

А.Ю. Кравченко, кандидат технических наук, доцент

Е.В. Судов, доктор технических наук профессор

В.Б. Артеменко, кандидат технических наук

Модель системы технической эксплуатации вооружения и военной техники на основе анализа логистической поддержки

В статье предложена структура модели системы технической эксплуатации вооружения и военной техники на основе анализа логистической поддержки, рассмотрены элементы предлагаемой модели. Сформулированы предложения по использованию модели системы технической эксплуатации для решения практических задач управления эксплуатацией вооружения и военной техники.

Эксплуатация по своей значимости и продолжительности является наиболее важной стадией жизненного цикла (ЖЦ) изделия вооружения и военной техники (ВВТ). В ходе эксплуатации осуществляется применение изделия ВВТ по назначению, реализуются его возможности и характеристики, закладываемые при проектировании и разработке. Это своего рода финал, на который нацелены все предыдущие стадии ЖЦ.

Кроме применения по назначению на стадии эксплуатации ВВТ осуществляется сложный комплекс работ по приведению изделия в установленную степень готовности к использованию по назначению, поддержанию изделия в этом состоянии, а также хранению и транспортированию изделия, который именуется в нормативных документах технической эксплуатацией.

От качества функционирования системы технической эксплуатации ВВТ зависит готовность ВВТ к выполнению задач по назначению, уровень исправности ВВТ, а также затраты на эксплуатацию, объем которых весьма велик и составляет более 60%, а для некоторых видов ВВТ – 80% от общей стоимости жизненного цикла образцов ВВТ. Поэтому степень обоснованности решений по построению системы технической эксплуатации, точность прогнозных оценок параметров технической эксплуатации на стадиях разработки и производства во многом определяют эффективность эксплуатации изделия ВВТ по критерию «полезный эффект – затраты», а также и эффективность управления ЖЦ изделия ВВТ в целом.

Несмотря на важность технической эксплуатации ВВТ научно-методическое обеспечение системы технической эксплуатации на сегодняшний день не обеспечивает получение достаточно точных оценок потребных объемов финансирования мероприятий технической эксплуатации ВВТ с учетом необходимости поддержания определенного уровня готовности техники. Не позволяет оно спрогнозировать и уровень готовности парка ВВТ при установленных лимитах финансирования и выбранном варианте построения системы технической эксплуатации.

Следует отметить, что существуют методики оценки стоимости ремонта и эксплуатации ВВТ [1], также разработаны различные модели (аналитические, имитационные) технического обеспечения эксплуатации ВВТ [2-4]. Однако они не в полной мере учитывают ряд факторов логистического характера (временные и материальные затраты на транспортировку ВВТ для выполнения ремонта, степень готовности ЗИП, изменения интенсивности эксплуатации ВВТ) и поэтому не позволяют получить достаточно точные прогнозные оценки. При этом имеются различные

логистические модели и методики управления запасами, определения оптимального уровня запасов материальных средств [4, 5], но они не увязаны в одну комплексную модель системы технической эксплуатации ВВТ.

В связи с вышеизложенным в статье сформулированы предложения по совершенствованию научно-методического обеспечения управления ЖЦ на стадии эксплуатации, которые заключаются в разработке и применении интегрированной модели системы технической эксплуатации (СТЭ) изделия ВВТ, основанной на методологии анализа логистической поддержки изделия.

1. Модель системы технической эксплуатации изделия ВВТ на основе методологии анализа логистической поддержки изделия

Анализ логистической поддержки (АЛП), положенный в основу модели СТЭ изделия ВВТ, представляет собой инженерную дисциплину всестороннего исследования изделия и вариантов системы его технической эксплуатации. Целью АЛП является сокращение затрат на ЖЦ изделия при выполнении требований к эксплуатационно-техническим характеристикам.

