УДК: 621.39

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВКЛАДА МЕРОПРИЯТИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ В ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ВОЙСК В ХОДЕ ДВУСТОРОННЕГО БОЯ ПО БОЕВЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

А.П. Богомолов, Г.В. Кувалдин, С.Н. Подрезов (Воронеж)

Суть любого двустороннего боя (операции) составляют процессы взаимного уничтожения противоборствующих сторон, которые в общем случае являются случайными, поэтому в качестве характеристики результативности действий часто используют средние потери противника и своих войск. При этом очевидно, что мероприятия по радиоэлектронной борьбы (РЭБ) нашей группировки в ходе обеспечения их действий должна способствовать, с одной стороны, увеличению потерь противника, а с другой – снижению потерь своих войск за счет снижения возможностей противника по разведке наших объектов, по выработке на основе имеющейся текущей обстановки оптимальных планов применения войск (средств поражения) и по затруднению (задержке, исключению) своевременного доведения (до устаревания данных) исполнительным элементам (подразделениям, носителям средств поражения и т.п.). В данной модели под потерями будем иметь в виду не потери личного состава (живой силы), поскольку это весьма трудно определяемые величины, а потери материальных объектов типа вооружения и военной техники (танков, артиллерийских установок, машин и т.д.) и объектов военной инфраструктуры (командных пунктов, узлов связи и т.д.).

Решение данной задачи традиционно осуществляется с помощью метода динамики средних, где поведение единичного элемента стороны конфликта описывается системой дифференциальных уравнений Ланчестера-Осипова [1].

В [2] предложено для учета влияния эффектов от мероприятий РЭБ в динамике двустороннего боя осуществлять на двух одновременно (параллельно) работающих моделях двустороннего боя, где одна из них работает с учетом влияния эффектов от РЭБ на эффективность функционирования подразделений (носителей оружия) противника, находящихся в зоне воздействия эффективных помех (зоне радиоподавления приемных устройств связи, радионавигации и т.п.), в зоне маскирования (прикрытия) объектов от РЛС противника), а другая без учета этих эффектов (эталонная). Обобщенный вид такой модели при выбранном подходе представлен на рисунке 1.

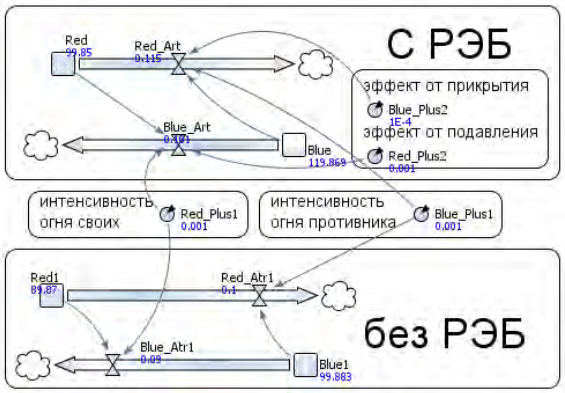


Рис. 1 – Модель боя, реализующая учет мероприятий РЭБ

В предлагаемой модели для получения оценок эффективности мероприятий РЭБ осуществляется непрерывное сравнение параметров обеих моделей и производится подсчет изменения текущих средних численностей состояний долей элементов модели, которые находятся в зонах воздействия эффективных помех и вне их.

Порядок учета эффектов от мероприятий РЭБ проиллюстрируем на примере обобщенной модели [2], представленной на рисунке 2.

В основе имитационной модели двустороннего боя лежит математическая модель динамики боя (динамики средних), которая на z-м этапе операции (на -м этапе) может быть описана системой уравнений следующего вида

$$\begin{cases} \frac{dN_B}{dt} = -\lambda_A N_A \ ; \ N_B(t_0^z) = N_B^{z0}; \\ \frac{dN_A}{dt} = -\lambda_B\left(N_B \ - N_B^{\text{под}} - N_B^{\text{пр}}\right) - \lambda_B^{\text{под}} N_B^{\text{под}} - \lambda_B^{\text{пр}} N_B^{\text{пр}}; \ N_A(t_0^z) = N_A^{z0}; \end{cases} . \quad (1)$$

где - N_A^{z0}, N_B^{z0} – боевые потенциалы на момент начала z-го этапа сторон А и В, соответственно;

N_A , N_B – боевые потенциалы на текущий момент z-го этапа сторон А и В, соответственно;

λ_A, λ_B – исходные (базовые) интенсивности огня стороны А и В, соответственно;

$N_B^{\text{под}}$, $\lambda_B^{\text{под}}$ – боевой потенциал и интенсивность огня подавленных средств стороны В;

$N_A^{\text{пр}}$ – боевой потенциал прикрытых средств стороны А;

$N_B^{\text{пр}}$, $\lambda_B^{\text{пр}}$ - боевой потенциал и интенсивность огня средств стороны В, воздействующих на прикрытые объекты стороны А, соответственно.

