на различных объектах эксплуатации для однотипных изделий может различаться на два-три порядка. Соответственно существенно изменяет свое значение и коэффициент готовности.

Среднее время восстановления так же может изменяться и зависит как от навыков обслуживающего персонала, так и организации снабжения комплектующими, направленными на восстановление отказавших ТС КСА СН. Таким образом, среднее время восстановления определяется из выражения:

$$T_{в} = T_{п} + T_{у} + T_{орг} + T_{пр}, \tag{4}$$

где $T_{п}$ – среднее время поиска отказа;

$T_{у}$ – среднее время, затраченное на устранение отказа;

$T_{орг}$ – среднее время, затраченное на организацию работ по восстановлению изделия;

$T_{пр}$ – среднее время, затраченное на приведение изделия в готовность к использованию.

В настоящее время многие ТС КСА СН относятся к малосерийным изделиям, и срок их поставки колеблется от нескольких недель до полугода.

На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента готовности $K_{г}$ КСА СН от сроков поставки запасной части.

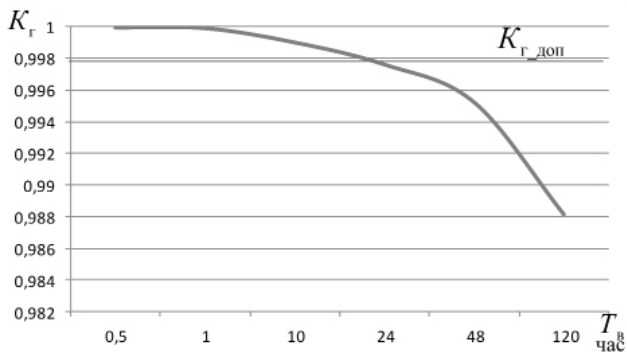


Рис. 1. Зависимость коэффициента готовности от сроков поставки запасной части

Из рисунка 1 видно, что коэффициент готовности при задержках поставки запасной части для ремонта более чем на сутки снижается ниже допустимого.

Анализ требований заказчика показывает, что заказчик хочет, чтобы на объекте эксплуатации всегда находился необходимый запас комплектующих, обеспечивающий оперативное восстановление работоспособности КСА СН.

При сведении времени ремонта к нулю коэффициент готовности будет стремиться к единице:

$$K_{г} \rightarrow 1 \text{ при } T_{в} \rightarrow 0. \quad (5)$$

Это возможно, если на каждом объекте эксплуатации будут находиться запасы ТС, перекрывающие возможные потребности в запасных частях. В то же время чрезмерное увеличение запасов влечет увеличение финансовых затрат заказчика.

Таким образом, заказчику нужно получать от поставщиков систему логистической поддержки, обеспечивающую:

а) техническое обслуживание и ремонт с указанием всех необходимых ресурсов: материальных (оборудование, средства инфраструктуры, запасные части, материалы, инструменты), трудовых (численность и квалификация персонала, нормы времени на выполнение различного вида работ), финансовых;

б) планирование и управление процессами материально-технического обеспечения, в том числе:

- планирование потребностей в запасных частях и материалах на начальный период эксплуатации, а также прогнозы на заданную часть ЖЦ (как правило, на очередной календарный год);
- организация закупок;
- контроль качества ЗИП, поступающих на склады,

- предложения по ведению баз данных о состоянии запасов ЗИП и прогнозирование их пополнения;
- алгоритмы управления запасами на складах заказчика;
- удовлетворение заявок по поставкам на объекты эксплуатации и др.

2 Прогноз состояния КСА СН в части надежности

Прогноз состояния КСА СН, в частности отказов ТС, проводится с целью получения исходных данных для формирования оптимальных запасов заказчика, направленных на восстановление отказавшей техники [5].

Под прогнозированием отказов следует понимать предсказание возможных нарушений работоспособности изделия на предстоящий период его эксплуатации на базе информации, известной из опытно-статистических данных, поступающих с объектов заказчика.

Предлагаемый алгоритм прогноза отказов сменных модулей, блоков, узлов КСА СН приведен на рисунке 2.