В соответствии с ГОСТ Р 53392-2009 цель АЛП достигается путем решения следующих задач:

- анализа условий и возможных режимов эксплуатации изделия, существующей системы технической эксплуатации;
- анализа вариантов конструкции изделия и его системы технической эксплуатации и выбора их наилучшего сочетания;
- анализа технического обслуживания, включающего выбор методов и технологий выполнения работ по ТО с оценкой их трудоемкости и продолжительности, определение потребностей в ресурсах, необходимых для выполнения работ;
- определения формы, объемов, условий постоянной технической поддержки изделия, а также содержания «послепроизводственного обеспечения» деятельности поставщика после прекращения производства изделия;
- оценки эффективности разработанной системы технической эксплуатации изделия в части выполнения заданных эксплуатационно-технических характеристик, снижения стоимости жизненного цикла, и, при необходимости, планирование мероприятий по развитию системы технической эксплуатации.

Основная особенность АЛП заключается в подробной детализации процессов, протекающих в ходе технической эксплуатации изделия, а также детализации конструкции изделия и системы его технической эксплуатации, и их представления в форме информационной модели.

Возникающая при этом проблема учета огромного количества исходных данных (например, логистическая структура самолета может достигать нескольких тысяч элементов) решается посредством использования баз данных и средств автоматизации. Поэтому для выполнения АЛП необходимо использование специализированных информационных систем.

Данная характерная особенность АЛП послужила основой для разработки модели СТЭ изделия ВВТ, которая охватывает процессы восстановления (ремонта), транспортирования и материально-технического обеспечения ВВТ, и учитывает связанные с этими процессами временные и ресурсные затраты.

Формализованная запись модели СТЭ изделия ВВТ имеет вид:

$$\Phi(K, \Omega) = S,$$

где K – коэффициент готовности изделия ВВТ;

Ω – информационная модель, описывающая систему технической эксплуатации ВВТ;

S – стоимость технической эксплуатации ВВТ.

Предлагаемая модель позволяет установить взаимосвязь между обеспечиваемой (требуемой) готовностью парка ВВТ и необходимыми для этого затратами.

Структура модели СТЭ изделия ВВТ представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура модели СТЭ изделия ВВТ

Рассмотрим основные структурные элементы модели СТЭ изделия ВВТ.

Информационная модель системы технической эксплуатации ВВТ

Поскольку состав исходных данных модели СТЭ изделия ВВТ, описывающих параметры системы, достаточно велик и имеет сложную структуру, насыщенную множеством взаимосвязей, в качестве исходных данных используется информационная модель (блок 1 на рисунке 1), представляющая собой объединение двух баз данных:

- базы данных, содержащей сведения об уровнях ремонта, распределении работ ТОиР по уровням ремонта и участникам процессов технической эксплуатации (ТЭ), экземплярах изделия ВВТ. Указанная база данных отражает военно-техническую специфику СТЭ изделия ВВТ;
- базы данных АЛП, которая имеет типовую структуру, регламентированную документами по стандартизации.

Состав информационных объектов, необходимых для описания модели СТЭ изделия ВВТ, представлен на рисунке 2. Синим цветом на рисунке 2 подсвечены объекты базы данных АЛП, зеленым – объекты базы данных, содержащей сведения военно-технического характера.

Информационные объекты информационной модели характеризуются следующими основными параметрами.

1. Изделие ВВТ (I).

Изделие ВВТ характеризуется обозначением, наименованием, типом, тактико-техническими характеристиками финального изделия ВВТ, ценой, возможностями по транспортировке, составом работ планового ТОиР.