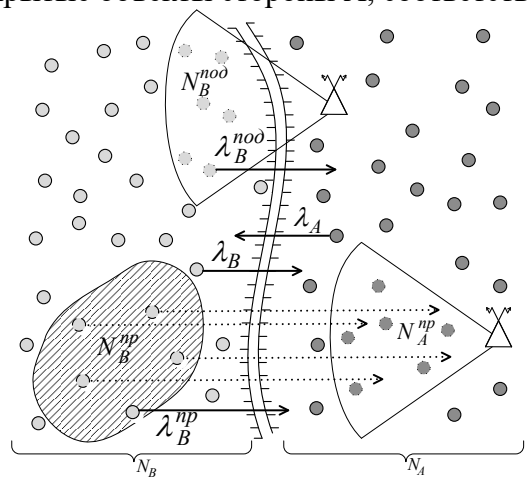


Рис. 2 – Обобщенная модель учета эффектов РЭБ в динамике двустороннего боя

В представленной на рисунке 2 модели боя эффекты от мероприятий РЭБ будут учитываться через:

− изменение интенсивности поражающих воздействий (огня) $\lambda_B^{под}$ доли подразделений (носителей средств поражения) стороны В $N_B^{под}$ (отмечены светлыми кружками с пунктирным краем в выделенной области зоны подавления радиосвязи в верней части рисунка), в следствие несвоевременности получения данных обстановки от средств контроля эффективности ведения огня (передовых авианаводчиков, корректировщиков огня), команд управления (переход к децентрализованному режиму

ведения огня) по каналам системы радиосвязи и передачи данных, находящихся в зоне гарантированного радиоподавления линий радиосвязи различных диапазонов;

− изменение интенсивности поражающих воздействий (огня) $\lambda_{В}^{пр}$ доли подразделений (носителей средств поражения) $N_{В}^{пр}$ по объектам наших войск стороны А (отмечены темными кружками с пунктирным краем в выделенной области зоны подавления (маскирования) в нижней правой части рисунка), вследствие несвоевременности получения (воздействия на элементы системы радиосвязи и передачи данных в зоне гарантированного радиоподавления линий радиосвязи) и недостоверности данных разведки о целях обстановки на поле боя, находящихся в зоне маскирования от РЛС, прикрытия объектов от подрыва взрывателей (в зоне гарантированного подавления радиолиний управления минно-взрывными устройствами) и внесения ошибок в процесс выведения (наведения) носителей средств поражения (подавление приемных устройств глобальных радионавигационных спутниковых систем).

В последние годы широкую популярность приобрело научное направление по математическому описанию (поиску закономерностей) военных операций прошлых лет, где большинством авторов в качестве математической модели двусторонних боевых действий принята модель Ланчестера. При этом данные модели строятся на допущении, что весь продолжительный во времени нестационарный процесс вооруженного конфликта (операции) рассматривается как упорядоченная последовательность сражений (боев), обладающих на определенном (коротком) интервале времени свойствами стационарного процесса, а моменты разбиения всей операции соответствуют «узловым точкам», в которых происходит существенное изменение количественного или качественного состава (пополнение сил, момент ввода резервов, начало массированной атаки или контрудара).

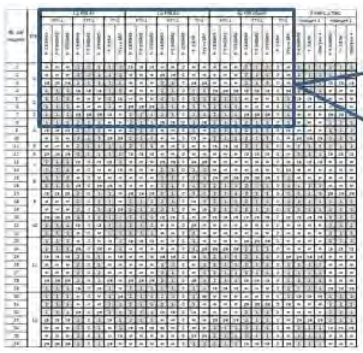
Следует отметить, что максимальное влияние РЭБ в операции (бою) ожидается в особые узловые моменты времени или периоды, которые отличаются наиболее высокой активностью управления войсками и оружием на наиболее напряженных этапах боевых действий. Исходя из этого, при построении модели РЭБ в операции отпадает необходимость воспроизведения операции во всем пространственно-временном пространстве, а ход операции с позиции РЭБ представляется в виде последовательности «узловых точек (ситуаций)».