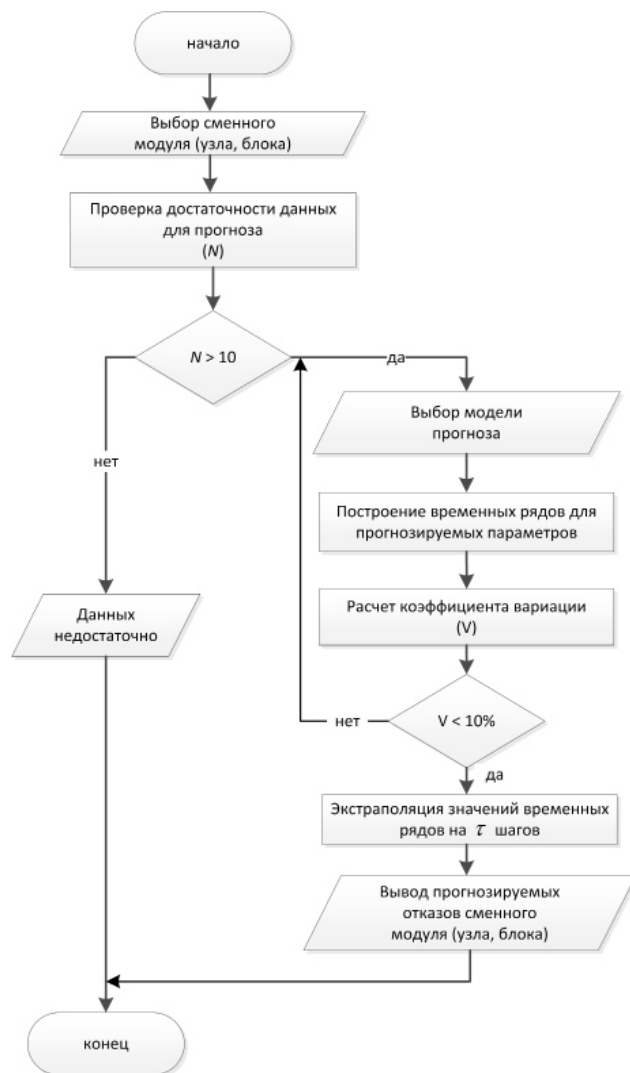


Рис. 2. Алгоритм прогноза отказов сменных модулей, блоков, узлов КСА СН

В настоящее время для прогноза широко используются статистические методы и модели (наименьших квадратов, регрессии, авторегрессии, экспоненциально-го сглаживания и др.). Для прогнозирования выхода из строя ТС КСА СН в этих моделях используют статистические данные по их функционированию за предыдущий период. Эти данные собираются автоматически или ручным способом и охватывают период от начала эксплуатации до момента прогноза. Для исключения влияния на результаты прогноза случайных возмущений число последних наблюдений N должно быть не менее 10 [6]. Если таких данных недостаточно, приступать к прогнозу нецелесообразно. Как правило, моменты наблюдений соответствуют поквартальной эксплуатации и за 2–3 года эксплуатации статистических данных достаточно для получения требуемой точности прогнозирования.

Прогноз осуществляется на заданный период (на квартал, полгода, год и т. д.), при этом качество прогноза прямо пропорционально величине интервала, на который производится прогноз, т. е. чем более удалено время, на которое осуществляется прогноз, тем менее он точен.

Для прогноза необходимо на базе статистических данных построить временные ряды для прогнозируемого параметра y . В связи с тем, что прогнозируется востребованность в запасных частях, в качестве прогнозируемого параметра предлагается взять количество отказов ТС КСА СН.

Одним из самых распространенных и наиболее разработанных среди всей совокупности методов прогнозирования является метод экспоненциального сглаживания [6].

Сущность этого метода заключается в том, что прогноз ожидаемых величин прогнозируемого параметра y определяется путем взвешенных средних величин текущего периода и сглаженных значений, сделанных в предшествующий период. Такой процесс продолжается в сторону начала временного ряда и представляет собой простую экспоненциальную модель для временных рядов с устойчивым трендом и малыми (независимыми) периодическими колебаниями.

