

УДК 519.876.5

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОДЕРНИЗАЦИИ ОРУЖИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ИХ МОРАЛЬНОГО СТАРЕНИЯ

П.А. Дудин, А.С. Шипунов (Орел)

Научно-технический прогресс в области вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) приводит с одной стороны к увеличению их структурной и функциональной сложности, что выражается в создании многокомпонентных ВВСТ, а с другой стороны – к увеличению темпов морального старения ВВСТ, особенно в сферах, связанных с информационно-коммуникационными технологиями. Это означает, что пригодность ВВСТ к выполнению задач по предназначению $W_{пр}$ с течением времени уменьшается неодинаково. В связи с этим можно выделить группу быстроустаревающие ВВСТ (далее – БУКВВСТ), где темп снижения пригодности выше, чем у классических ВВСТ (рисунок 1).

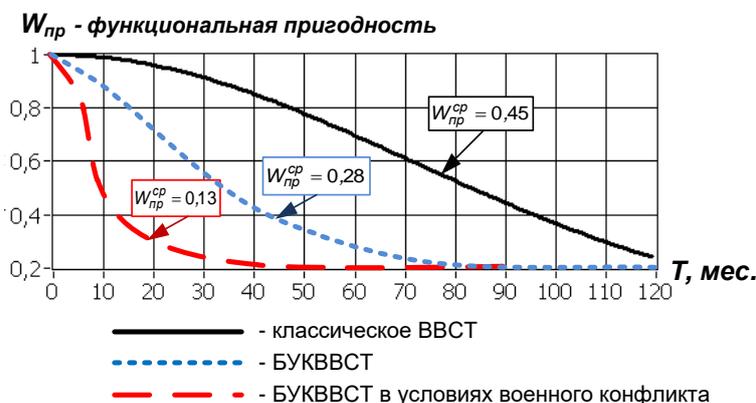


Рис. 1 – Динамика изменения коэффициента пригодности к выполнению задач по предназначению различных ВВСТ

Кроме того, необходимо отметить значительный темп снижения функциональной пригодности ВВСТ, используемой в условиях непосредственного противостояния с противником, особенно это характерно в части развития БПЛА, РЭБ, систем связи тактического уровня и других.

Компенсация снижения функциональной пригодности обеспечивается за счет своевременного проведения модернизации. При этом главной особенностью выделенного класса БУКВВСТ является необходимость их более частой модернизации в процессе эксплуатации. В отличие от «классического» ВВСТ, где в период эксплуатации модернизация осуществляется, как правило, один раз в рамках капитального ремонта. Однако, как видно из рисунка 2, проведение одной модернизации не позволяет обеспечить сравнимый коэффициент пригодности для БУКВВСТ.

В этой связи возникает необходимость заблаговременного планирования мероприятий модернизации для обеспечения максимизации коэффициента функциональной пригодности при условиях обеспечения требуемого уровня затрат, продолжительности работ, вероятности успешного завершения мероприятий модернизации. Для обоснования планов модернизации, включая исследование влияния факторов модернизации, предлагается использовать предлагаемую в работе имитационную модель.

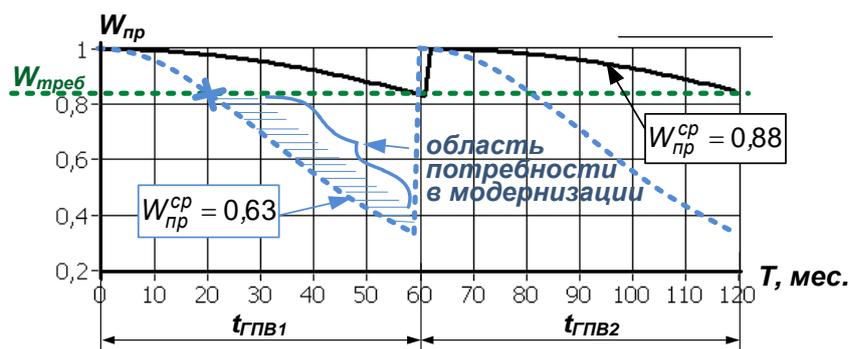


Рис. 2 – Динамика изменения коэффициента пригодности различных ВВСТ с учетом модернизации

