

А.А.Пьянков, кандидат технических наук

## Экономико-математическая модель системы ремонта вооружения и военной техники в современных условиях<sup>1</sup>

*В статье рассмотрена постановка задачи оптимального управления процессом ремонта неисправного ВВТ выездной ремонтной бригадой в месте дислокации воинской части или в территориально удаленном сервисном центре. При этом в качестве критериев оптимизации рассмотрены показатель исправности ВВТ и удельные затраты на ремонт ВВТ. Для описания процесса технического обеспечения войск использован математический аппарат массового обслуживания с разрывными (импульсными и дельтаобразными) функциями интенсивностей потоков заявок и дифференциальные уравнения «динамики средних». В статье приведены примеры, демонстрирующие работоспособность разработанной модели при различных интервалах дискретизации.*

Начиная с 2010 года в Вооруженных Силах Российской Федерации (ВС РФ) функционирует новая система материально-технического обеспечения (МТО) ВС РФ, созданная из двух ранее самостоятельных видов всестороннего обеспечения войск (сил) ВС РФ: технического и тылового. При переходе к новой системе МТО функции по сервисному обслуживанию и ремонту вооружения и военной техники (ВВТ) полностью переданы предприятиям-поставщикам и сервисным центрам (СЦ) ОАО «Оборонсервис» с одновременной ликвидацией военных заводов [1].

В настоящее время практически все 100% соединений и частей Министерства обороны (то есть более 200 формирований) уже перешли на использование услуг ОАО «Оборонсервис» непосредственно в пунктах постоянной дислокации. За каждым заводом ОАО «Оборонсервиса» закреплены свои соединения и воинские части. Заводы имеют в своем составе выездные ремонтные бригады (ВРБ), работающие по территориальному принципу в своих зонах ответственности [2]. Бригады проводят диагностику ВВТ, определяют объемы и перечень работ, которые необходимо провести и осуществляют непосредственный ремонт ВВТ. Если же ремонт на месте по какой-то причине невозможен, техника от-

правляется на завод-изготовитель. Таким образом, в настоящее время ремонт неисправных образцов ВВТ может осуществляться как в специальных сервисных центрах при предприятиях-изготовителях и подразделениях ОАО «Оборонсервис», так и непосредственно в воинских частях выездными ремонтными бригадами от этих специализированных центров.

В связи с этим при планировании материально-технического обеспечения воинских подразделений необходимо решать задачи, связанные с оценкой эффективности работы СЦ и ВРБ по ремонту ВВТ в условиях территориальной удаленности этих центров от мест постоянной дислокации воинских частей и подразделений. Необходимо получить ответ на вопрос: какой же в том или ином случае выбрать способ организации ремонта – вести неисправные машины в сервисный центр или организовать ремонт выездной бригадой на месте? Сколько при этом, с экономической точки зрения, целесообразно иметь выездных бригад, чтобы обеспечить заданный уровень боеготовности воинского подразделения?

Одним из вариантов является транспортировка неисправной техники в СЦ: такие центры обладают несравненно большей мощностью, чем передвижные. Благодаря этому ре-

1 Статья подготовлена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-359.2013.10.

монта ВВТ будет произведен не только более качественно, но и скорее всего в более сжатые сроки, чем в воинском подразделении. Однако при этом будет затрачено время на доставку образца ВВТ в СЦ и обратно. Другим вариантом является ремонт ВВТ непосредственно на месте дислокации воинского подразделения. В этом случае ремонт не потребует затрат времени на транспортировку, но в силу недостаточной мощности такой ВРБ может произойти ее перегрузка и часть неисправных образцов ВВТ будет простаивать в ожидании, пока закончится ремонт техники, ранее вышедшей из строя. За счет этого будут иметь место потери времени на ожидание начала ремонта (начала обслуживания).

Разумеется, если подходить к решению этой задачи только с точки зрения материальных затрат, то ремонт ВРБ вышедшей из строя техники потребует меньших финансовых затрат, так как к стоимости ремонта в сервисном центре прибавится еще стоимость транспортировки неисправного ВВТ к месту ремонта и обратно. Однако в интересах обеспечения заданного уровня боеспособности и боеготовности воинского формирования исключительно важное значение имеет время, в течение которого производятся эти работы, а оно в значительной степени будет зависеть от времени простоя образцов ВВТ, нуждающихся в ремонте. Поэтому лучшим будет тот способ организации ремонта, для которого это время будет наименьшим.

Таким образом, в интересах нахождения оптимальной организации ремонта ВВТ выездными ремонтными бригадами и сервисными центрами необходимо построить соответствующую экономико-математическую модель, обеспечивающую получение количественной оценки эффекта и затрат, необходимых для осуществления ремонта неисправного ВВТ за определенный временной интервал.