Сглаженное значение параметра y в момент времени t определяется по рекуррентной формуле:

$$\tilde{y}_t = a \cdot y_t + (1 - a) \cdot \tilde{y}_{t-1}, \quad (6)$$

где y_t – фактическое значение в момент времени t ;

\tilde{y}_{t-1} – сглаженное значение в момент времени $t - 1$;

$t = \overline{1, n}$; n – число уровней временного ряда, входящих в интервал сглаживания;

a – коэффициент экспоненциального сглаживания.

Коэффициент экспоненциального сглаживания a изменяется от 0 до 1. Если $0 \leq a \leq 0,5$, то при расчете прогноза учитываются прошлые значения временного ряда, а при $0,5 \leq a \leq 1$ – значения, близкие к периоду упреждения. Примерное значение коэффициента экс-

поненциального сглаживания определяют по формуле Р. Брауна [6]:

$$a = \frac{2}{n + 1}. \quad (7)$$

Тогда сглаженное значение в момент времени $t - 1$ равно:

$$\tilde{y}_{t-1} = a \cdot y_{t-1} + (1 - a) \cdot \tilde{y}_{t-2}. \quad (8)$$

С учетом (8) перепишем выражение (6):

$$\tilde{y}_t = a \cdot y_t + a \cdot (1 - a) \cdot \tilde{y}_{t-1} + (1 - a)^2 \cdot \tilde{y}_{t-2}. \quad (9)$$

Продолжая этот процесс, сглаженное значение может быть выражено в величинах прошлых значений временного ряда, т. е.:

$$\tilde{y}_t = a \cdot \sum_{n=1}^N (1 - a)^n y_{t-n} + (1 - a)^{n+1} \cdot \tilde{y}_{t-n-1}, \quad (10)$$

где N – число учитываемых в модели интервалов наблюдения.

Выражение (10) справедливо для стационарного ряда. Если тренд линейный, применяют модель двойного экспоненциального сглаживания, в которой двойное сглаженное значение больше простого сглаживания на величину $(1 - a)/a$.

В модели двойного экспоненциального сглаживания прогноз отказов на τ шагов вперед вычисляется по формуле [7]:

$$\tilde{y}_{t+\tau} = 2 \cdot y_t - \tilde{y}_t + \frac{a}{1 - a} \cdot (y_t - \tilde{y}_t) \cdot \tau, \quad (11)$$

где $\tau = 1, 2, 3, \dots$ – интервал прогноза.

Важным моментом при выборе модели прогноза является необходимость проверки ее корректности, которая должна быть обязательно оценена. Проведение такой оценки позволит определить ошибку прогноза и сделать вывод о точности прогноза. Для предлагаемого метода оценке подлежат среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

При экспоненциальном сглаживании дисперсия экспоненциальной средней равна:

$$D = \frac{a}{2 - a} \cdot \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \tilde{y}_t)^2}{n - 1}, \quad (12)$$

где y_t и \tilde{y}_t – фактическое и сглаженное значения прогнозируемого параметра.

Среднее квадратическое отклонение для выборки равно:

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (13)$$

Статистическая надежность оценивается с помощью коэффициента вариации:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{y}} \cdot 100\%, \quad (14)$$

где \bar{y} – среднее значение временного ряда.

Метод считается статистически надежным и может быть использован для прогнозирования, если значение коэффициента вариации не превышает 10%.

3 ФОРМИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА КСА СН

Запасы заказчика формируются для оперативного восполнения ЗИП-О эксплуатирующих организаций в течение всего срока службы. ЗИП-О эксплуатирующей организации должен находиться в непосредственной близости от эксплуатируемого КСА СН с целью снижения до минимума времени восстановления отказавшего ТС. Запасы заказчика комплектуются из сменных модулей, блоков, узлов и ТС в целом, входящих в состав обслуживаемых изделий. Запасы формируются на текущий год исходя из потребности всех обслуживаемых эксплуатирующих организаций в запасных частях для ремонта. Запасы, не израсходованные в текущем году, учитываются при формировании запасов на очередной год.

Алгоритм формирования запасов, основанный на прогнозе отказов обслуживаемых изделий, представлен на рисунке 3.