Постановка задачи исследования системы модернизации БУКВВСТ

Система БУКВВСТ характеризуется коэффициентом пригодности к выполнению задач по предназначению $W_{пр}^S$, рассчитываемым согласно выражению (1). Для этого использована экспоненциальная кривая, описанная в работах [1, 2].

$$W_{пр}^S = W_{пр0}^S e^{-\frac{\alpha t^2}{2}} \quad (1)$$

где α – темп ухудшения коэффициента пригодности системы БУКВВСТ к выполнению задач по предназначению; t – время (месяцы от ввода системы в эксплуатацию); $W_{пр0}^S$ – начальное значение коэффициента пригодности системы БУКВВСТ к выполнению задач по предназначению.

План модернизации системы БУКВВСТ описывается выражением (2):

$$u = \{ \langle M_j, \tau_j \rangle \} \quad (2)$$

где $\langle M_j, \tau_j \rangle$ – планируемое мероприятие модернизации системы БУКВВСТ, характеризующееся типом j и моментом времени начала модернизации τ_j .

При этом план модернизации системы БУКВВСТ должен обеспечивать максимальное значение коэффициента пригодности системы БУКВВСТ к выполнению задач по предназначению в соответствии с выражением (3):

$$W_{пр} = \arg \max_{u=1, U} \left(W_{пр0} e^{-\frac{\alpha t^2}{2}} + f(\Delta W_{прj}; T_j; C_j) \right) \quad (3)$$

где $M_j = (\Delta W_{прj}; T_j; C_j)$ – мероприятие по модернизации системы БУКВВСТ, характеризующееся: $\Delta W_{прj}$ – эффект от модернизации, выражающийся в приросте коэффициента пригодности системы БУКВВСТ; T_j – продолжительность модернизации; C_j – затраты ресурсов.

Решаемая задача.

Разработать имитационную модель системы модернизации БУКВВСТ,

позволяющей эмулировать процесс морального старения парка ВВСТ и варьировать параметры системы модернизации $M_j = (\Delta W_{прj}; T_j; C_j)$ – параметры наборов мероприятий модернизации; совокупные лимиты ресурсов на модернизацию парка ВВСТ, а также случайные факторы мероприятий модернизации (ошибки оценки коэффициента пригодности, вероятность выполнения мероприятия модернизации и т.п.).

Описание имитационной модели.

Входными параметрами модели являются параметры модернизации, ограничения по ресурсам, параметры объекта для которого осуществляется планирование, параметры генетического алгоритма. Схема модели показана на рисунке 3.



Рис. 3 – Обобщенная схема имитационной модели «Системы модернизации»

Каждая модернизация требует временных и ресурсных затрат, по результатам которой, пригодность объекта скачкообразно повышается.

Входные параметры модели:

1. ограничения по ресурсам:
 - количество ресурсов доступных для модернизации M ;
 - время, на какой срок составлять план T ;
2. параметры парка ВВСТ (объектов).
 - коэффициент устаревания, характеризующий скорость устаревания объекта α ;
 - приоритет (важность) объекта модернизации (класса ВВСТ);
 - начальное значение прочности объекта W_0 ;
 - закон устаревания объекта $W(t)$;
3. параметры мероприятий модернизации:
 - ресурсы, затрачиваемые на модернизацию;
 - время, необходимо для проведения модернизации;
 - процент прироста пригодности по завершении модернизации;
4. параметры внешних факторов:
 - вероятность проведения модернизации;

- точность оценки коэффициент устаревания.

Имитационная модель разработана на языке программирования C#.

Описание механизма создания оптимального плана модернизации парка ВВСТ.

Для решения задачи планирования мероприятий модернизации в условиях неопределенности был выбран генетический алгоритм. Генетический алгоритм представляет собой эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации путём случайного подбора и вариации искомых параметров.

Цель работы модели – получить рациональный план модернизации, оптимизирующий использование ресурсов и временных затрат для достижения максимальной пригодности объектов для заданных условий.

Параметры генетического алгоритма.

