

Буравлев А.И.

Доктор технических наук, профессор.

Пьянков А.А.

### Модель технического обеспечения войск

*В статье рассматривается математическая модель процесса технического обеспечения войск, позволяющая получать количественные оценки потребной численности ВВТ для обеспечения заданного уровня боеготовности и поддержания боевого потенциала войск, а также затрат, необходимых для осуществления технического обеспечения на определенный период военного планирования.*

Техническое обеспечение войск является важнейшим составляющим комплекса мероприятий, направленных на поддержание боеготовности и боеспособности войск [1]. Оно включает в себя снабжение войск необходимой номенклатурой вооружения и военной техники (ВВТ), содержание ВВТ в заданных степенях технической и боевой готовности, обеспечение технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), доработок, списание и утилизацию ВВТ. В осуществлении технического обеспечения принимают участие органы военного управления, войсковые части, ремонтные организации и предприятия оборонной промышленности.

Мероприятия по техническому обеспечению являются составной частью Государственной программы вооружений (ГПВ) и реализуются в рамках государственного оборонного заказа (ГОЗ). В зависимости от полноты и качества выполнения мероприятий по техническому обеспечению войск зависит их уровень боеготовности, боеспособность и боевой потенциал.

Поэтому важной научной и прикладной задачей является разработка информационных и математических моделей для военно-экономического анализа и управления техническим обеспечением войск.

В данной статье рассматривается математическая модель процесса технического обеспечения войск, позволяющая получать количественные оценки потребной численности ВВТ для обеспечения заданного уровня боеготовности и поддержания боевого потенциала войск, а также экономических затрат, необходимых для осуществления технического обеспечения на определенный период военного планирования.

**Постановка задачи.** Рассматривается группировка войск, включающая в себя  $m$

различных типов ВВТ численностью  $N_i, (i = \overline{1, m})$ , необходимой для решения заданного объема боевых задач. Каждый образец ВВТ характеризуется величиной боевого потенциала  $W_i$ , который определяется максимальной интенсивностью поражающего действия по типовым объектам поражения с учетом частоты применения по ним.

Любой образец ВВТ, находящийся в войсках, может иметь следующие несовместимые состояния:

$S_0$  - исправное (работоспособное) состояние при пребывании его в режиме хранения;  $S_1$  - неисправное (неработоспособное) состояние, требующее ремонта определенного вида;  $S_2$  - исправное (работоспособное) состояние при нахождении в режиме боеготовности состоянии;  $S_3$  - неисправное состояние, требующее списания и последующую утилизацию;  $S_4$  - исправное (работоспособное) состояние, требующее доработки для повышения боевого потенциала образца ВВТ.

Исправное состояние – это состояние образца ВВТ, которое характеризуется наличием запаса технического ресурса и нахождением всех его технических параметров в установленных допусках. Работоспособное состояние отличается от исправного состояния тем, что некоторые параметры образца ВВТ, не влияющие на его функционирование, могут не соответствовать установленным допускам. Важнейшим фактором, определяющим исправность (работоспособность) образца ВВТ является запас технического ресурса. В случае выработки технического ресурса образец ВВТ считается неисправным и его эксплуатация должна быть

прекращена. После чего образец подвергается техническому освидетельствованию и далее, либо капитальному ремонту для восстановления технического ресурса, либо списанию и утилизации.

Ремонт ВВТ, имеющего запас технического ресурса, производится в войсковых ремонтных подразделениях (частях). Капитальный ремонт, связанный с восстановлением технического ресурса, осуществляется на предприятиях промышленности. Утилизация ВВТ осуществляется в специальных частях (базах) или на предприятиях промышленности.

Доработки образцов ВВТ с целью их модернизации, направленной на повышение их боевых возможностей (надежности, эксплуатационной технологичности, боевой эффективности), осуществляются как в войсках, так и на ремонтных предприятиях и предприятиях оборонной промышленности. При проведении доработок на ремонтных предприятиях и предприятиях промышленности образцы ВВТ исключаются из списочного состава войсковых частей.

Для переоснащения войск новой техникой осуществляется поставка новых образцов ВВТ из промышленности.

Содержание ВВТ в определенном состоянии требует затрат материальных и трудовых ресурсов, которые могут быть выражены в единой стоимостной шкале затрат. Перевод ВВТ из одного состояния в другое осуществляется под действием определенных управлений.