Предположим, у заказчика имеются статистические данные по трем сменным блокам КСА СН: вентиляторы корпуса системного блока, накопители на жестком магнитном диске (НЖМД) и блоки питания, представленные в таблице 1.

Для каждой запасной части в соответствии с моделью 1 выражение (10) и моделью 2 выражение (11) определим экспоненциальную сглаживания (тренд) и вычислим точность моделей. Результаты экспоненциального сглаживания временных рядов представлены в таблице 2.

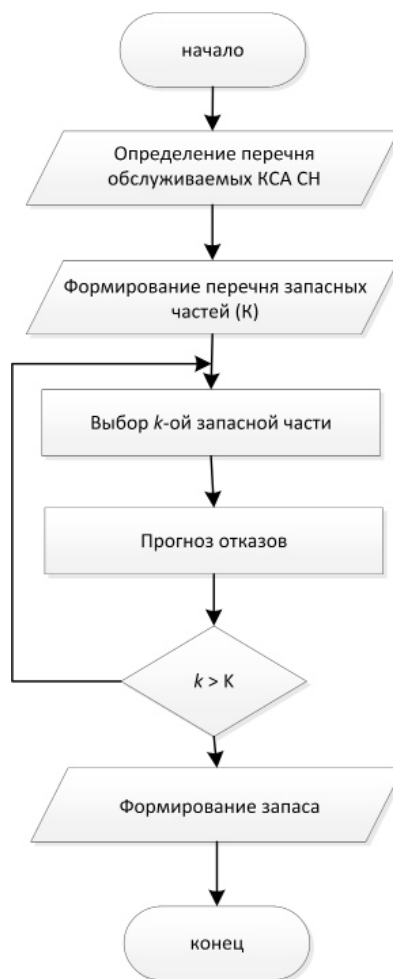


Рис. 3. Алгоритм формирования запасов сменных модулей, блоков, узлов КСА СН

Таблица 1

Статистические данные об отказах КСА СН

Модули (блоки, узлы)	1-й год		2-й год				3-й год			
	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Вентилятор	9	8	9	10	9	8	9	11	8	10
НЖМД	2	4	3	6	5	7	9	10	9	11
Блок питания	14	11	12	10	7	8	6	4	3	2

Таблица 2

Результаты экспоненциального сглаживания

Модули (блоки, узлы)		1-й год		2-й год				3-й год				
		III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	
Вентилятор	Стат. данные	9	8	9	10	9	8	9	11	8	10	
	Тренд	Модель 1	9,000	8,200	8,840	9,798	9,154	8,231	8,846	10,569	8,514	9,703
		Модель 2	9,000	8,247	9,365	10,849	11,342	11,953	12,186	13,969	14,254	15,823
	Ошибка	Модель 1	6,747	7,406	6,870	6,217	6,634	7,378	6,865	5,746	7,133	6,259
Модель 2		6,747	7,630	7,971	9,136	12,339	14,738	13,275	12,496	17,343	15,546	

Продолжение табл. 2

Модули (блоки, узлы)		1-й год		2-й год				3-й год				
		III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	
НЖМД	Стат. данные	2	4	3	6	5	7	9	10	9	11	
	Тренд	Модель 1	2,175	2,633	2,823	3,548	3,754	5,617	6,843	7,854	8,015	8,218
		Модель 2	2,175	3,635	3,127	5,425	5,085	6,617	8,523	9,704	9,140	10,628
	Ошибка	Модель 1	5,714	6,643	6,257	7,125	9,177	11,942	11,193	15,420	16,706	17,92
		Модель 2	5,714	6,452	6,328	6,276	5,935	5,548	5,395	5,243	5,115	5,095
Блок питания	Стат. данные	14	11	12	10	7	8	6	4	3	2	
	Тренд	Модель 1	13,775	13,555	12,911	11,382	9,676	9,935	8,387	6,477	5,435	3,759
		Модель 2	13,775	11,327	11,876	10,467	7,458	7,839	6,218	4,310	3,295	2,215
	Ошибка	Модель 1	4,408	7,255	9,098	10,849	11,911	12,653	13,508	15,563	17,427	18,881
		Модель 2	4,408	5,628	6,369	6,431	6,328	5,362	5,582	5,348	5,237	5,225

Результаты расчетов, представленные в таблице 2, показывают, что наиболее точно описывает тренд временного ряда для вентилятора модель 1, а для НЖМД и блока питания – модель 2. Экстраполяцию на 4 квартала вперед будем проводить в соответствии с более точными моделями.