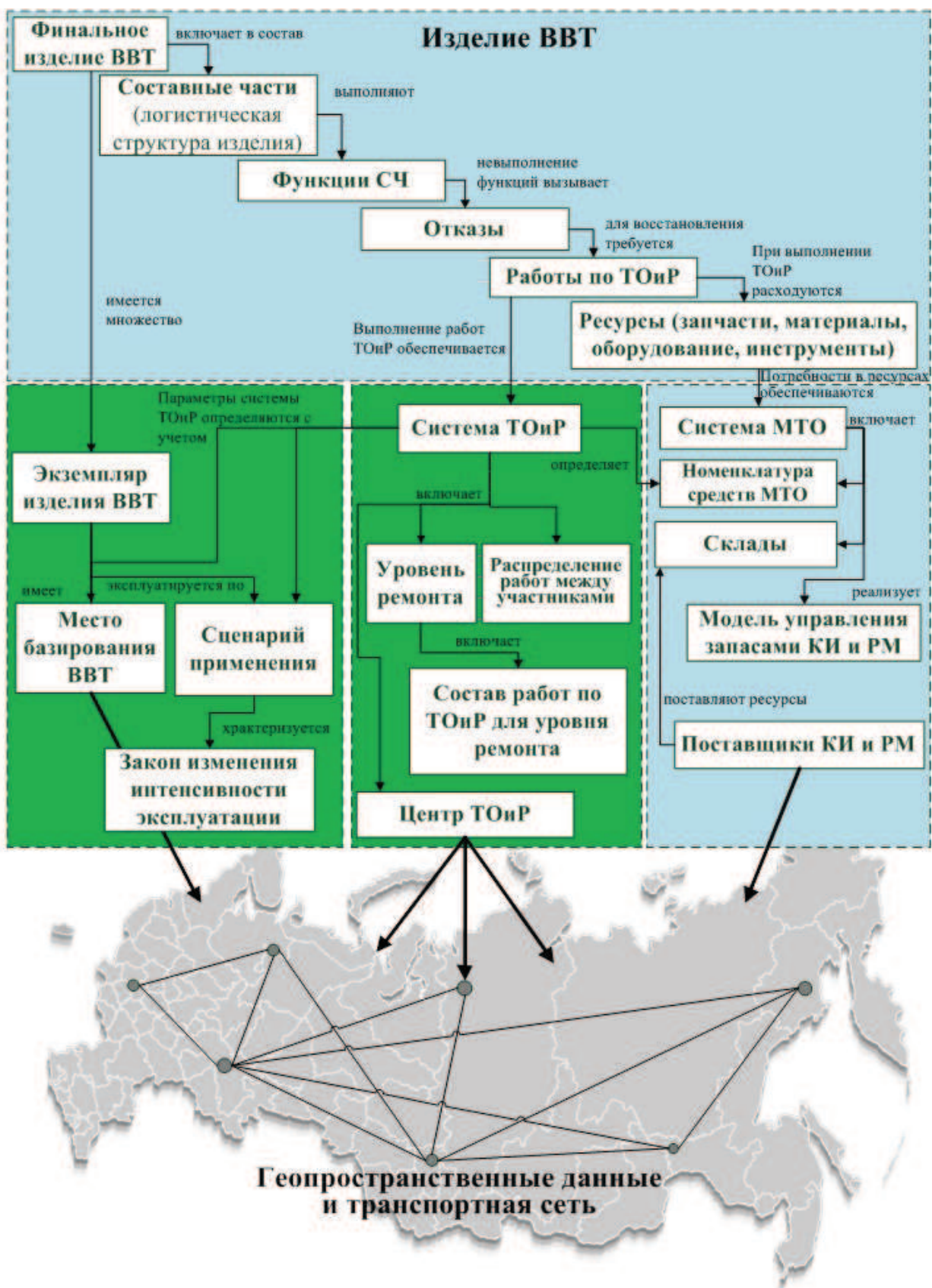


Рисунок 2 – Состав информационной модели СТЭ изделия ВВТ

Логистическая структура изделия ВВТ (ЛСИ) – разновидность структуры изделия (совокупности составных частей изделия и их взаимосвязей), в которой содержатся только те составные части, которые являются самостоятельными предметами поставки и (или) с ними осуществляются работы по ТОиР. То есть, в ЛСИ включаются составные части изделия ВВТ, имеющие отношение к процессам материально-технического обеспечения эксплуатации ВВТ. ЛСИ представлена в виде иерархического графа.

Каждый элемент ЛСИ характеризуется обозначением, наименованием, местом в ЛСИ, составом выполняемых функций, количеством.

Элементы ЛСИ, являющиеся предметами поставки (I_k), характеризуются также ценой, стоимостью хранения (в год), сроком хранения, весом в упаковке, назначенным ресурсом (сроком службы), а также параметрами безотказности (например, средняя наработка на отказ), ремонтнопригодности (для ремонтнопригодных изделий), продолжительностью замены на финальном изделии ВВТ.

В случае нарушения функционирования составной части изделия ВВТ возникает отказ, который характеризуется обозначением, наименованием, видом, категорией по критичности последствий (определяется в результате анализа видов и последствий отказов).