- размер популяции P_s ;
- количество итерации (скрещивания, мутирования);
- вероятность случайного мутирования P_{rnd} ;
- вероятность мутирования смешиванием объектов P_{shift} .

Решаемая задача относится к классу *np*-полных, что не позволяет ее решить методом линейного программирования. В методике был использован механизм двухуровневой целочисленной оптимизации с применением генетического алгоритма оптимизации.

Алгоритм работы методики представлен на рисунке 4.

Шаг 1 – на основании характеристик БУКВВСТ с использованием генетического алгоритма производится генерация популяции случайных программ модернизации системы БУКВВСТ.

Шаг 2 – производится попарный кроссовер (скрещивание) программ модернизации в случайном порядке, в результате чего образуются новые программы модернизации.

Шаг 3 – производится случайная мутация программ модернизации.

В рамках работы используется два варианта мутаций, каждая со своей вероятностью возникновения:

- сдвиг моментов времени начала модернизации;
- генерация новой программы.

Шаг 4 – производится расчет коэффициента пригодности БУКВВСТ для каждой программы модернизации.

Шаг 5 – производится редукция (удаление) программ модернизации с минимальной пригодностью, при этом количество остающихся программ модернизации не должно увеличиваться.

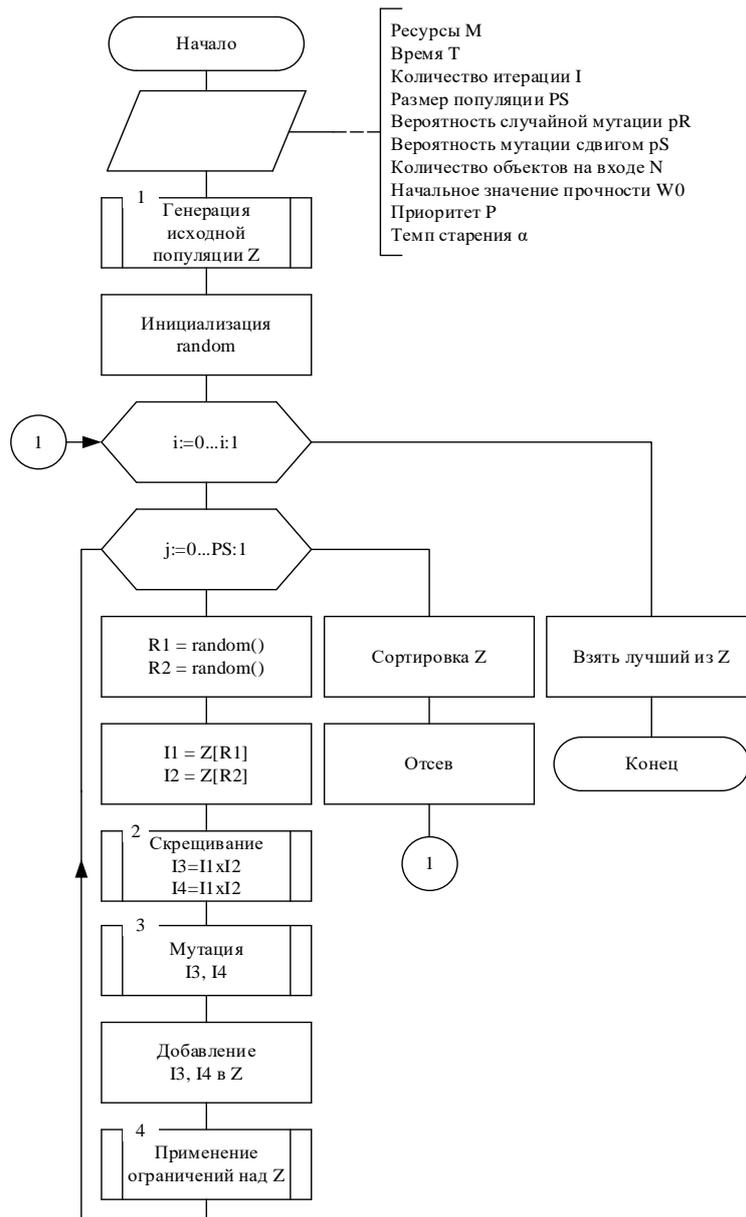


Рис. 4 – Блок схема работы алгоритма

Результатом работы модели является план для N входных объектов (таблица 1).