Для описания процесса технического обеспечения используем модель массового обслуживания [2], которая, с одной стороны, достаточно адекватно описывает реальный процесс эксплуатации ВВТ, а, с другой, - ее параметры достаточно просто могут быть определены по статистическим данным из войск. В данной модели переходы из одного состояния в другое осуществляются с интенсивностями, которые зависят от воздействия внешней среды и управляющих воздействий со стороны системы управления.

На рисунке 1 представлен граф возможных состояний образца ВВТ.

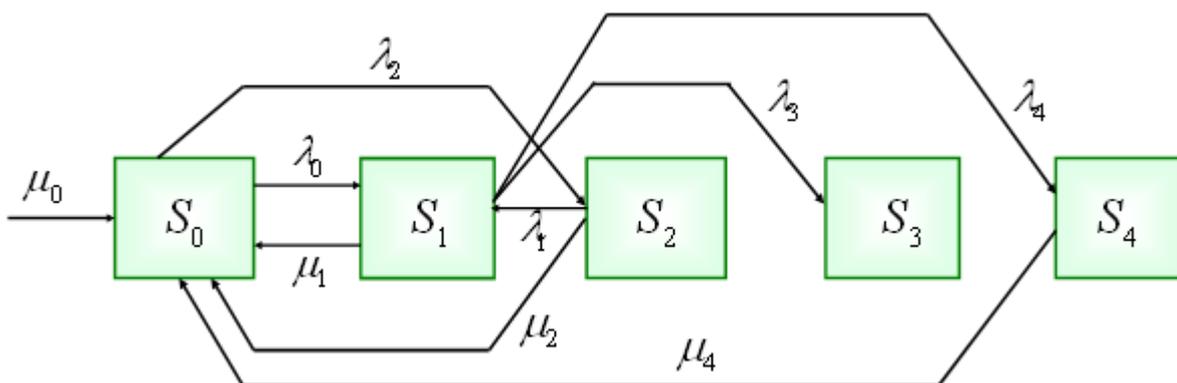


Рисунок 1 – Граф состояний образца ВВТ

На графе обозначены:

$\mu_0$  - интенсивность поступления новой ВВТ;  $\lambda_0$  - интенсивность отказов ВВТ, находящихся на хранении;  $\lambda_1$  - интенсивность отказов ВВТ, находящихся в боеготовом состоянии;  $\mu_1$  - интенсивность восстановления ВВТ средствами ремонта;  $\lambda_2$  - интенсивность перевода ВВТ в боеготовое состояние;  $\mu_2$  - интенсивность перевода ВВТ в состояние постоянной готовности;  $\lambda_3$  - интенсивность отхода ВВТ в утилизацию;  $\lambda_4$  - интенсив-

ность отхода ВВТ на доработки;  $\mu_4$  - интенсивность поступления модернизированной ВВТ.

#### Динамическая модель технического обеспечения группировки войск

В соответствии с графом состояний (рисунок 1) выпишем систему уравнений для средних численностей ВВТ определенного типа, находящихся в различных состояниях:

$$\frac{dn_0(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4)n_0(t) + \mu_1 n_1(t) + \mu_2 n_2(t) + \mu_4 n_4(t) + \mu_0(t); n_0(0) = N_0;$$

$$\begin{aligned}
\frac{dn_1(t)}{dt} &= -(\mu_1 + \lambda_3)n_1(t) + \lambda_1 n_0(t) + \\
&+ \mu_1 n_2(t); n_1(0) = N_1; \\
\frac{dn_2(t)}{dt} &= -(\mu_1 + \mu_2)n_2(t) + \\
&+ \lambda_2 n_0(t); n_2(0) = N_2; \\
\frac{dn_3(t)}{dt} &= \lambda_3 n_1(t); n_3(0) = N_3; \\
\frac{dn_4(t)}{dt} &= -\mu_4 n_4(t) + \lambda_4 n_1(t); n_4(0) = N_4; \\
n_0(t) + n_1(t) + n_2(t) + n_3(t) + n_4(t) &= N(t).
\end{aligned} \quad (1)$$

Система уравнений (2) имеет поглощающее состояние  $S_3$  и входной поток интенсивности  $\mu_0$  из внешнего источника. В связи с этим, суммарная численность ВВТ  $N(t)$ , находящихся в разных состояниях, является переменной величиной. Она может возрастать, если интенсивность закупки и модернизации ВВТ будет выше, чем отход на утилизацию, и убывать, в противном случае. Процесс не имеет стационарного распределения численностей ВВТ в разных состояниях. Это приводит к тому, что при несогласованности интенсивностей поставки  $\mu_0$  и отхода в утилизацию  $\lambda_3$ , моделируемый процесс может принять вырожденный характер, в результате чего в поглощающем состоянии будет сосредоточена вся численность ВВТ.