Для устранения отказов выполняются работы по ТОиР (U). Каждая работа описывается следующими параметрами: обозначение, наименование работы, описание работы, трудоемкость выполнения, продолжительность выполнения работы, периодичность (условия) выполнения работы для типа изделия ВВТ.

Выполнение работ по ТОиР возможно при наличии определенных ресурсов – оборудования, инструментов, комплектующих изделий, и связано с расходом материалов (I_m). Расходуемые материалы (PM) в свою очередь характеризуются обозначением, ценой, стоимостью хранения (в год), сроком хранения, весом в упаковке.

2. Экземпляр изделия ВВТ.

Изделие ВВТ поставляется и эксплуатируется, как правило, в определенном количестве экземпляров. Каждый экземпляр изделия ВВТ имеет уникальный идентификатор. В процессе эксплуатации расходуется его ресурс, в нем возникают отказы, проводятся работы по ТОиР.

Экземпляры изделия ВВТ имеют определенное место базирования и эксплуатируются по определенному сценарию.

Место базирования ВВТ (A) характеризуется географическими координатами, возможностями по выполнению ТОиР, хранению PM и комплектующих изделий.

Сценарий применения изделия ВВТ (H) имеет условное обозначение, наименование (например, учебно-боевая группа, боевая группа, хранение), средний годовой пробег (налет), среднюю продолжительность работы изделия.

Кроме того сценарий применения характеризуется законом изменения интенсивности эксплуатации. Например, с периодичностью один раз в квартал с продолжительностью неделя применяется по назначению вся техника группы (учения в составе всего воинского формирования), в остальное время одновременно применяется 20% изделий ВВТ.

3. Система ТОиР.

Для поддержания изделий ВВТ (имеется ввиду экземпляров изделий) в состоянии готовности к применению проводится комплекс определенных мероприятий, включающих в себя, в том числе, работы по ТОиР, транспортирование изделий ВВТ. С целью достижения высокой эффективности данного комплекса мероприятий, то есть обеспечения заданного уровня готовности ВВТ с учетом выделяемых ресурсов, формируется определенная стратегия, правила организации работ по поддержанию изделий ВВТ, создается инфраструктура Центров по ТОиР, определя-

ются их оснащение и состав выполняемых ими работ, осуществляется распределение мероприятий между участниками процесса технической эксплуатации. Данная совокупность правил, организационных решений, инфраструктуры в предлагаемой модели названа системой ТОиР.

Она складывается из следующих элементов:

распределение работ по ТОиР между участниками (например, ежедневное ТО, ТО-1 выполняет воинская часть, ТО-2 – Центр ТОиР, текущий ремонт – поставщик ВВТ);

определение уровней ремонта изделия ВВТ. В зависимости от места выполнения ТОиР и задействованного персонала (экипаж, ремонтное подразделение, Центр ТОиР, поставщик ВВТ) работы по ТОиР разделены по уровням ремонта;

формирование структуры Центров ТОиР (P_z), которые характеризуются возможностями по уровням ремонта для конкретных типов изделий ВВТ, мощностями по выполнению ТОиР изделий ВВТ, возможностями по ремонту (восстановлению) КИ для ремонтируемых КИ, возможностями по хранению КИ и РМ, технико-экономическими показателями выполнения ТОиР, стоимостью создания Центра ТОиР.

Формирование системы ТОиР является весьма сложной задачей, так как требует решения ряда оптимизационных взаимосвязанных подзадач, таких как выбор оптимального распределения работ между участниками, рациональное распределение работ по ТОиР по уровням, обоснование состава оборудования и инструментов, которыми должны оснащаться Центры ТОиР, воинские части, ремонтные подразделения.

4. Система МТО.

В данной модели на систему МТО возлагается задача снабжения КИ и РМ. В систему МТО входит инфраструктура складов, предназначенных для хранения КИ и РМ, а также модели управления запасами КИ и РМ для определенных уровней инфраструктуры складов.

Склады характеризуются объемом хранимых материальных средств и условиями хранения.

