

Grey Scale #13



A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ LOTNICTWA I OBRONY POWIETRZNEJ

Płk dr hab. inż. Bogdan ZDRODOWSKI
Płk dr hab. inż. Andrzej GLEN
Płk dr hab. Piotr MAKOWSKI

MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA W ZASTOSOWANIU SYMULACYJNYCH MODELI DZIAŁAŃ POWIETRZNYCH

4.44.1.0

Biblioteka Główna
Akademii Sztuki Wojennej
57806
09-057806-000-0



57806

WARSZAWA

2004



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ LOTNICTWA I OBRONY POWIETRZNEJ

Praca recenzowana przez dr hab. Zbigniewa G



Pod kierownictwem naukowym
płk. dr. hab. inż. Bogdana Zdrodowskiego

płk dr hab. inż. Andrzej Glen
płk dr hab. Piotr Makowski

MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA W ZASTOSOWANIU SYMULACYJNYCH MODELI DZIAŁAŃ POWIETRZNYCH

4.44.1.

Spis treści

Wstęp	4
1. Modelowanie symulacyjne	9
1.1. Wprowadzenie	9
1.2. Losowość	21
1.3. Rozkład wyników symulacji i jego parametry	23
1.4. Opóźnienie statystyczne wyników symulacji	26
1.5. Wady modelowania symulacyjnego	29
1.6. Zalety modelowania symulacyjnego	30
1.7. Korzyści wynikające z zastosowania symulacji komputerowej	32
2. Symulacyjny model działań powietrznych	34
2.1. Budowa modelu	34
2.2. Obiekty elementarne	43
2.3. Zakres odzwierciedlanych decyzji stron	44
2.4. Odzwierciedlane stany i zdarzenia	48
3. Symulacyjny model w dowodzeniu	53
3.1. Operacyjny poziom dowodzenia	56
3.1.1. Identyfikacja elementów ogólnej koncepcji działań i czynników warunkowania	56
3.1.2. Identyfikacja wybranych norm operacyjnych	61
3.2. Taktyczny poziom dowodzenia	64
3.2.1. Etycja sytuacji taktycznej	65
3.2.2. Modelowanie COMAO	66
3.2.3. Wybór sposobu pokonania OP i tras COMAO	68
3.2.4. Modelowanie ugrupowania środków rozpoznania radiolokacyjnego	71
3.2.5. Ocena warianów w COP	73
3.2.6. Metoda porównu kryteriów oceny z zastosowaniem symulatora	80
3.2.7. Ocena poprawności ATO	84
3.2.8. Modelowanie ugrupowania brygady rakietowej obrony powietrznej	86
3.3. Wnioski	86
4. Symulacyjny model w badaniach naukowych	90
4.1. Kontekst metody naukowej w naukach wojskowych	93
4.2. Modelowanie symulacyjne	97
4.3. Eksperymenty symulacyjne i komputerowe gry wojenne	106
4.4. Wady modelowania symulacyjnego	115
4.5. Zalety modelowania symulacyjnego	116
Zakończenie	118
Bibliografia	120
5. Załączniki	125
5.1. Słownik wybranych pojęć modelowanie symulacyjnego	126
5.2. Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy symulatora podczas posługiwania się edytorem map topograficznych	130
5.3. Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy podczas posługiwania się edytorem sytuacji taktycznej	131
5.4. Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy podczas modelowania strumienia informacji radiolokacyjnej przeciwnika (wyboru pozycji posterunków radiolokacyjnych)	132
5.5. Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy podczas modelowania systemu ognie przeciwnika (oceny pozycji PZR)	133