Для дальнейшего анализа систему дифференциальных уравнений (1) представим в виде дискретного процесса с интервалом дискретизации  $\Delta t$ .

Для практических расчетов интервал дискретности  $\Delta t$  принимается равным одному году.

Полагая  $t = 1, 2, \dots, T$ ,  $\frac{dn(t)}{dt} \approx n(t) - n(t-1)$ , получаем следующую систему алгебраических уравнений

$$\begin{aligned}
n_0(t) &= (1 - \bar{\lambda}_0 - \bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_4)n_0(t-1) + \bar{\mu}_1 n_1(t-1) + \\
&+ \bar{\mu}_2 n_2(t-1) + \bar{\mu}_4 n_4(t-1) + \bar{\mu}_0(t); \\
n_1(t) &= (1 - \bar{\mu}_1 - \bar{\lambda}_3)n_1(t-1) + \\
&+ \bar{\lambda}_0 n_0(t-1) + \bar{\lambda}_1 n_2(t-1); \\
n_2(t) &= (1 - \bar{\lambda}_1 - \bar{\mu}_2)n_2(t-1) + \bar{\lambda}_2 n_0(t-1); \\
n_3(t) &= n_3(t-1) + \bar{\lambda}_3 n_1(t-1)
\end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
n_4(t) &= (1 - \bar{\mu}_4)n_4(t-1) + \bar{\lambda}_4 n_1(t-1); \\
n_0(t) + n_1(t) + n_2(t) + n_3(t) + n_4(t) &= N(t); \\
n_0(0) = N_0; n_1(0) = N_1; n_3(0) = N_3; n_4(0) = N_4; \\
(t = 1, 2, \dots),
\end{aligned}$$

где  $\bar{\lambda} = \lambda \Delta t$ ;  $\bar{\mu} = \mu \Delta t$  - вероятности перехода образца ВВТ в различные состояния за промежуток времени  $\Delta t$ .

Поскольку образцы ВВТ, отправляемые на утилизацию и модернизацию, исключаются из штатной численности частей группировки, то фактическая численность группировки включает в себя численности ВВТ, находящиеся в боеготовом состоянии, на хранении и ремонте

$$N'(t) = n_0(t) + n_1(t) + n_2(t). \quad (3)$$

Параметры модели (2)  $\bar{\lambda}, \bar{\mu}$  определяются на основе статистических данных, получаемых из войск, по следующей формуле:

$$\bar{\lambda} = \frac{n(t) - n(t-1)}{N - n(t-1)}. \quad (4)$$

Свяжем с каждым состоянием затраты  $C_j(t)$ , ( $j = 0, 5$ ), необходимые для проведения мероприятий технического обеспечения. При этом,  $C_0(t)$  - это затраты на содержание ВВТ в режиме хранения;  $C_2(t)$  - затраты на содержание ВВТ в боеготовом состоянии;  $C_1(t)$ ,  $C_3(t)$ ,  $C_4(t)$  - затраты на выполнение ремонта, утилизации и модернизации ВВТ;  $C_5(t)$  - стоимость закупки ВВТ. Все затраты целесообразно разделить на две группы. Первая группа включает текущие затраты, связанные с содержанием ВВТ в войсках. Примем допущение о том, что затраты на содержание одного образца ВВТ на хранении, в ожидании ремонта, утилизации и модернизации одинаковы и линейно зависят от времени нахождения образца ВВТ в данном режиме

$$C_0(t) = c_0 t \quad (5)$$

где  $c_0$  - затраты в единицу времени.

Аналогичное допущение примем и для затрат при содержании ВВТ в боеготовом состоянии, но при более высокой их интенсивности

$$C_2(t) = c_2 t, \quad c_2 > c_0.$$

Тогда величина затрат на содержание ВВТ в различных состояниях за время  $T$  составит

$$C_c(T) = c_0 \left[ \begin{matrix} n_0(T) + n_1(T) + \\ + n_3(T) + n_4(T) \end{matrix} \right] + c_2 n_2(T) \quad (6)$$

Вторая группа затрат включает затраты, связанные с выполнением полного объема ремонта, модернизации, утилизации и закупки ВВТ. Эти затраты будем полагать также линейными, но относительно численности ВВТ. Пусть

$c_1, c_3, c_4, c_5$  - соответствующие затраты, приходящиеся на один образец ВВТ. Эти удельные затраты также могут зависеть от времени в силу инфляции и роста цен на ВВТ и услуги. Для учета этой зависимости используем коэффициент дефляции  $d(t) = (1 + E)^t$

$$c_i(t) = c_i d(t), \quad (8)$$

где  $E$  - средний уровень инфляции, учитываемый при планировании технического обеспечения ВВТ.