Модель управления запасами КИ и РМ может реализовываться по одному из вариантов [6]:

модель с периодическим пополнением запасов;

модель с непрерывным пополнением запасов;

модель с пополнением запасов по уровню.

Система МТО взаимодействует с поставщиками КИ и РМ (P_i, P_m), которые описываются в модели составом поставляемых КИ и РМ и возможностями по объемам поставки КИ и РМ за период времени (в год), возможностями по ремонту КИ (для ремонтируемых КИ).

5. Геопространственная информация (G).

Весьма важным фактором для обеспечения готовности ВВТ является своевременное пополнение запасов КИ и РМ, а также оценка времени на транспортировку ВВТ до мест проведения ТОиР. С этой целью в предлагаемой модели технической эксплуатации ВВТ учитывается взаимное географическое расположение мест базирования ВВТ, Центров ТОиР, складов и поставщиков КИ и РМ, а также возможности транспортной сети по объемам и срокам доставки изделий ВВТ, КИ и РМ. Для чего в информационную модель вносится информация о расстояниях между местами базирования ВВТ, Центрами ТОиР и поставщиками КИ и РМ, возможные виды транспорта, длительности транспортировки и стоимости транспортировки. Данная информация позволяет учитывать затраты времени и стоимость транспортировки ВВТ, КИ и РМ при моделировании процессов пополнения ЗИП, постановки изделия ВВТ на ТОиР, внепланового ремонта, когда в ЗИП отсутствуют необходимые комплектующие.

Аналитическая модель системы МТО

Аналитическая модель системы МТО (блок 2 на рисунке 1) предназначена для прогнозной оценки наличия КИ на каждом из складов. Ее выходом является коэффициент готовности ЗИП

для каждого КИ. Вид аналитической зависимости определяется исходя из выбранной модели пополнения запасов.

Имитационная модель функционирования ТООР

Данная модель (блок 3 на рис. 1) обеспечивает оценку возможностей ТООР по выполнению работ по ТООР. Результатом оценки является время выполнения работ по ТООР, в том числе с учетом простоя в состоянии ожидания (в очереди).

Имитационная модель процессов эксплуатации изделия ВВТ

Моделирование процессов эксплуатации изделия ВВТ (блок 4 на рис. 1) реализуется на основе имитационного моделирования. При этом изделие ВВТ может находиться в следующих состояниях (рисунок 3):

S1 – эксплуатироваться по одному из сценариев (например, находиться на хранении, интенсивно эксплуатироваться в учебно-боевой группе, эксплуатироваться в боевой группе);

S2 – находиться на плановом ТОиР;

S3 – находиться на внеплановом ремонте;

S4 – изделие выведено из эксплуатации.

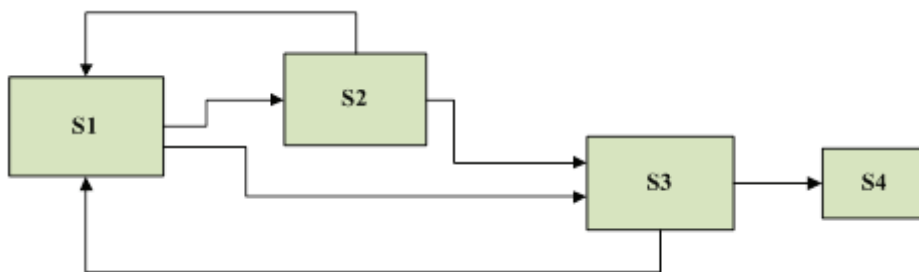


Рисунок 3 – Состояния изделия ВВТ

Результатом имитационного моделирования процессов эксплуатации ВВТ являются оценки по объему израсходованных материалов, комплектующих изделий, объему выполненных работ по ТООР (трудозатраты), периоды времени, в которых изделие ВВТ находилось в ремонте и в готовности к применению.

На основе перечисленных данных осуществляется расчет оценок затрат на техническую эксплуатацию изделия ВВТ и уровень достигнутой технической готовности изделия ВВТ (блок 5 на рисунке 1).

Описанная модель реализована НИЦ «Прикладная логистика» в программном комплексе «Система технико-экономического анализа», который успешно прошел апробацию на примере отдельных воинских частей и изделий ВВТ.