В таблице 3 представлены результаты прогнозирования возможных отказов на 4-й год. Показатель «всего в запас» вычисляется путем суммирования запасов по кварталам и округления до ближайшего целого.

Таблица 3

Результаты моделирования отказов

Модули (блоки, узлы)	4-й год				Всего в запас
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	
Вентилятор	9,941	9,988	9,998	10,000	40
НЖМД	11,465	11,558	11,651	11,744	46
Блок питания	1,676	1,611	1,547	1,482	6

На рисунках 4–6 представлены графически статистические данные за 10 прошедших кварталов и показан прогноз (тренд) ожидаемых отказов на 11–14 квартал (4-й год).

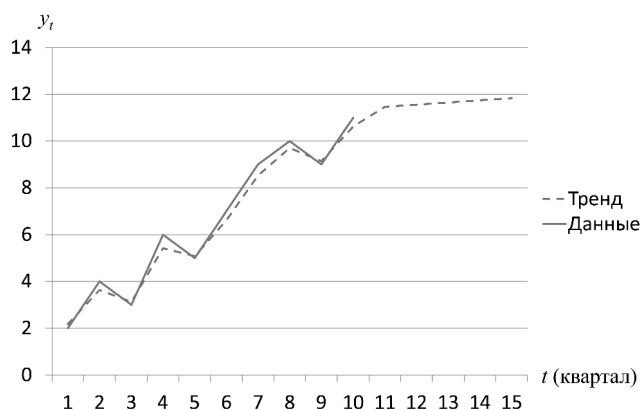


Рис. 5. Графическое представление результатов прогноза для НЖМД

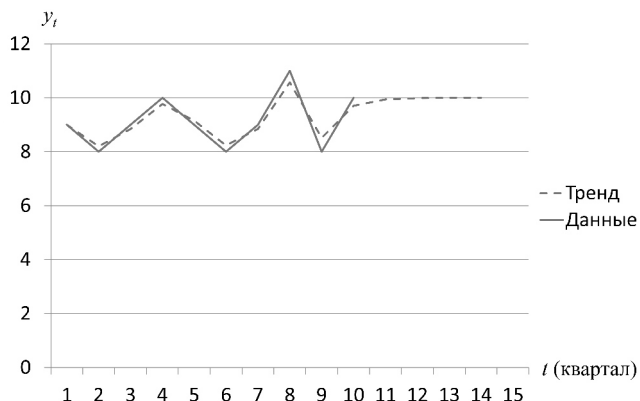


Рис. 4. Графическое представление результатов прогноза для вентиляторов

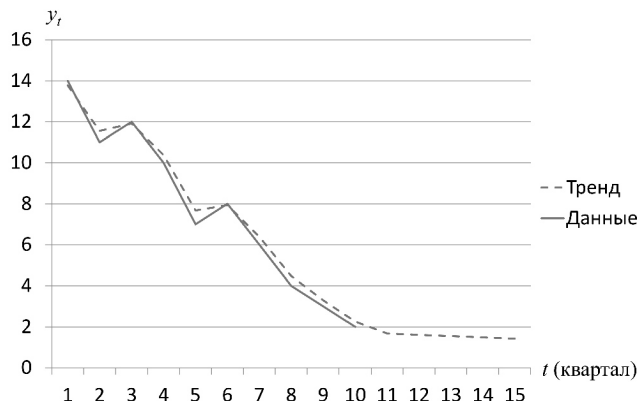


Рис. 6. Графическое представление результатов прогноза для блоков питания

Предложенный метод позволит сформировать оптимальные, основанные на статистических данных запасы для пополнения ЗИП-О и восстановления ТС КСА СН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены следующие научные результаты:

1. Определены требования заказчика к обеспечению безотказного выполнения возложенных на него функций в заданном интервале времени в допустимых условиях обстановки. Показано, что основным критерием выполнения данного требования является его способность не допускать перерывов в функционировании по своему предназначению, что обеспечивается эффективной работой системы логистической поддержки эксплуатации.