Тогда полные затраты на ремонт, утилизацию, модернизацию и закупку ВВТ за время  $T$  составят

$$C_B(T) = d(T) \left[ \begin{matrix} c_1 n_1(T) + c_3 n_3(T) + \\ + c_4 n_4(T) + c_5 \bar{\mu}_0(T) \end{matrix} \right]. \quad (9)$$

Принятые выше допущения в основном соответствуют практике программного планирования технического обеспечения ВВТ.

Сумма текущих и ожидаемых затрат характеризует полные затраты  $C_2(T)$  на техническое обеспечение войск в течение рассматриваемого периода времени.

Полученная модель позволяет проводить анализ влияния основных параметров системы технического обеспечения на показатель боеготовности и боевой потенциал войск.

Исправность парка ВВТ характеризуется коэффициентом исправности

$$K_H(t) = \frac{n_0(t) + n_2(t)}{N'(t)}, \quad (6)$$

а боеготовность - коэффициентом боеготовности

$$K_{БГ}(t) = \frac{n_2(t)}{n_0(t) + n_2(t)}, \quad (7)$$

где  $N'(t) = n_0(t) + n_1(t) + n_2(t)$  - текущая численность группировки.

Боевой потенциал ВВТ группировки зависит от боевых потенциалов образцов ВВТ и их относительной численности в составе группировки. Будем считать, что боевые потенциалы различных образцов ВВТ измерены относительно некоторых эталонных образцов и заданы своими коэффициентами  $K_{БП}$ . Обозначим  $K_{БП}^{(0)}$  - коэффициент боевого потенциала штатного образца ВВТ,  $K_{БП}^{(1)}$  - коэффициент боевого потенциала модернизированного образца ВВТ,  $K_{БП}^{(2)}$  - коэффициент боевого потенциала поставленного нового образца ВВТ. Тогда среднее значение коэффициента боевого потенциал ВВТ группировки составит

$$K_{БП}(t) = K_{БП}^{(0)} \left[ \frac{N'(t) - n_4^*(t) - \bar{\mu}_0^*(t)}{N'(t)} \right] + K_{БП}^{(1)} \frac{n_4^*(t)}{N'(t)} + K_{БП}^{(2)} \frac{\bar{\mu}_0^*(t)}{N'(t)}, \quad (8)$$

$$\text{где } n_4^*(t) = \sum_{k=1}^t \bar{\mu}_4 n_4(k-1); \quad \bar{\mu}_0^*(t) = \sum_{k=1}^t \bar{\mu}_0(k)$$

- численность модернизированных и закупленных новых образцов ВВТ к текущему моменту времени.

На рисунках 2 - 5 показаны графики изменения коэффициентов исправности, боеготовности и боевого потенциала войск, текущих и общих затрат на техническое обеспечение войск при следующих исходных данных:

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 0,01; \quad \mu_1 = 0,1; \quad \lambda_1 = 0,1; \quad \lambda_2 = 0,2; \quad \mu_2 = 0,05; \\ \lambda_3 &= 0,05; \quad \mu_3 = 0,45; \quad \lambda_4 = 0,15; \quad \mu_3 = 0,2; \\ \mu_5 &= 1,0; \quad K_{БП}^{(0)} = 1; \quad K_{БП}^{(1)} = 1,4; \quad K_{БП}^{(2)} = 2. \end{aligned}$$