На рисунке 3 приведен вариант представления модели динамики боя продолжительностью одни сутки, которая включает 12 «узловых точек» (этапов).

Рис. 3 – Вариант представления модели динамики боя

В модели все этапы описываются отдельными строками базы данных в формате Microsoft Excel, где занесены основные данные противоборствующих сторон (состав сил, моменты изменения их состояний).

Элемент базы данных приведен на рисунке 4.



1 р РЭБ								2 р РЭБ								ор РЭБ							
РТГ-1			РТГ-2			ТГ-3		РТГ-1			РТГ-2			ТГ-3		РТГ-1			РТГ-2			ТГ-3	
САП-1	САП-2	САП-3	САП-1	САП-2	САП-3	САП-4	САП-5	САП-1	САП-2	САП-3	САП-1	САП-2	САП-3	САП-4	САП-5	САП-1	САП-2	САП-3	САП-1	САП-2	САП-3	САП-4	САП-5
м	м	м	2	1	1	1	1	св	св	св	м	м	0	м	м	м	м	м	2	1	1	0	м
м	м	м	2	1	1	1	1	м	м	м	рв	рв	0	м	м	м	м	м	2	1	1	0	м
рв	рв	рв	2	1	1	1	1	м	м	м	2	1	0	рв	рв	м	м	м	2	1	1	0	м
1	1	1	св	св	св	1	1	м	м	м	2	1	0	1	1	рв	рв	рв	св	св	св	0	рв
1	1	1	м	м	м	1	св	м	м	м	2	1	0	1	1	2	1	1	м	м	м	0	1
1	1	1	м	м	м	1	м	рв	рв	рв	2	1	0	1	1	2	1	1	м	м	м	0	1
1	1	1	рв	рв	рв	св	м	2	1	1	2	1	0	1	1	2	1	1	рв	рв	рв	0	1
1	1	1	2	1	1	м	м	2	1	1	св	св	0	1	св	2	1	1	2	1	1	0	1

Рис. 4 – Элемент базы данных модели динамики боя

Таким образом, при разработке имитационной модели оценки эффективности мероприятий РЭБ в двустороннем бою воспользуемся принципом декомпозиции операции в виде совокупности типовых боевых эпизодов (этапов боя) и последовательности «узловых точек (изменений обстановки)», что позволит:

− частично парировать неопределенность в составе сил, их действий и условиях проведения сложной операции путем снижения размерности модели и частичной конкретизации условий;

− сократить сроки разработки сложной модели за счет использования существующего методического задела или замены отдельных блоков модели зависимостями, полученными в ранее проведенных исследованиях;

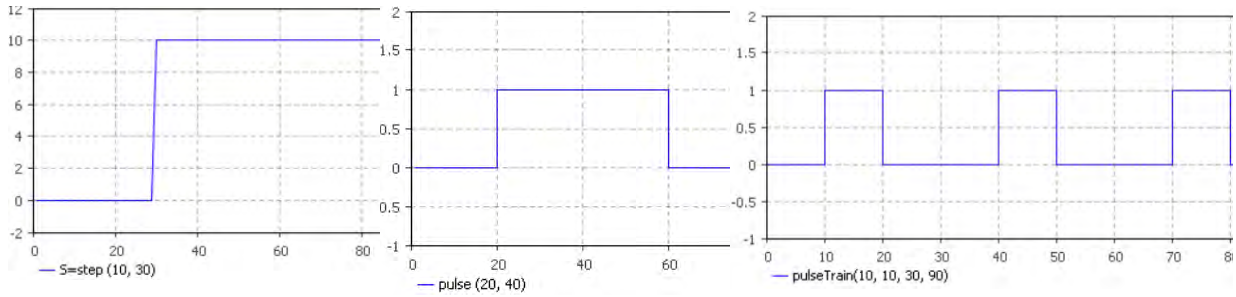
− осуществить дифференциальную оценку вклада каждого этапа боя в операцию (боевые действия).