2. Выявлено, что одной из проблем логистической поддержки эксплуатации является отсутствие нормативных документов, определяющих методику формирования оптимальных запасов заказчика для своевременного пополнения ЗИП-О и ремонта отказавших ТС.

3. Для формирования оптимальных запасов заказчика предложен подход, основанный на статистических данных потока отказов на объектах заказчика.

4. В основу подхода положены широко известные методы прогнозирования временных рядов. Проведенное моделирование показало, что использованные модели экспоненциальной и двойной экспоненциальной средней дают прогноз с ошибкой, не превышающей 10%.

Предложенный подход может быть использован для формирования оптимальных запасов ТС, направленных на оперативное восстановление отказов КСА СН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 27.507–2015. Надежность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов. М. : Издательство стандартов, 2017. 54 с.
- ГОСТ РВ 27.3.03–2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП. М. : Издательство стандартов, 2005. 38 с.
- Егоров Ю.П., Пятаков А.И. Оптимизация эффективности функционирования комплекса средств автоматизации управления войсками по критерию надежности // Автоматизация процессов управления. 2018. № 3 (53). С. 4–10.
- Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М. : Советское радио, 1975. 472 с.
- Зиганшин Р.Г., Кальников В.В., Пятаков А.И. Прогнозирование технического состояния радиоэлектронных изделий при определении технологии ремонтов и состава запасного имущества и принадлежностей // Автоматизация процессов управления. 2010. № 2 (20). С. 102–106.
- Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б., Кузмин В.И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. М. : «Сов. радио», 1975. 400 с.
- Льюис К.Д. Методы прогнозирования экономических показателей / пер. с англ. и предисл. Е.З. Демиденко. М. : Финансы и статистика, 1975. 472 с.

REFERENCES

- GOST 27.507–2015. *Nadezhnost v tekhnike. Zapasnye chasti, instrumenty i prinadlezhnosti. Otsenka i raschet zapasov* [State Standard GOST 27.507-2015. Reliability in Technique. Spare Parts, Tools and Accessories. Evaluation and Calculation of Reserves]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2017. 54 p.
- GOST RV 27.3.03–2005. *Nadezhnost voennoi tekhniki. Otsenka i raschet zapasov v komplektakh ZIP* [State Standard GOST RV 27.3.03-2005. Military Equipment Reliability. Evaluation and Calculation of Reserves in the SPTA Kits]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2005. 38 p.
- Egorov Iu.P., Piatakov A.I. Optimizatsiia effektivnosti funktsionirovaniia kompleksa sredstv avtomatizatsii upravleniia voiskami po kriteriiu nadezhnosti [Optimization of Automated Troop Command and Control System Operation Effectiveness in Terms of Reliability Criterion]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2018, no. 3 (53), pp. 4–10.
- Kozlov B.A., Ushakov I.A. *Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki* [Reference Manual on the Calculation of Electronic and Automatic Equipment Reliability]. Moscow, Sovetskoe Radio Publ., 1975. 472 p.
- Ziganshin R.G., Kalnikov V.V., Piatakov A.I. Prognozirovaniie tekhnicheskogo sostoiianiia radioelektronnykh izdelii pri opredelenii tekhnologii remontov i sostava zapasnogo imushchestva i prinadlezhnostei [Forecast of Technical State of Radio Electronic Products During Definition of Repair Technology and Set of Spares]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2010, no. 2 (20), pp. 102–106.
- Chuev Iu.V., Mikhailov Iu.B., Kuzmin V.I. Prognozirovaniie kolichestvennykh kharakteristik protsessov [Forecasting of Quantitative Process Characteristics]. Moscow, Sov. Radio Publ., 1975. 400 p.
- Colin D. Lewis. *Metody prognozirovaniia ekonomicheskikh pokazatelei*. Per. s angl. i predisl. E.Z. Demidenko [Industrial and Business Forecasting Methods. Transl. from Engl. by E.Z. Demidenko]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 1975. 472 p.