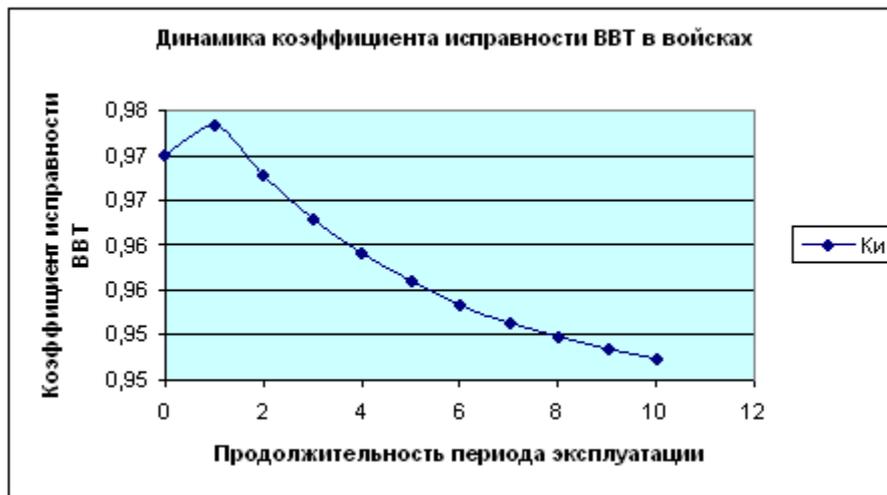


Рисунок 2 – График динамики исправности ВВТ в войсках

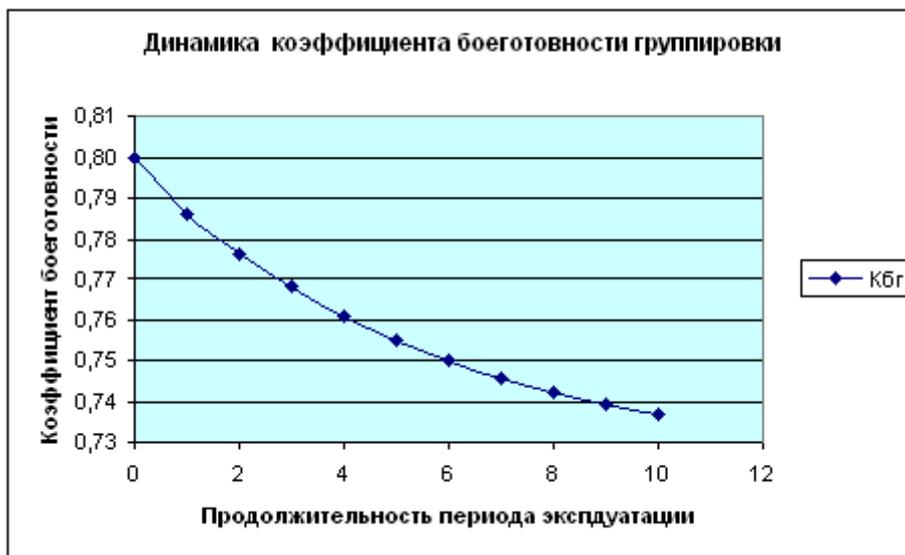


Рисунок 3 – График динамики коэффициента боеготовности группировки

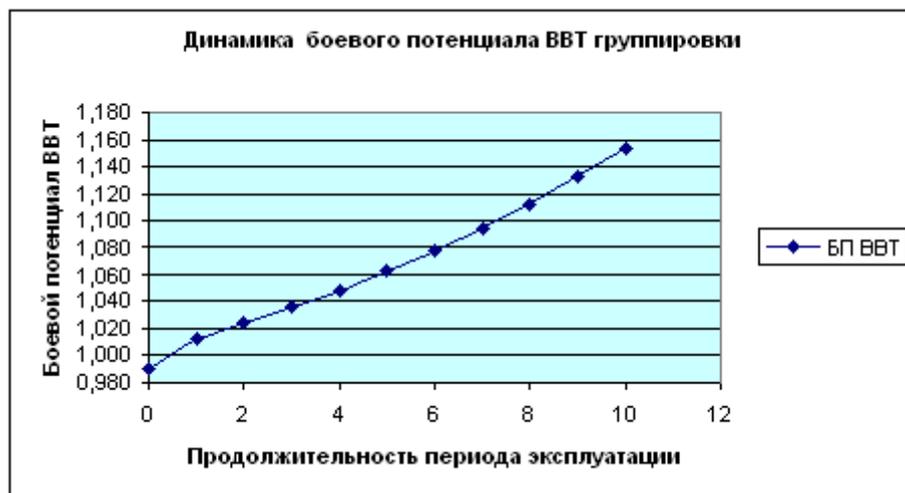


Рисунок 4 – График динамики боевого потенциала ВВТ группировки

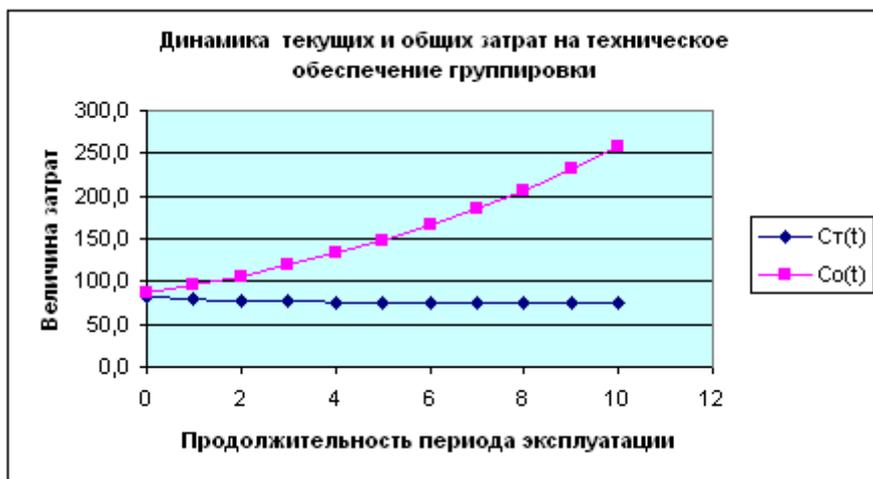


Рисунок 5 – График динамики текущих и общих затрат на ТО группировки

Из рисунка 3 видно, что при постоянной интенсивности перевода ВВТ в боеготовое состояние коэффициент боеготовности группировки войск  $K_{БГ}(t)$  постепенно снижается.

Для поддержания постоянного уровня боеготовности интенсивность  $\lambda_2$  нужно из-

менять по определенному закону. На рисунке 6 показана динамика изменения коэффициента боеготовности при линейной функции  $\lambda_2(t) = 0,2 + 0,015t$ .



Рисунок 6 – График динамики коэффициента боеготовности группировки при линейной функции

Полученная модель может быть использована как для анализа системы технического обеспечения, так и для оптимизации процесса управления техническим обеспечением.

В рамках задачи формирования ГПВ оптимальное управление процессом технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации состоит в определении потребного объема ремонта, модернизации и закупок ВВТ, обеспечивающих минимум общих затрат за программный период при

поддержании требуемого уровня исправности и боеготовности ВВТ в каждый текущий момент времени, выход на заданную численность группировок войск и требуемый боевой потенциал на конец программного периода.

Формализованная постановка задачи оптимального управления процессом технического обеспечения состоит в следующем. В качестве управлений рассмотрим годовые объемы закупок  $u_0(t)$ , ремонта  $u_1(t)$  и мо-