Выбранный метод имитационного моделирования с использованием среды AnyLogic позволяет реализовать метод «узловых точек» через ряд элементарных функций изменения состояний в определенные моменты модельного времени, которые приведены на рисунке 5, к которым относятся:

ступенчатый закон (рисунок 5 а), например, для описания планируемого момента развертывания подразделения в позиционном районе или поражения объекта РЭБ (переход в состояние «поражен»);

импульс (рисунок 5 б), например, для описания моментов воздействия на объекты (время начала, длительность импульса во времени и интервала времени между началом соседних импульсов могут быть случайными функциями);

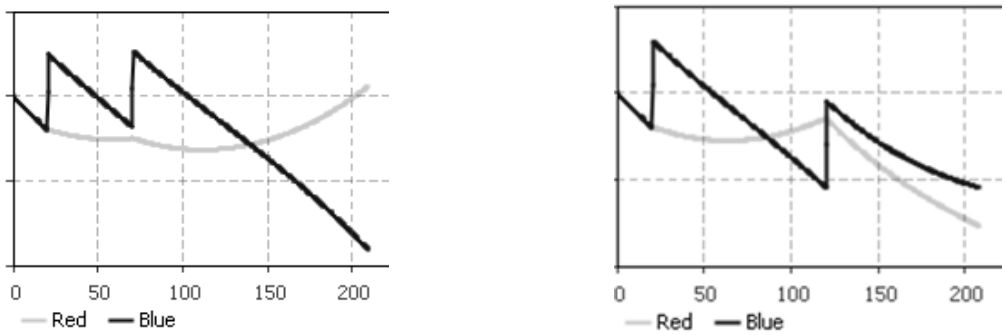
серия импульсов (рисунок 5 в), например, для описания моментов воздействия на объекты в течении определенного времени (время начала, длительность импульса во времени могут быть случайными функциями).



а) ступенчатый закон б) импульс в) серия импульсов

Рис. 5 – Основные элементарные функции среды AnyLogic изменения состояний в определенные моменты модельного времени

Следовательно, изменения состояний в определенные моменты модельного времени будут сказываться на характере изменения результирующей зависимости изменения потерь сторон как показано на рисунке 6.



а) в начальный период конфликта б) с отложенным вводом резервов

Рис.6 – Характер изменения потерь при 2-х разовом пополнении стороны (Blue)

Таким образом, в модели двустороннего боя возможно определение рациональных временных параметров способов боевого применения подразделений (на примере влияния момента ввода резервов на исход боевых действий) и, соответственно, в дальнейшем осуществить выбор целесообразного варианта способа боевого применения подразделений (станций) помех не по качественным показателям, а на основе полученных количественных оценок.

В качестве исходных данных для каждого этапа (типового эпизода) операции в реализованной методами системной динамики имитационной модели боя (динамики средних) могут быть использованы информационно-боевые показатели эффективности способов боевого применения подразделений (станций) помех (среднее количество одновременно подавленных объектов противника, среднее количество одновременно прикрытых объектов наших сил), которые, в свою очередь, получены в результате моделирования поведения агентов (основных объектов конфликта) методами дискретно-событийного моделирования.

Внешний вид программно-реализованных расчетных соотношений модели в процессе расчетов приведен на рисунке 7.

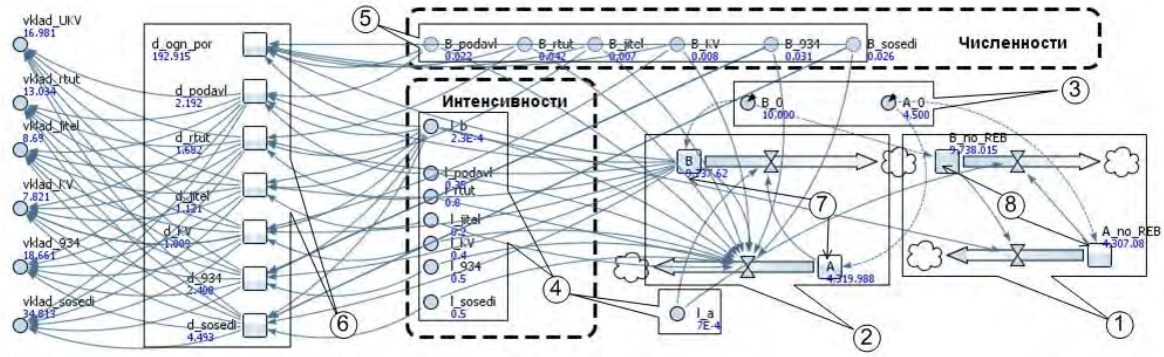


Рис. 7 – Внешний вид программно-реализованных расчетных соотношений модели в процессе расчетов

Основными элементами модели являются:

1 – эталонная модель системной динамики (без учета РЭБ);

2 – основная модель системной динамики;

3 – исходные значения боевых потенциалов (БП) сторон;

4 – интенсивности огня;

5 – количественные значения подавленных элементов стороны противника;

6 – накопители, реализующие расчет эффектов от составляющих РЭБ;

7, 8 – текущие значения БП сторон основной и эталонной моделей, соответственно.