Spis treści

Wstęp	4
1 Istota modelowania symulacyjnego.....	9
1.1 Język modelowania symulacyjnego.....	9
1.2 Losowy charakter wyników symulacji	21
1.3 Rozkład wyników symulacji i jego parametry	23
1.4 Opracowanie statystyczne wyników symulacji.....	26
1.5 Wady modelowania symulacyjnego.....	29
1.6 Zalety modelowania symulacyjnego	30
1.7 Korzyści wynikające z zastosowania symulacji komputerowej:	32
2 Symulacyjny model działań powietrznych	34
2.1 Budowa modelu	34
2.2 Obiekty elementarne.....	43
2.3 Zakres odzwierciedlanych decyzji stron.....	44
2.4 Odzwierciedlane stany i zdarzenia	46
3 Symulacyjny model w dowodzeniu.....	53
3.1 Operacyjny poziom dowodzenia	56
3.1.1 Identyfikacja elementów ogólnej koncepcji działań i czynników wariantowania	56
3.1.2 Identyfikacja wybranych norm operacyjnych	61
3.2 Taktyczny poziom dowodzenia	64
3.2.1 Edycja sytuacji taktycznej.....	65
3.2.2 Modelowanie COMAO.....	66
3.2.3 Wybór sposobu pokonania OP i tras COMAO.....	68
3.2.4 Modelowanie ugrupowania środków rozpoznania radiolokacyjnego	71
3.2.5 Ocena wariantów w COP	73
3.2.6 Metoda pomiaru kryteriów oceny z zastosowaniem symulatora.....	80
3.2.7 Ocena poprawności ATO	84
3.2.8 Modelowanie ugrupowania brygady raketowej obrony powietrznej	85
3.3 Wnioski	86
4 Symulacyjny model w badaniach naukowych	90
4.1 Kontekst metody naukowej w naukach wojskowych.....	93
4.2 Modelowanie symulacyjne.....	97
4.3 Eksperymenty symulacyjne i komputerowe gry wojenne.....	104
4.4 Wady modelowania symulacyjnego.....	115
4.5 Zalety modelowania symulacyjnego	116
Zakończenie	118
Bibliografia:.....	120
5 Załączniki	126
5.1 Słownik wybranych pojęć modelowania symulacyjnego	126
5.2 Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy symulatora podczas posługiwania się edytorem map topograficznych.	130
5.3 Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy podczas posługiwania się edytorem sytuacji taktycznej.....	131
5.4 Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy podczas modelowania strefy informacji radiolokacyjnej przeciwnika (wyboru pozycji posterunków radiolokacyjnych).....	132
5.5 Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy podczas modelowania systemu ognia przeciwnika (oceny pozycji PZR).....	133

WSTĘP

Naukę, dowodzenie i dydaktykę - związane z wymiarem powietrznym zawsze dotykały dylematy dostępu do empirii. Z jednej strony by ją poznać, z drugiej by weryfikować formułowane teorie, z trzeciej by efektywnie kształcić wszystkich przygotowywanych do działań w wymiarze powietrznym.

Duża uniwersalność metod symulacyjnych od lat jest jednym ze stymulatorów poszukiwań zastosowań dla nich podczas rozwiązywania problemów poznawczych, dowodzenia i dydaktycznych. Już w latach 70-tych i 80-tych minionego stulecia, rozwój techniki komputerowej zaowocował pojawieniem się wielu opracowań teoretycznych¹ poświęconych ich zastosowaniu. Treści tych opracowań znacznie wyprzedziły rzeczywiste możliwości ówczesnych laboratoryjnych modeli symulacyjnych, które cechowała duża powolność funkcjonowania i uciążliwość obsługi, ale przede wszystkim trudna do zaakceptowania przez użytkowników znaczna liczba założeń upraszczających ówczesne modele matematyczne stosowane do odwzorowania zjawisk walki. Wady te były wymuszone nie tyle stanem teorii modelowania problematyki walki, ale ówczesnymi możliwościami techniki cyfrowej. W konsekwencji, w ciągu kolejnych dziesięcioleci niewiele ze sprecyzowanych postulatów zastosowań modelowania symulacyjnego urzeczywistniono w praktyce dowodzenia, kształcenia i badań. We wspomnianych opracowaniach naukowych autorzy nie dysponując gotowymi produktami w postaci finalnego oprogramowania symulacyjnego, nie byli w stanie oszacować