**Постановка задачи.** Рассматривается воинская часть, включающая в себя  $m$  различных типов ВВТ численностью  $N_i$ , ( $i = \overline{1, m}$ ), необходимых для решения заданного объема

боевых задач. Ремонт образцов ВВТ может быть организован или выездной ремонтной бригадой в месте дислокации воинской части, или в специализированном сервисном центре, который удален от воинской части на расстоянии  $d$  км. Сервисный центр может выделить  $l$  выездных бригад, которые могут осуществлять ремонт на месте дислокации воинского подразделения. При этом одна выездная бригада может одновременно ремонтировать не более одного образца ВВТ. В данной статье рассмотрен простейший случай, когда одну воинскую часть обслуживает один сервисный центр.

В случае отказа образца ВВТ происходит потеря его работоспособности и он считается неисправным. При этом по условию задачи ремонт образцов ВВТ может быть организован или выездной ремонтной бригадой в месте дислокации воинской части, или в сервисном центре. Образец ВВТ также может быть направлен в ремонт при истечении межремонтного срока службы, вне зависимости исправен ли этот образец ВВТ или нет. В этом случае ремонт проводится только в СЦ и, как правило, заранее известно время подачи техники в ремонт, поэтому интенсивность поступления образца ВВТ в ремонт является детерминированной величиной.

Любой образец ВВТ, находящийся в войсках, может иметь следующие несовместные состояния [3]:

$S_0$  – исправное (работоспособное) состояние при эксплуатации его в воинской части;

$S_1$  – неисправное состояние образца ВВТ, находящегося на диагностике технического состояния в воинской части для определения вида ремонта;

$S_2$  – неисправное состояние, требующее ремонт выездными бригадами;

$S_3$  – неисправное состояние образца ВВТ, требующее капитальный ремонт, связанный с восстановлением технического ресурса, который осуществляется в сервисных центрах.

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 мероприятий. Следует отметить, что состояние  $S_1$  является практически мгновенным. По сути это диспетчерский пункт, где происходит принятие решения, куда следует направить неисправный образец ВВТ на ремонт: в СЦ или ВРБ.

Поскольку имеется большое количество однородных элементов (образцов ВВТ), а

отказы ВВТ являются случайными событиями, то для описания системы технического обслуживания и ремонта целесообразно использовать модель массового обслуживания [4]. Такая модель, с одной стороны, достаточно адекватно описывает реальный процесс эксплуатации ВВТ, с другой, ее параметры 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.

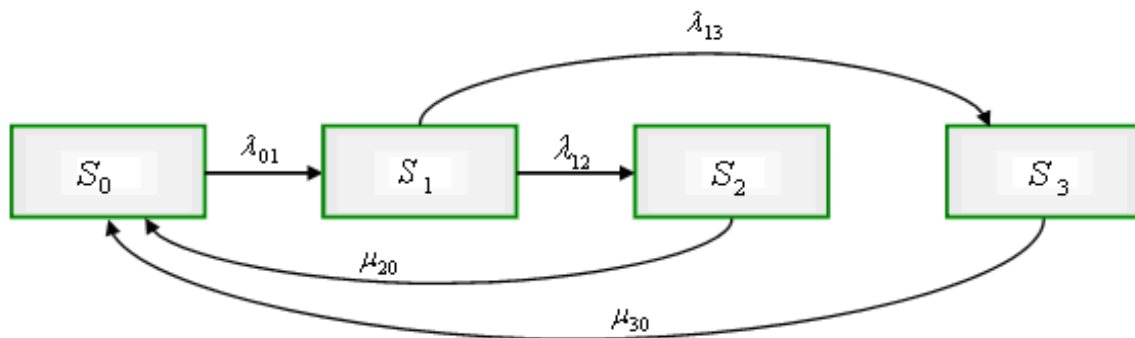


Рисунок 1 – Граф состояний образца ВВТ

На графе обозначены:

$\lambda_{01}$  – интенсивность отказов ВВТ, находящихся в эксплуатации в воинской части;

$\lambda_{12}$  – интенсивность подачи неисправных образцов ВВТ в ремонт ВРБ;

$\lambda_{13}$  – интенсивность подачи неисправных образцов ВВТ в ремонт в сервисный центр;

$\mu_{30}$  – интенсивность восстановления ВВТ средствами ремонта в сервисном центре;

$\mu_{20}$  – интенсивность восстановления ВВТ средствами выездной бригады.

Интенсивности подачи неисправных образцов ВВТ в ремонт выездными бригадами  $\lambda_{12}$  или в сервисный центр  $\lambda_{13}$  зависят от различных факторов: результатов диагностики ВВТ, наличия свободных бригад, наличия свободных мест в сервисном центре, и, по сути, являются управляющими параметрами.

Для этого введем параметр управления  $\alpha$ , характеризующий долю ВВТ, ремонт которых производится в заводских условиях (в СЦ). Тогда интенсивность отхода неисправных образцов ВВТ, подлежащих ремонту ВРБ, будет иметь вид:  $\lambda_{12} = (1 - \alpha)\lambda$ , где  $\lambda$  – общая интенсивность отхода ВВТ в ремонт.