Данное программное средство позволяет решать следующие задачи:

- получать оценку структурированных затрат на техническую эксплуатацию ВВТ с учетом требований готовности парка ВВТ, мест географического размещения поставщиков, Центров ТООР и мест базирования ВВТ;
- рассчитывать рациональный уровень запасов КИ и РМ в Центрах ТООР и местах базирования ВВТ;
- оценивать достижимый уровень готовности ВВТ при ограниченном финансировании.

Ниже рассмотрены возможные варианты применения модели для решения практических задач в ходе управления ЖЦ ВВТ.

2. Предложения по применению модели технической эксплуатации изделия ВВТ

2.1. Задача минимизации стоимости эксплуатации ВВТ

Пожалуй, наиболее часто решаемой задачей, связанной с моделированием ТЭ ВВТ, является оценка стоимости эксплуатации изделия на определенном сроке, и не просто оценка стоимости, а минимизация прогнозируемых расходов на эксплуатацию ВВТ. При этом чаще всего оценивается стоимость всего жизненного цикла ВВТ, элементом которой является эксплуатация ВВТ. Требования к оценке стоимости жизненного цикла должны задаваться в тактико-техническом задании на выполнение опытно-конструкторской работы по созданию изделия ВВТ и первые ориентировочные оценки стоимости жизненного цикла, в том числе и эксплуатации ВВТ, как правило, формируются на этапе технического проекта.

Так как стоимость ТЭ ВВТ находится в прямой взаимосвязи со стоимостью закупки изделия ВВТ, то данную задачу целесообразно рассматривать в следующей постановке.

Для заданного множества изделий ВВТ, применяемых по определенным сценариям, необходимо найти такую конфигурацию системы технической эксплуатации (характеристики КИ, схема организации работ по ТЭ, параметры систем ТОиР и МТО и др.), при которых минимизируются совокупные затраты на закупку и техническую эксплуатацию ВВТ в ходе срока службы с учетом выполнения требования по технической готовности ВВТ.

Формализованная постановка задачи имеет следующий вид:

$$\left(\Phi(K, A, P_i, P_m, P_z, G, I, H, I_k, I_m, U) + S_{пр} \right) I_k, I_m, U \rightarrow \min$$

при $K \geq K^3, A = A^3, P_i \in P_i^3, P_m \in P_m^3, P_z \in P_z^3, G \in G^3, I = I^3, H = H^3,$

где $K^3, A^3, P_i^3, P_m^3, P_z^3, G^3, I^3, H^3$ – заданные уровень готовности, места базирования, поставщики КИ и РМ, Центры ТОиР, допустимые способы транспортировки, множество экземпляров изделия ВВТ, сценарии применения ВВТ;

$S_{пр}$ – стоимость производства изделий ВВТ I^3 .

Данная задача успешно решается с помощью упомянутого выше программного комплекса «Система технико-экономического анализа». При этом для поиска варианта с минимальной стоимостью используется метод градиентного спуска [6].

Нельзя не отметить здесь еще об одном важном случае, в котором с помощью предлагаемой модели может успешно решаться данная задача – это оценка эффективности внедрения в изделие ВВТ новых конструктивных решений (КИ, материалов, технологий). Модель СТЭ изделия ВВТ в этом случае позволяет оценить как изменятся затраты на ТЭ изделия при внедрении нового решения.

2.2. Задача оценки начальной стоимости контракта на обеспечение технической эксплуатации ВВТ со схемой оплаты по нормируемым показателям качества

Частным случаем предыдущей задачи является задача определения начальной стоимости контракта на обеспечение технической эксплуатации ВВТ со схемой оплаты по нормируемым показателям качества.

Данная задача возникла не так давно, но стала в последнее время весьма актуальной. Она связана с формированием системы управления жизненным циклом ВВТ. Отличительной особенностью контракта на обеспечение технической эксплуатации ВВТ со схемой оплаты по нормируемым показателям качества является то, что предметом такого контракта является не объем работ (услуг), поставляемых материальных средств, а уровень готовности парка ВВТ. Очевидно, что для такого контракта существующие методики оценки начальной цены контракта [1] не работают.