Таблица 1 – Пример плана модернизации

Объекты модернизации	Года программного периода									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объект 1	–	Н	–	С	–	Г	–	Н	–	Н
Объект 2										
Объект 3										
...										
Объект N										

Для определения критерия остановки был выбран подход, заключающийся в предварительном задании количества итераций. Для обоснования такого подхода был проведен эксперимент, позволяющий оценить скорость сходимости. Результат эксперимента представлен на рисунке 5.

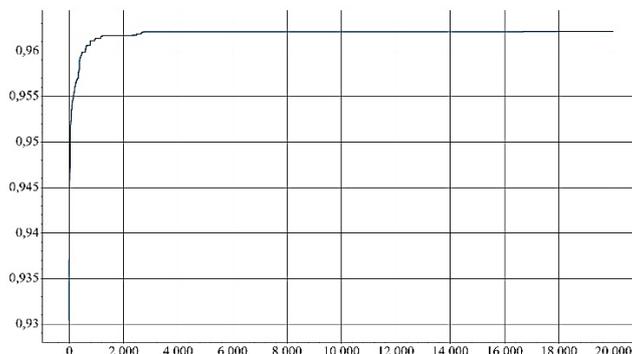


Рис. 5 – Зависимость роста пригодности объекта от числа итераций.

Пример проведения эксперимента с использованием имитационной модели.

Рассмотрим вариант исходных данных обоснования программы модернизации типового БУКВВСТ при исследовании системы модернизации БУКВВСТ. Для этого в качестве управляемых параметров используем варианты модернизации с характеристиками, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики видов модернизации

Вид модернизации	Эффект $\Delta W_{пр}$, %	Время $T_{вос}$, мес.	Стоимость C , у.е.
Незначительная (Н)	5	3	5
Средняя (С)	15	6	25
Глубокая (Г)	25	12	75

По результатам оценки темпов морального старения БУКВВСТ получена зависимость коэффициента пригодности от времени без модернизации (рисунок 6). Тем самым это позволяет смоделировать функцию пригодности выражением (1) для различных значений α .

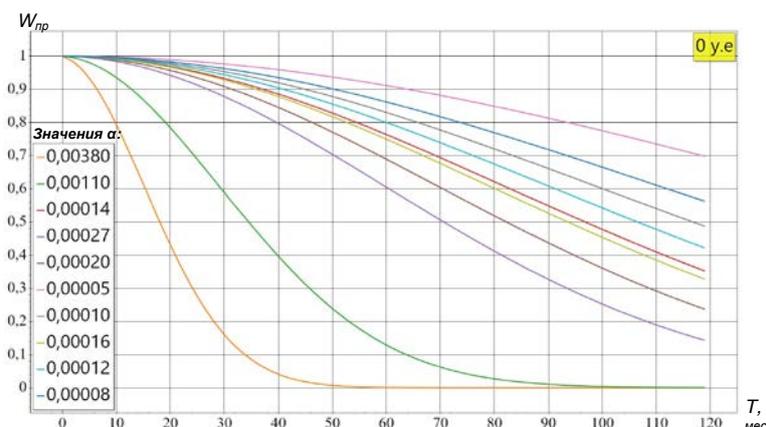


Рис. 6 – Зависимость коэффициента пригодности от времени без проведения модернизации

В результате работы методики формируется план модернизации, который приводит к изменениям зависимости коэффициента пригодности от времени, как это иллюстрируют графики, представленные на рисунке 7.