Поток неисправных образцов ВВТ, подлежащих ремонту в СЦ  $\lambda_{13}$ , является сложным и содержит в себе два потока: первый – поток, определяемый отказами ВВТ –  $\alpha\lambda$ ; второй – поток ВВТ, направляемого на капитальный ремонт в СЦ при истечении межремонтного срока службы. Следует отметить, что второй поток ВВТ может периодически прерываться и возобновляться. В этом случае функция интенсивности представляет собой им-

пульсную или дельтаобразную функцию с параметрами  $\eta, \tau$  [5]:

$$\eta \cdot \delta(t - k\tau), \quad (1)$$

где  $\eta$  – доля ВВТ, подлежащих капитальному ремонту на СЦ;

$\tau$  – периодичность выхода ВВТ на КР;

$\delta(t - k\tau)$  – импульсная периодическая дельта-функция.

Таким образом, интенсивность потока неисправных образцов ВВТ, подлежащих ремонту в СЦ  $\lambda_{13}$ , представляется следующим образом:

$$\lambda_{13}(t) = \alpha \lambda + \eta \cdot \delta(t - k\tau), \quad (2)$$

а интенсивность потока неисправных образцов ВВТ в целом определяется как:

$$\lambda_{01}(t) = \lambda_{12} + \lambda_{13} = \lambda + \eta \cdot \delta(t - k\tau), \quad (3)$$

$(k=1, 2, \dots)$

В соответствии с графом состояний выпишем систему уравнений для средних численностей ВВТ определенного типа, находящихся в различных состояниях [6]:

$$\frac{dn_0(t)}{dt} = -\lambda_{01}n_0(t) + \mu_{20}n_2(t) + \mu_{30}n_3(t);$$

$$n_0(0) = N_0$$

$$\frac{dn_1(t)}{dt} = -\lambda_{01}n_1(t) + \lambda_{01}n_0(t); n_1(0) = N_1;$$

$$\frac{dn_2(t)}{dt} = -\mu_{20}n_2(t) + \lambda_{12}n_1(t); n_2(0) = N_2; \quad (4)$$

$$n_1(t + \Delta t) = 1 - n_0(t + \Delta t); n_1(0) = N_1;$$

$$n_2(t + \Delta t) = -\mu_{20} \Delta t n_2(t) + (1 - \alpha) \lambda \Delta t n_1(t); n_2(0) = N_2; \quad (5)$$

$$n_3(t + \Delta t) = -\mu_{30} \Delta t n_3(t) + \left[ \alpha \lambda \Delta t - \eta \cdot 1 \left( t + \frac{\Delta t}{2} - k\tau \right) \right] n_1(t); n_3(0) = N_3;$$

$$n_0(t) + n_1(t) + n_2(t) + n_3(t) = N(t).$$

где  $\lambda \Delta t$ ;  $\mu \Delta t$  – вероятности перехода образца ВВТ в различные состояния за промежуток времени  $\Delta t$ .

Интенсивности  $\lambda$ ,  $\mu$  определяется средним числом событий, приходящихся на единицу времени и имеют размерность  $\left[ \frac{1}{\text{время}} \right]$ .

При этом  $\lambda_{01}$  определяется на основе статистических данных, получаемых из войск, по следующей формуле:

$$\frac{dn_3(t)}{dt} = -\mu_{30}n_3(t) + \lambda_{13}n_1(t); n_3(0) = N_3;$$

$$n_0(t) + n_1(t) + n_2(t) + n_3(t) = N(t).$$

Система уравнений (4) не имеет поглощающих состояний, а также входных потоков интенсивности из внешних источников. Следовательно, имеем дело с замкнутой системой, в которой суммарная численность ВВТ  $N(t)$ , находящихся в разных состояниях, является постоянной величиной.

Для дальнейшего анализа систему дифференциальных уравнений (4) представим в виде дискретного процесса с интервалом дискретизации  $\Delta t$ , который задается из условия заданной точности решения задачи. Учитывая, что минимальный период бухгалтерской отчетности ремонтных предприятий составляет, как правило, один месяц, то целесообразно принять  $\Delta t = 1 \text{ месяц}$ .

Полагая

$$t = 1, 2, \dots, T,$$

$$\frac{dn(t)}{dt} = n(t) - n(t-1) \text{ и}$$

$$\int_t^{t+\tau} \delta(t - k\tau) dt = 1 \left( t + \frac{\Delta t}{2} - k\tau \right), \text{ получаем}$$

следующую систему разностных уравнений [5]:

$$\lambda = \frac{n(t) - n(t-1)}{N - n(t-1)}. \quad (6)$$

Интенсивность ремонта ВВТ выездными бригадами  $\mu_{20}$  зависит от времени обслуживания единицы техники и определяется как:

$$\mu_{20} = \frac{l \cdot \Delta u_{20}}{n_2(t) \Delta t}, \quad (7)$$

где  $\Delta u_{20}$  – объем произведенного ремонта ВВТ одной выездной бригадой за время  $\Delta t$ .