¹ Np.: Kulczycki R., Zastosowanie symulacji komputerowej do doskonalenia ugrupowania i kierowania ogniem związku taktycznego wojsk raketowych OPK modeli symulacyjnych, ASG WP 1979; Kierebiński H., Modelowanie walki podstawowych rodzajów wojsk OPK z zastosowaniem symulacji komputerowej, ASG WP 1984; Kołodziński E., Pietkiewicz T., Badanie skuteczności działania systemu OP metodą symulacji cyfrowej, WAT 1984; Zabłocki E., Antczak S., Ocena efektywności działań bojowych WOPK, ZN ASG 1985.

uwarunkowań eksperymentów symulacyjnych w konfrontacji z ograniczeniami procesów decyzyjnych i uwarunkowań dydaktyki, pomijali aspekt konieczności opracowania statystycznego wyników serii eksperymentów symulacyjnych. W kolejnych latach ciągły i burzliwy postęp w dziedzinie mocy obliczeniowej komputerów zaowocował pojawianiem się coraz doskonalszych modeli symulacyjnych², jednakże ich zakres zastosowania w dowodzeniu, kształceniu i badaniach powietrznego wymiaru działań zbrojnych, choć potencjalnie coraz większy, nie był na tyle duży, aby zajął godne miejsce w praktyce - na realnych stanowiskach dowodzenia, w salach wykładowych czy pracowniach naukowców. Dlatego dysponując współczesnymi narzędziami informatycznymi w postaci skonstruowanego w AON symulatora operacyjno-taktycznych działań powietrznych, możliwym wydaje się opracowanie realnych metodyk zastosowań, by w pełni uwzględnić wymagania dowodzenia, kształcenia kadr dowódczych i badań naukowych, a tym samym nadać wynikom badań możliwie, jak największą wartość użyteczną.

Współczesna technologia informatyczna ustanowiła szansę przełamania wieloletnich problemów prawie powszechnej dostępności do para empirii. Taką szansą obecnie są tworzone symulacyjne modele informatyczne czasu rzeczywistego. Model działań powietrznych o takich cechach tworzony jest od wielu lat w Akademii Obrony Narodowej. Jednak zakończenie badań nad skonstruowaniem tego modelu jest początkiem badań nad jego zastosowaniami. Właśnie celem dwuletnich badań jest opracowanie metodyk zastosowań symulacyjnego modelu działań powietrznych. Całość badań obejmuje pięć etapów. Etap pierwszy, którego wynikiem jest niniejsze opracowanie - poświęcony jest

² Np. model symulacyjny znany pk. WALKA OP, autorstwa B. Zdrodowskiego, przez wiele lat wykorzystywany w procesie kształcenia w AON.

rozpoznaniu możliwych obszarów zastosowań oraz ograniczeniom skonstruowanego modelu symulacyjnego. Etap drugi poświęcony jest możliwym zastosowaniom modelu w dydaktyce. Etap trzeci poświęcony jest zastosowaniom symulatora w badaniach naukowych, a etap czwarty we wspomaganiu dowodzenia. Etap piąty jest syntezą poprzednich etapów badań.

Głównymi problemami badawczymi etapu pierwszego były:

1. W czym wyraża się istota i jakie są możliwości symulacyjnego modelu działań powietrznych?
2. Jakie są możliwe zastosowania symulacyjnego modelu działań powietrznych w nauce i dowodzeniu?
3. Jakie są preferowane zastosowania symulatora w dydaktyce, i jakie występują ograniczenia w jego stosowaniu?

Podczas rozwiązywania powyższych problemów dokonano identyfikacji i analizy porównawczej potrzeb dowodzenia, kształcenia i badawczych, a także uwarunkowań formalnych wynikających ze stosowanych procedur dowodzenia, kształcenia i poznania.