Численные значения отдельных составляющих БП сторон с фиксированной периодичностью уточняются в соответствии с базой данных, что позволяет учесть динамику изменения вклада отдельных составляющих РЭБ на различных этапах боевых действий, где в качестве интенсивности стрельбы этих средств приняты полигонные значения скорректированные с учетом децентрализации управления, вследствие воздействия на их системы управления средств РЭБ [2].

В модели принято, что вероятность поражающего воздействия (попадания) определяется вероятностью $P_D^{\text{пор}}$, соответствующей вероятности поражения $P^{\text{пор}}$ (в случае отсутствия противодействия (воздействия помех) полигонной вероятности попадания без помех), вероятности ведения стрельбы в централизованном режиме управления $P_i^{\text{цу}}$ и правильного целеуказания $P^{\text{нав}}$ (выбора истинной цели из смеси отметок на экране прицела):

$$P_D^{\text{пор}} = P^{\text{пор}} \cdot P_i^{\text{цу}} \cdot P^{\text{нав}}. \tag{2}$$

Расчет вероятности поражения цели в условиях воздействия помех $P^{\text{пор}}$ для каждого агента группировки войск определяется в соответствии с потенциальной эффективностью воздействия помех (вероятность попадания в условиях помех) $P_{\text{РЭБ}}^{\text{пор}}$ пропорционально времени нахождения носителя при его перемещении в пространстве в зоне воздействия помех в динамике ведения боя:

$$P^{\text{пор}} = P_{\text{РЭБ}}^{\text{пор}} \cdot \left[\sum_{i=1}^{M_{\tau_i}} \Delta_{\tau_i}^{*} \Big/ \sum_{i=1}^{M_{\tau_i}} \left(\Delta_{\tau_i}^{*} + \Delta_{\tau_i} \right) \right], \tag{3}$$

где $\Delta_{\tau_i}^{*}, \Delta_{\tau_i}$ - промежутки времени продолжительностью τ_i, когда объект находился под воздействием помех и без помех, соответственно;

M_{τ_i} - общее количество интервалов (этапов) продолжительностью τ_i за время моделирования T:

$$T = \sum_{i=1}^{M_{\tau_i}} \left(\Delta_{\tau_i}^{*} + \Delta_{\tau_i} \right). \tag{4}$$

Вероятность правильного целеуказания определяется из выражения:

$$P^{\text{нав}} = \frac{N_{\text{ист}}^{x_{\text{ц}}}}{N_{\text{ист}}^{x_{\text{ц}}} + \sum^{N_{\text{лож}}^{x_{\text{ц}}}} P^{\text{ист}}}, \tag{5}$$

где $N_{\text{ист}}^{x_{\text{ц}}}, N_{\text{лож}}^{x_{\text{ц}}}$ – количество истинных и ложных целей;

$P^{\text{ист}}$ - вероятность (коэффициент) подобия ложной цели истинной.

Известно [1], что в децентрализованном режиме управления при равномерном случайном распределении средств по объектам поражения эффективность ведения стрельбы i-м средством поражения снижается на 13 - 15 % по сравнению с режимом централизованного управления при котором осуществляется детерминированное распределение средств, поэтому влияние эффективности системы управления будем учитывать через вероятность ведения стрельбы в централизованном режиме

управления $P_i^{\text{цу}}$, которая однозначно связана с своевременностью доведения команд управления от пункта управления до средства поражения, следующим образом

$$P_i^{\text{цу}} = \begin{cases} 1, & \text{при } P_i^{\text{дов}} \le P_{\text{треб}}^{\text{дов}}, \\ 0.85, & \text{при } P_i^{\text{дов}} > P_{\text{треб}}^{\text{дов}}, \end{cases} \qquad 6)$$

где $P_i^{\text{дов}}, P_{\text{треб}}^{\text{дов}}$ – вероятность своевременной доставки сообщения до i-го средства поражения и ее требуемое значение, соответственно.

В данной модели эффективность ведения огня (поражающих воздействий) от качества функционирования системы управления оценивается через своевременность доведения команд управления от пункта управления до средства поражения оценивается с использованием имитационной модели конфликтного взаимодействия системы радиосвязи противника тактического (оперативно-тактического) звена управления и комплекта средств подавления радиосвязи [3].