При ремонте в сервисном центре к времени ремонта добавляется время, затраченное на доставку образца ВВТ в СЦ и обратно  $\frac{2d}{v}$ . Таким образом, интенсивность ремонта ВВТ в СЦ определяется как:

$$\mu_{30} = \frac{\Delta u_{30}}{n_3(t) \left( \Delta t + \frac{2d}{v} \right)}, \quad (8)$$

где  $\Delta u_{30}$  – объем произведенного ремонта ВВТ сервисным центром за время  $\Delta t$ .

Рассмотрим затраты, необходимые для проведения мероприятий ремонта. Анализ отчетов о фактическом исполнении государственного оборонного заказа за последние годы показывает, что эти затраты линейно зависят от численности ВВТ. Учитывая, что стоимость ремонта в сервисном центре включает в себя стоимость доставки неисправного ВВТ в СЦ и обратно, затраты на ремонт в СЦ  $C_3(t)$  определяются по формуле:

$$C_3(t) = (2d \cdot c_d + c_3) \cdot n_3(t), \quad (9)$$

где  $c_d$  – стоимость доставки неисправного ВВТ;

$d$  – расстояние между СЦ и местом эксплуатации ВВТ;

$c_3$  – средняя стоимость ремонта одного образца ВВТ в СЦ.

Затраты на выполнение ремонта ВРБ  $C_2(t)$  определяются как:

$$C_2(t) = c_2 \cdot \min(n_2(t), l), \quad (10)$$

где  $l$  – количество одновременно работающих выездных бригад в воинской части;

$c_2$  – средняя стоимость ремонта одного образца ВВТ выездной бригадой.

Таким образом, полные затраты на ремонт ВВТ за время  $T$  составят

$$C_p(T) = (2d \cdot c_d + c_3) n_3(t) + c_2 n_2(T). \quad (11)$$

Полученная модель позволяет проводить анализ влияния основных параметров системы технического обслуживания на показатели эффективности ремонта ВВТ, основными из которых являются:

- коэффициент исправности ВВТ за время  $T$ :

$$\overline{K_{И}} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T K_{И}(t), \quad K_{И}(t) = \frac{n_0(t)}{N}; \quad (12)$$

- удельные затраты на ремонт ВВТ:

$$\overline{C_p} = \frac{C_p(T)}{N \cdot T}, \quad (13)$$

где  $T$  – расчетный период эксплуатации.

Таким образом, получена модель, устанавливающая зависимость между входными параметрами (интенсивностями переходов  $\lambda$ ,  $\mu$ , расстоянием между СЦ и местом дислокации воинского подразделения  $d$ ) и выходными показателями, характеризующими исправность парка ВВТ  $\overline{K_{И}}$  и удельные затраты на ремонт  $\overline{C_p}$ . При этом параметром управления является  $\alpha$ , который характеризует соотношение количества образцов ВВТ, ремонтируемых ВРБ и СЦ (рисунок 2).



Рисунок 2 – Обобщенная схема модели

Рассмотрим пример, иллюстрирующий работоспособность разработанной модели при следующих исходных данных (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные примера

Параметр	Обозначение	Значение
Расстояние от СЦ до воинской части	$d$	200 км
Скорость эвакуации	$v$	40км/ч
Шаг моделирования	$\Delta t$	1 месяц
Время ремонта 1 образца ВВТ	$t_p$	3 сут
Стоимость ремонта в СЦ	$c_3$	2 усл. ед.
Стоимость транспортировки неисправного ВВТ	$c_4$	0,01 усл. ед./ 1 км
Стоимость ремонта выездной бригадой	$c_2$	1 усл. ед.
Интенсивность отказов исправного ВВТ	$\lambda_{01}$	0,003
Доля ВВТ, требующего КР	$\eta$	0,01
Периодичность отхода ВВТ на КР	$\tau$	6
Число каналов заводского ремонта	$m$	2
Количество бригад	$l$	1
Общая численность исправного ВВТ	$N$	500
Временной интервал	$T$	24 месяца

На рисунках 3-5 показаны графики динамики изменения исправности парка ВВТ, восстановления ВВТ по текущему и капитальному ремонту, текущих и суммарных затрат на

ремонт ВВТ в динамике заданного временного интервала  $T$  при параметре управления  $\alpha=0,5$ .



Рисунок 3 – Динамика изменения коэффициента исправности парка ВВТ

Скачкообразный характер динамики исправности изменения исправности парка ВВТ, а также текущих и суммарных затрат на ре-

монт ВВТ обусловлен интенсивностью отхода ВВТ в ремонт, описываемой  $\delta$ -функцией (рисунок б).