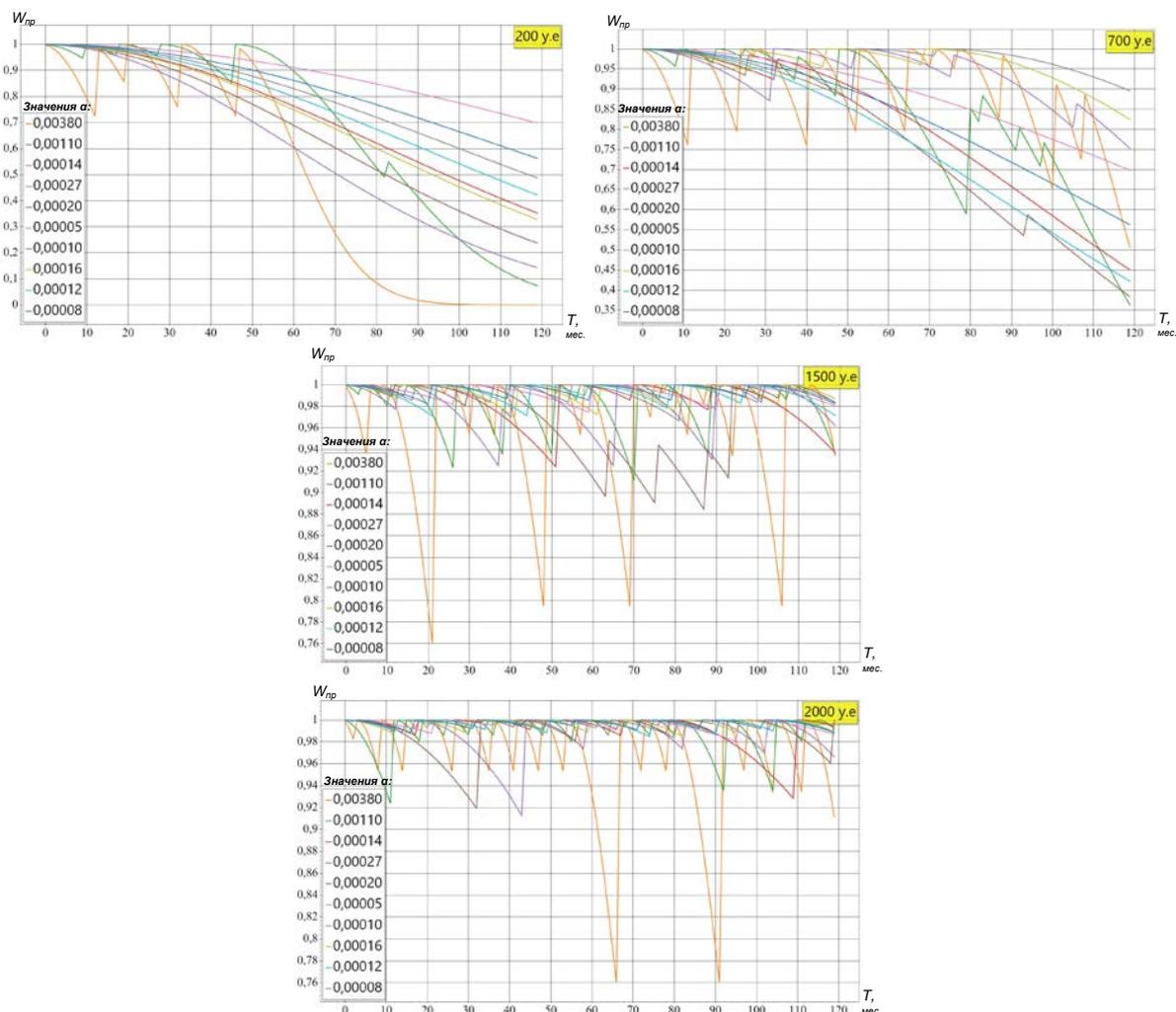


Рис. 7 – Зависимость коэффициента пригодности от времени с учетом модернизации при разных ресурсах на модернизацию

С использованием имитационной модели проведены расчеты, позволяющие получить следующие зависимости эффекта модернизации от параметров системы модернизации:

- оценка требуемых ресурсов на модернизацию на единицу прироста средней пригодности $S = f(W, \alpha)$; $\Delta W = 0,01$ при заданных коэффициентах α (рисунок 8);
- оценка влияния ошибки определения коэффициента устаревания на параметры системы модернизации (рисунок 9);
- оценка средней пригодности образцов от доступных ресурсов на модернизацию и коэффициента α (рисунок 10).