дернизации  $u_4(t)$ . Совокупность этих элементов составляет вектор управления  $\mathbf{u}(t)$  техническим обеспечением. В качестве критерия оптимизации управления рассмотрим минимум общих затрат на техническое обеспечение за программный период  $T$

$$C_{\Sigma}(T) = \sum_{t=1}^T \mathbf{c}(t)^T \mathbf{u}(t) \Rightarrow \min_{\mathbf{u}(t)} \quad (9)$$

Ограничениями на управление являются заданная численность группировок войск  $\widehat{N}$  и величина их боевого потенциала  $\widehat{K}_{БП}$  войск на конец рассматриваемого периода  $T$ , а также обеспечение требуемого уровня исправности  $\widehat{K}_{И}$  и боеготовности  $\widehat{K}_{БГ}$  ВВТ на каждом шаге процесса:

$$N'(\mathbf{U}(T)) = \widehat{N}'; \quad (10)$$

$$K_{И}(\mathbf{u}(t)) \geq \widehat{K}_{И}; \quad (11)$$

$$K_{БГ}(\mathbf{u}(t)) \geq \widehat{K}_{БГ}; \quad (12)$$

$$K_{БП}(\mathbf{U}(T)) \geq \widehat{K}_{БП}; t = 1, 2, \dots, T, \quad (13)$$

где  $\mathbf{U}(T) = \{\mathbf{u}(1), \mathbf{u}(2), \dots, \mathbf{u}(T)\}$  - программа управления техническим обеспечением войск в течение программного периода.

Сформулированная выше задача является задачей динамического программирования [3]. Методика и алгоритм ее решения будет рассмотрен в следующей статье.

#### Список использованных источников:

1. Буренок В.М., Косенко А.А., Лавринов Г.А. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты.- М.: Издательский дом «Граница», 2007.
2. Тараканов К.В., Овчаров Л.А., Тырышкин А.Н. Аналитические методы исследования систем. - М.: Сов. Радио, 1974.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. - М.: Наука, 1991.
4. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления.- М.: Наука, 1969.