Формализованная постановка задачи имеет следующий вид:

$$\left(\Phi(K, A, P_i, P_m, P_z, G, I, H, I_k, I_m, U) \right) P_k, P_m, P_z \rightarrow \min$$

при $K \geq K^3, A = A^3, G \in G^3, I = I^3, H = H^3$,

где K^3, A^3, G^3, I^3, H^3 – заданные уровень готовности, места базирования, способы транспортировки, множество экземпляров изделия ВВТ, сценарии применения ВВТ.

Как и предыдущая задача, задача оценки начальной стоимости контракта на обеспечение технической эксплуатации ВВТ со схемой оплаты по нормируемым показателям качества может решаться при помощи программного комплекса «Система технико-экономического анализа».

2.3. Задача определения достигаемого уровня готовности при лимитах на финансирование

Часто при обосновании программ и планов развития ВВТ возникает задача поиска рациональных решений по техническому оснащению Вооруженных Сил в условиях снижения первоначальных лимитов ассигнований. Учитывая тот факт, что основная часть технической эксплуатации ВВТ возлагается на предприятия промышленности, в связи чем программно-плановые документы включают и мероприятия по обеспечению технической эксплуатации, так называемое сервисное обслуживание и ремонт, необходимо создать инструмент поиска рациональных решений в условиях ограничения лимитов и для технической эксплуатации ВВТ.

Первый шаг в поиске таких рациональных решений для эксплуатации ВВТ заключается в определении того, какая будет достигнута готовность ВВТ при заданной сумме ассигнований. Формальная постановка данной задачи имеет следующий вид:

$$K = \Phi^k(S, A, P_i, P_m, P_z, G, I, H, I_k, I_m, U) P_k, P_m, P_z \rightarrow \max$$

при $S \leq S^3, A = A^3, G \in G^3, I = I^3, H = H^3$,

где Φ^k – функция, позволяющая выполнить обратное преобразование – вычислить готовность множества экземпляров изделия ВВТ при заданной сумме ассигнований;

S^3, A^3, G^3, I^3, H^3 – заданные стоимость технической эксплуатации, места базирования, способы транспортировки, множество экземпляров изделия ВВТ, сценарии применения ВВТ.

Решение задачи определения достигаемого уровня готовности ВВТ при снижении лимитов финансирования также обеспечивается предлагаемой моделью СТЭ ВВТ, реализованной в программном комплексе «Система технико-экономического анализа».

Данная задача имеет продолжение, которое заключается в поиске способов повышения готовности ВВТ при ограниченных лимитах. В качестве возможных вариантов таких способов могут рассматриваться перераспределение объемов работ по ТОиР между Заказчиком и Поставщиком, снижение требований по исправности к отдельным подсистемам (составным частям) ВВТ, допуск к использованию восстановленных КИ вместо новых изделий.

Несмотря на то, что на практике в такой формулировке задача на сегодняшний день не ставится, весьма вероятно, что в недалеком будущем она станет востребованной и следует заблаговременно подготовиться к ее решению.

Таким образом, предлагаемая модель СТЭ изделия ВВТ, основанная на использовании методологии анализа логистической поддержки, и реализующий ее комплекс программного обеспечения открывают возможность эффективного решения целого круга задач, связанных с определением зависимости между стоимостью технической эксплуатации и получаемой готовностью ВВТ.

Список использованных источников

1. Буренок В.М., Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Оценка стоимостных показателей высокотехнологичной продукции – М.: Граница, 2012. – 424 с.
2. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Управление техническим обеспечением жизненного цикла вооружения и военной техники. – М.: Граница, 2015. – 304 с.

3. Синицын И.Н., Шаламов А.С. Лекции по теории интегрированной логистической поддержки. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2012. – 624 с.

4. Инженерная логистика: логистически-ориентированное управление жизненным циклом продукции: Учебник для вузов / Под ред. Л.Б. Миротина и И.Н. Омельченко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 644 с.

5. Клочков В.В. CALS-технологии в авиационной промышленности: организационно-экономические аспекты. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 124 с.

6. Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.Н., Бороздин Д.Н. Анализ логистической поддержки: теория и практика. – М.: Информ-Бюро, 2014. – 260 с.