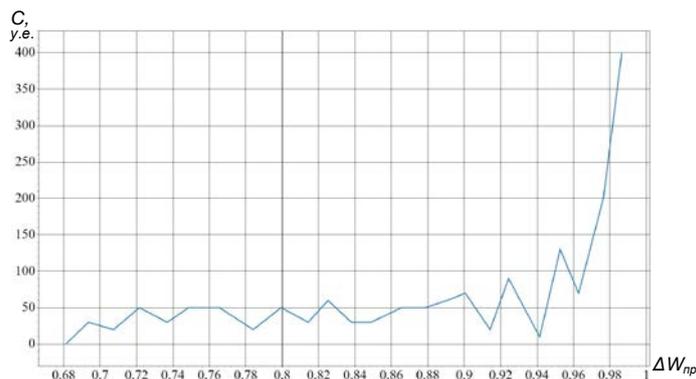


Рис. 8 – Зависимость дополнительных ресурсов на модернизацию на единицу прироста коэффициента пригодности

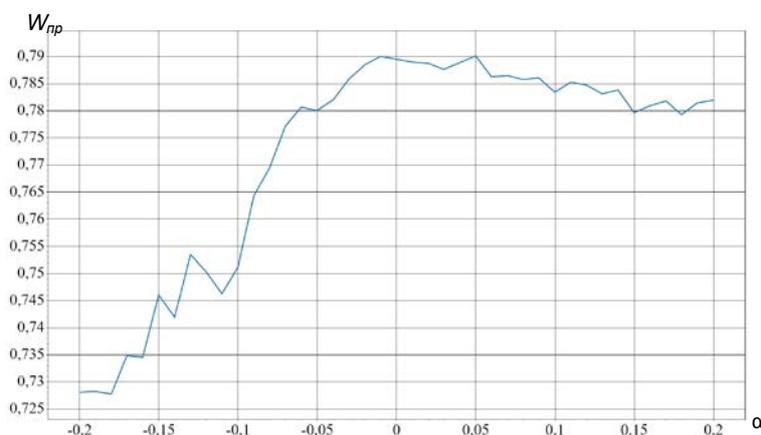


Рис. 9 – Зависимость коэффициента пригодности от ошибки определения коэффициента устаревания

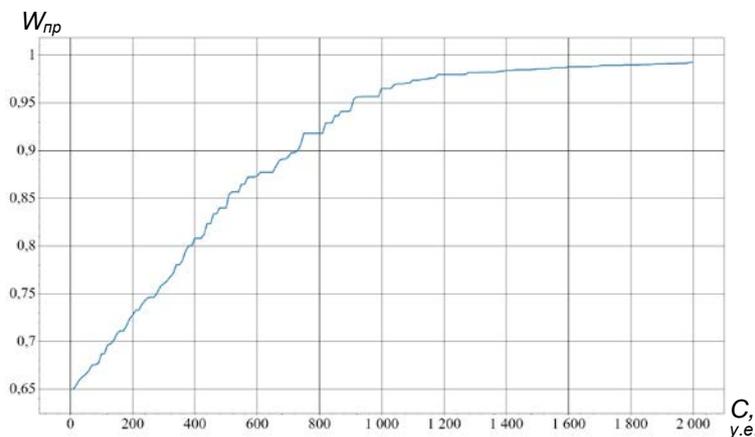


Рис. 10 – Зависимость среднего коэффициента пригодности образцов от доступных ресурсов

Выводы

В рамках научно-технического обоснования методики поиска оптимальных параметров системы модернизации БУККВВСТ, а также планов модернизации ВВСТ в условиях неопределенности, предлагается использовать разработанную имитационную модель. Имитационная модель позволяет за счет варьирования параметрами

модернизации оценивать влияние величин факторов на процесс модернизации и достигаемые значения пригодности парка ВВСТ.

Литература

1. **Буравлев А.И., Еланцев Г.А.** Вероятностные модели управления жизненным циклом вооружения и военной техники // Вооружение и экономика. – 2021. – № 3. – С. 45-65.
2. **Писковитин В.Е., Зайкин Н.Н., Свидло А.В., Чуприков О.В., Фатьянова Е.В.** Модель морального старения образцов технических средств специального назначения // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – Вып. 6. – С. 19-25.