На рисунках 8 и 9 приведены, привязанные к временной шкале зависимости изменения объема решаемых задач РЭБ в бою для каждой из отдельных компонент РЭБ (подавление радиосвязи, абонентов навигационных систем, радиовзрывателей артбоеприпасов, радиолиний управления минно-взрывными устройствами) и зависимости относительного изменения боевого потенциала одной из сторон (сохраненный боевой потенциал наших войск), реализованных за счет действий по РЭБ в ходе боя, соответственно.

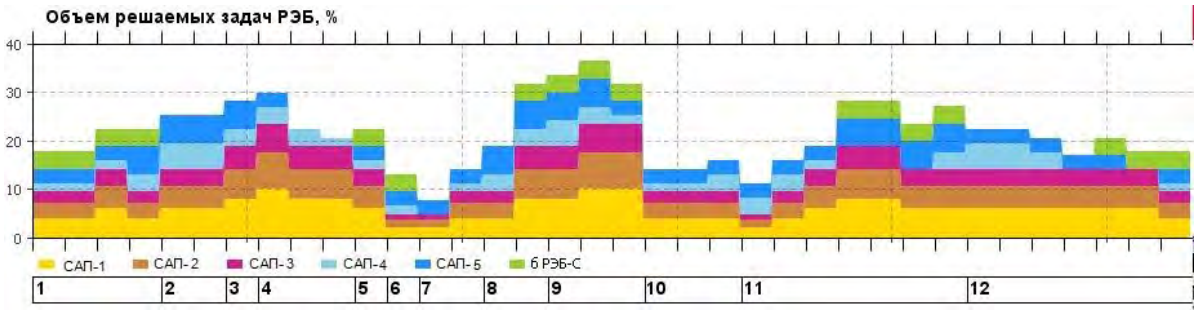


Рис. 8 – Временная диаграмма изменения объема решаемых задач РЭБ в бою для каждой из отдельных компонент РЭБ

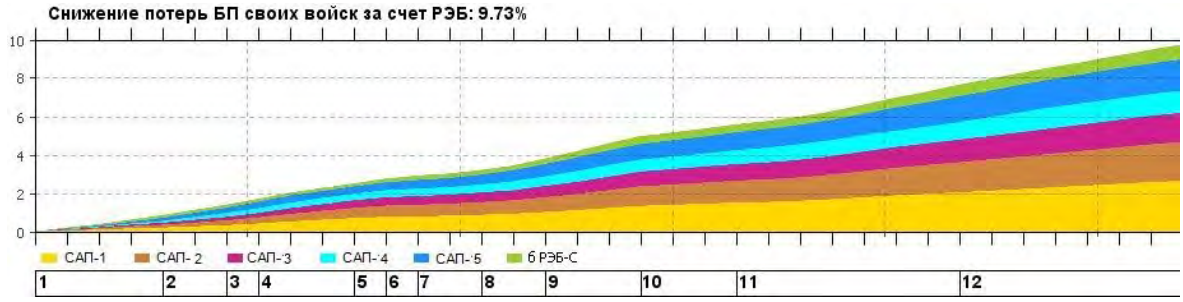


Рис. 9 – Зависимость относительного изменения боевого потенциала одной из сторон (сохраненный боевой потенциал наших войск), реализованных за счет действий по РЭБ в ходе боя

Таким образом, предложенный подход одновременного использования двух моделей системной динамики (эталонной без средств РЭБ и с со средствами РЭБ) в среде имитационного моделирования AnyLogic позволил учесть вклад отдельных компонент РЭБ в динамики боя, что позволяет в результате многократного проведения моделирования определить рациональные моменты изменения состояния как

отдельных компонент, так и их группировок (начало ввода резервов, смены позиций и т.п.).

Литература

1. **Динер И.Я.** Исследование операций // Л.: ВМОЛУА. 1969. 609 с.
2. **Подрезов С.Н.** Имитационная модель двухстороннего боя в условиях радиопомех / С.Н. Подрезов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018663232 от 24.10.2018 г.
3. **Подрезов С.Н.** Имитационная модель конфликтного взаимодействия системы радиосвязи противника тактического (оперативно-тактического) звена управления и комплекта средств подавления радиосвязи / А.П. Богомолов, А.А. Молев, С.Н. Подрезов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612006 от 13.02.2020 г.