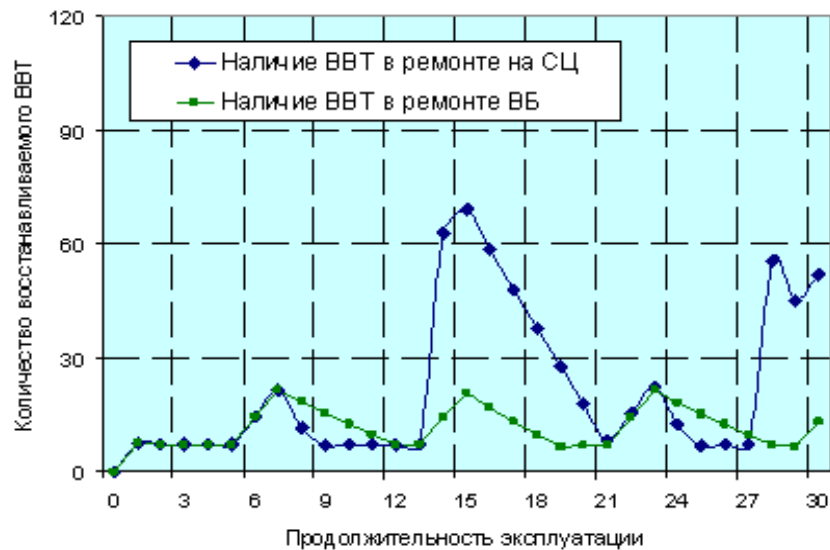


Рисунок 4 – Динамика восстановления ВВТ по текущему и капитальному ремонту



Рисунок 5 – Динамика текущих и суммарных затрат на ремонт ВВТ

На рисунке 7 показан график изменения коэффициента исправности в динамике заданного временного интервала  $T$  и в зависимости от параметра управления  $\alpha$ .

Из графиков видно, что коэффициент исправности достигает своих максимальных значений при  $\alpha=0,3$ , что говорит о целесообразности организации ремонта, при котором 30% неисправного ВВТ необходимо направлять в сервисный центр, а 70% ремонтировать на месте выездной ремонтной бригадой.

В рассмотренном примере интенсивности обслуживания ВВТ  $\mu_{20}$  и  $\mu_{30}$  являются стационарными и характеризуются средним временем обслуживания за время  $\Delta t=1\text{месяц}$ . Однако, при моделировании непосредственно процессов производства и восстановления ВВТ интервал дискретизации  $\Delta t$  должен быть гораздо меньшим, например, 1 день или 1 час. При этом необходимо учитывать разрывность функций интенсивностей  $\mu_{20}$  и  $\mu_{30}$ , обусловленную наличием перерывов в работе системы обслуживания и ремонта (8

или 16-часовой рабочий день, выходные дни), тогда как осреднение функции  $\mu(t)$  может

привести к значительным ошибкам при моделировании.

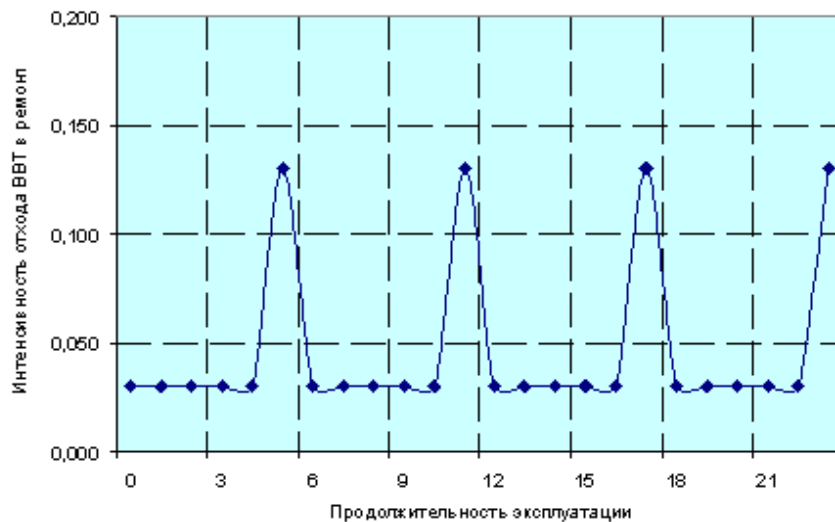


Рисунок 6 – Динамика интенсивности отхода ВВТ в ремонт

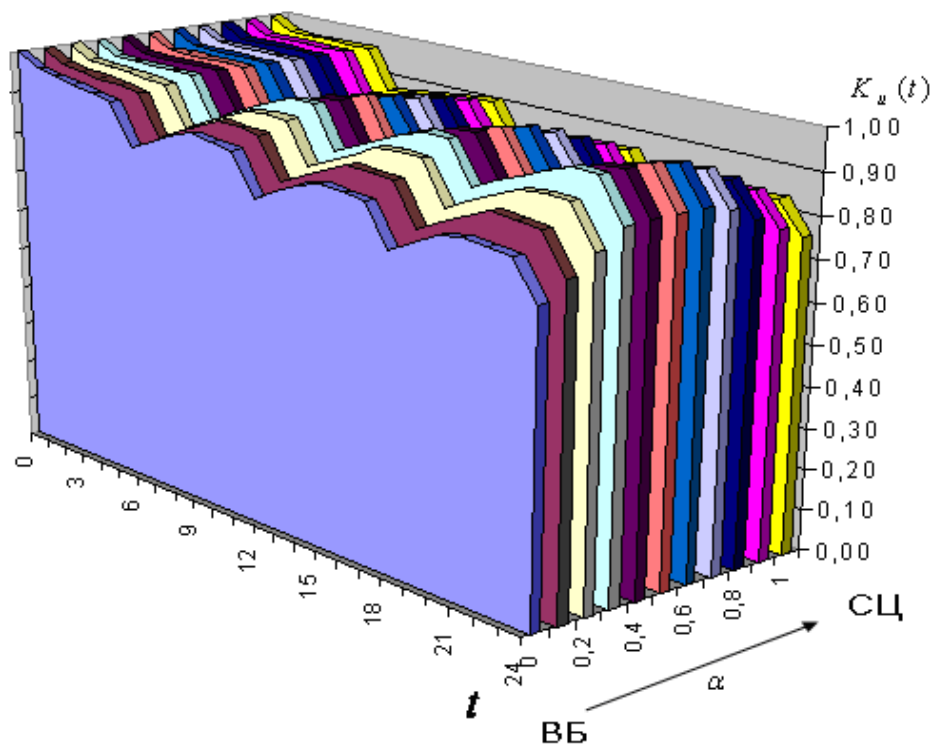


Рисунок 7 – График динамики исправности ВВТ в войсках при различных  $\alpha$

Учитывая это, интенсивность обслуживания  $\mu(t)$  представляется, как правило, в виде периодической импульсной функции с величиной импульса  $\mu$  и длительностью  $\tau$  (рисунок 8):

$$\mu(t) = \begin{cases} \mu, & t \in [t_{2k-2}; t_{2k-1}); \\ 0, & t \in [t_{2k-1}; t_{2k}); \end{cases} \quad k=1,2,\dots, \quad (14)$$

где  $t_{2k-1} = t_{2k} - \hat{t}$ ;  $t_{2k} = k(\tau + \hat{t})$ ;  $t_{2k+1} = t_{2k} + \tau$  – моменты разрывов функции интенсивностей;  $\hat{t}$  – период импульсной функции [5].



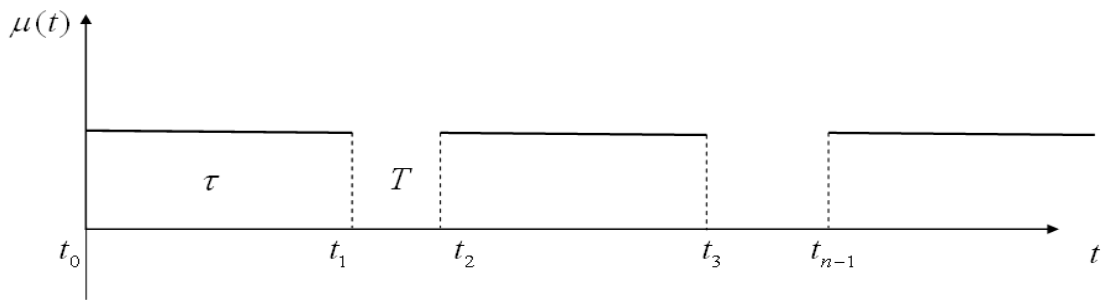


Рисунок 8 – График импульсной функции интенсивности обслуживания

На рисунках 9-11 показаны графики динамики изменения исправности парка ВВТ, восстановления ВВТ по текущему и капитальному ремонту, текущих и суммарных затрат на

ремонт ВВТ в динамике заданного временного интервала T при интервале дискретизации  $\Delta t = 1 \text{ день}$  и параметре управления  $\alpha = 0,5$ .



Рисунок 9 – Динамика изменения коэффициента исправности парка ВВТ

Провалы значений показателя коэффициента исправности  $\overline{K}_и$  обусловлены импульсной функцией интенсивностей обслуживания  $\mu_{20}$  и  $\mu_{30}$  с параметрами  $\tau = 5$  суток,  $t = 2$  суток (выходные дни).

Далее рассмотрим, как меняются коэффициент исправности парка ВВТ  $\overline{K}_и$  и удельные затраты на ремонт ВВТ  $\overline{C}_p$  в зависимости от параметра управления  $\alpha$  и расстояния  $d$  от места дислокации воинской части до СЦ при исходных данных предыдущего примера (таблица 2, рисунок 12).

Из результатов анализа видно, что с увеличением расстояния  $d$  максимум показателя исправности  $\overline{K}_и$  смещается в сторону увеличения  $\alpha$ . Это объясняется тем, что при увеличении расстояния увеличивается время транспортировки неисправного ВВТ к месту ремонта в СЦ и обратно, а следовательно и время простоя неисправного ВВТ, что влияет на показатель исправности ВВТ. Поэтому, чем больше расстояние от места дислокации воинского подразделения до СЦ, тем целесообразней организовывать ремонт непосредственно в воинском подразделении.



Рисунок 10 – Динамика восстановления ВВТ по текущему и капитальному ремонту



Рисунок 11 – Динамика текущих и суммарных затрат на ремонт ВВТ

На рисунке 13 результаты моделирования представлены в пространстве «исправность ВВТ – стоимость ремонта». Используя методы многокритериального выбора, можно определить предпочтительные решения, характеризующиеся максимальным значением показателя  $\bar{K}_и$  при минимальном показателе  $\bar{C}_р$  [7]. При этом область оптимальных значений лежит в «северо-западной» части графика. Также отсюда видно, что с увеличением расстояния  $d$  наблюдается снижение показателя  $\bar{K}_и$  и одновременно увеличение  $\bar{C}_р$ . Это обусловлено в первую очередь увеличением за-

трат на транспортировку неисправного ВВТ к месту ремонта в СЦ и обратно.

Полученная модель может быть использована как для анализа системы технического обеспечения, так и для решения оптимизационных задач управления техническим обеспечением [8], например:

определение оптимальной географической зоны ответственности сервисного центра и его выездных бригад по ремонту ВВТ при обеспечении заданного уровня исправности ВВТ и минимизации затрат на ремонт ВВТ;

нахождение оптимального соотношения количества образцов ВВТ, ремонтируемых выездными бригадами и сервисным центром, при обеспечении заданного уровня исправности ВВТ и минимизации затрат на ремонт ВВТ;

определение оптимального количества выездных бригад по ремонту ВВТ при обеспечении заданного уровня исправности ВВТ и минимизации затрат на ремонт ВВТ.

Таблица 2 – Результаты моделирования

$\alpha$	$d=20$ км		$d=70$ км		$d=200$ км		$d=1000$ км	
	$\overline{K}_{И}$	$\overline{C}_p$	$\overline{K}_{И}$	$\overline{C}_p$	$\overline{K}_{И}$	$\overline{C}_p$	$\overline{K}_{И}$	$\overline{C}_p$
0	0,87	5,30	0,87	6,03	0,87	7,95	0,87	19,79
0,1	0,90	5,34	0,90	6,19	0,90	8,39	0,89	21,94
0,2	0,92	5,38	0,92	6,32	0,92	8,77	0,90	23,67
0,3	0,94	5,41	0,94	6,45	0,94	9,13	0,91	24,47
0,4	0,94	5,47	0,94	6,64	0,94	9,69	0,89	26,50
0,5	0,94	5,52	0,94	6,83	0,93	10,24	0,88	28,76
0,6	0,94	5,58	0,94	7,03	0,93	10,79	0,86	31,29
0,7	0,93	5,63	0,93	7,22	0,92	11,30	0,85	34,12
0,8	0,93	5,69	0,93	7,41	0,90	11,82	0,83	37,20
0,9	0,92	5,74	0,91	7,60	0,89	12,38	0,81	40,77
1	0,91	5,80	0,90	7,80	0,88	13,00	0,78	45,00

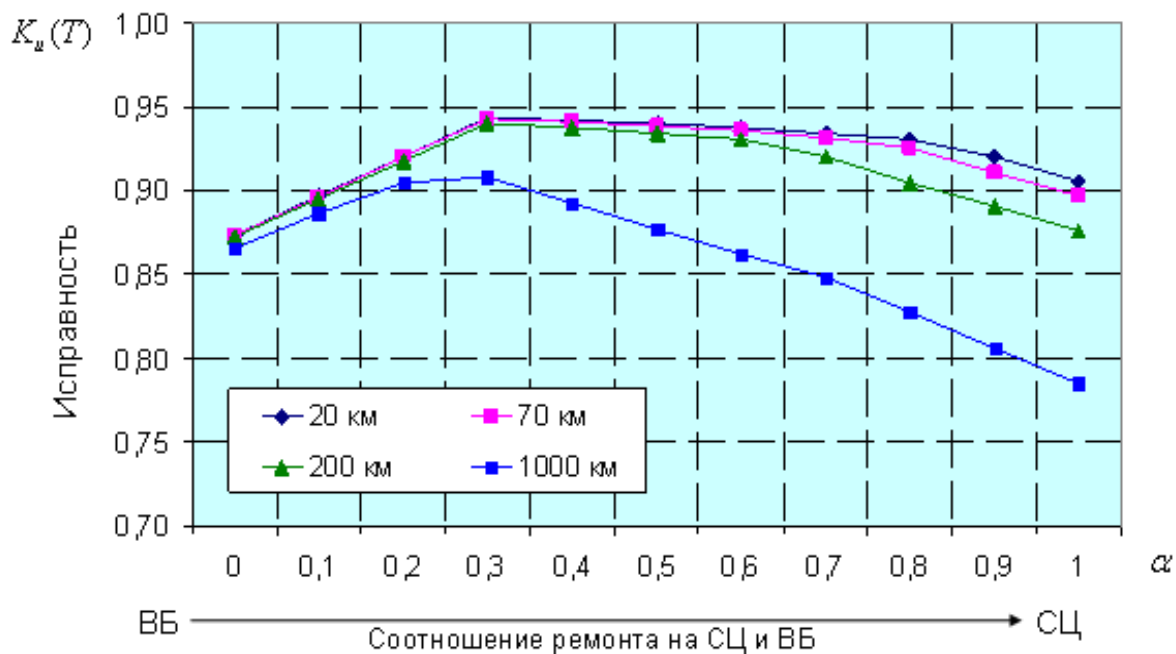


Рисунок 12 – Характеристика показателя исправности при различных  $\alpha$  и  $d$

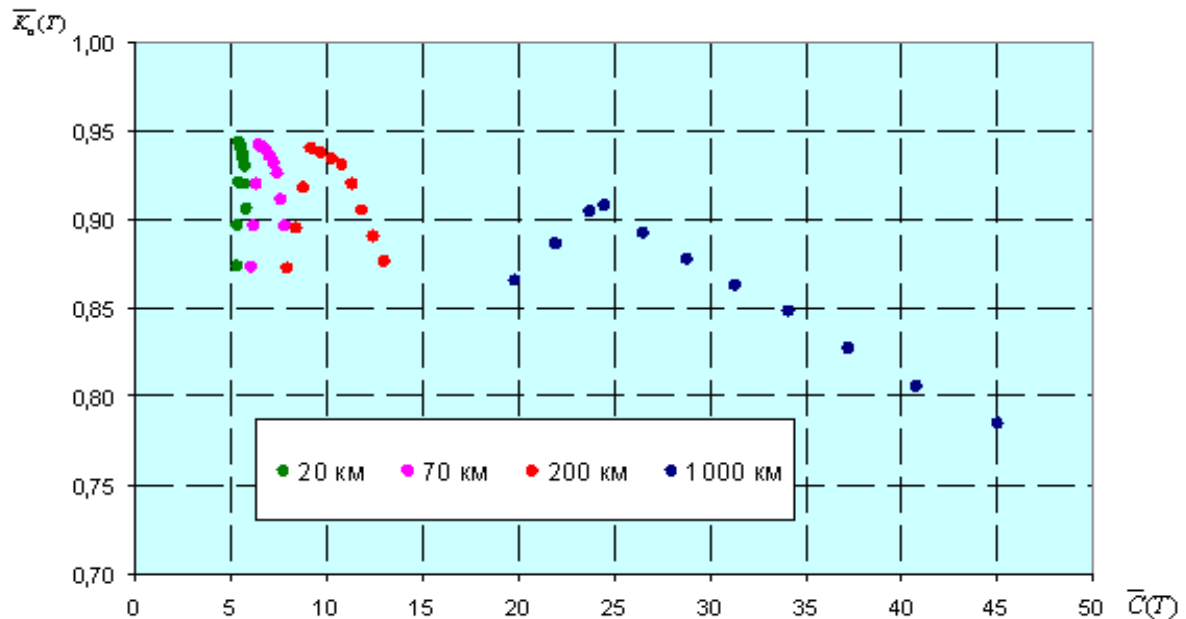


Рисунок 13 – Характеристика показателей исправности и затрат при различных  $\alpha$  и  $d$

Таким образом, рассмотренная в статье экономико-математическая модель организации ремонта вооружения и военной техники выездными бригадами может быть использо-

вана при планировании и оптимизации системы материально-технического обеспечения войск.

**Список использованных источников**

1. Приказ МО РФ от 06.04.2010 г. № 320 «О Концепции адаптации системы обслуживания и ремонта вооружений и военной техники к новому облику Вооруженных Сил Российской Федерации».
2. Булгаков Д.В. Система материально-технического обеспечения Вооруженных Сил РФ // Федеральный справочник «Оборонно-промышленный комплекс 2010-2011». – 2011. – Вып. № 7.
3. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Модель технического обеспечения войск // Электронный научный журнал «Вооружение и экономика». – 2010. – № 2 (10).
4. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – Изд. 5-е, испр. – М.: Издательство ЛКИ, 2011.
5. Буравлев А.И. Анализ систем массового обслуживания с разрывными функциями интенсивностей потоков // Электронный научный журнал «Вооружение и экономика». – 2012. – № 3 (19).
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1991.
7. Пьянков А.А. Использование методов многокритериального выбора в задачах программно-целевого планирования // Электронный научный журнал «Вооружение и экономика». – 2013. – № 1 (22).
8. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Модель управления техническим обеспечением войск // Электронный научный журнал «Вооружение и экономика». – 2011. – № 4 (16).