Ogólnym kryterium możliwości stosowania symulatora do rozwiązywania konkretnych problemów dowodzenia, dydaktycznych i badawczych był bilans korzyści i niedogodności jego stosowania, a także wynik porównania efektów stosowania metod dotychczasowych i symulacyjnych. Jednakże w wielu wypadkach potencjalnych zastosowań symulatora dotychczasowe metody rozwiązywania problemów odwołują się w swych założeniach do praktycznie niczym niewspieranej intuicji decydentów.

Przyjęty układ pisarskiego opracowania wyników badań odpowiada kolejności wyspecyfikowanych problemów. Opracowanie to składa się ze

wstępu, trzech rozdziałów merytorycznych, zakończenia, wykazu wykorzystywanej w opracowaniu literatury, załączników.

W rozdziale pierwszym scharakteryzowaliśmy istotę modelowania symulacyjnego. Rozdział ten otwiera zdefiniowany język modelowania symulacyjnego, którym posługujemy się w całym opracowaniu. Przedstawiamy tu charakterystyczne cechy modelowania symulacyjnego, jakimi są: losowy charakter otrzymywanych wyników eksperymentów symulacyjnych, możliwe rozkłady wyników symulacji oraz wskazujemy na istotę opracowania statystycznego wyników symulacji. Rozdział kończą wyspecyfikowane wady i zalety modelowania symulacyjnego.

Rozdział drugi to prezentacja istoty budowy zbudowanego w AON informatycznego modelu działań powietrznych i wypełnianych przez niego podstawowych funkcji.

Rozdział trzeci to możliwe zastosowania symulacyjnego modelu w dowodzeniu i częściowo dydaktyce. Wskazujemy tu na odrębne obszary jego zastosowań na szczeblach operacyjnych i taktycznych.

Rozdział czwarty poświęcony jest zastosowaniom modelu w wojskowych badaniach naukowych. Wskazujemy tu na kontekst metody naukowej wojskowych badań, wyjaśniamy rolę i znaczenie modelowania w badaniach oraz prezentujemy możliwe zastosowania eksperymentów na modelu w badaniach naukowych. Rozdział kończą refleksje nad wadami i zaletami modelu stosowanego w badaniach naukowych.

Rozdziały opatrzone wstępem wprowadzającym w sytuację problemową oraz zakończeniem zawierającym refleksję o uzyskanym stanie wiedzy o zastosowaniach symulatora, jako narzędzia modelowania symulacyjnego i prowadzenia komputerowych gier wojennych. Całość opracowania uzupełniają: wykaz bibliograficzny oraz załączniki. Zawarty w załączniku 1 słownik podstawowych pojęć

używanych w modelowaniu symulacyjnym i komputerowych grach wojennych jest autorską propozycją, uzupełniającą język modelowania symulacyjnego, zawarty w podrozdziale 1.1.

wymaga wyjaśnienia takich pojęć jak model, modelowanie, symulacja, modelowanie symulacyjne, eksperyment symulacyjny.

*Modelem jest spycyficzny obiekt odzwierciedlający niektóre cechy, właściwości, charakterystyki i powiązania obiektu rzeczywistego istotne dla rozwiązania określonego zadania przez podmiot i uzyskania informacji o funkcjonowaniu obiektu rzeczywistego.*²

Przyjmuje się, że model zawiera następujące części składowe: podmiot, zadanie rozwiązywane przez podmiot, obiekt rzeczywisty i język opisu. W strukturze przedstawionego wyżej uogólnionego pojęcia modelu szczególną rolę odgrywa zadanie rozwiązywane przez podmiot. Zadanie określa dobór istotnych cech i charakterystyk obiektu rzeczywistego i jest głównym czynnikiem systemotwórczym w procesie integracji tych cech i charakterystyk w jednolitą całość, w pewien system. A zatem określa niejako charakter tworzonych modeli. Model jest zawsze tylko przybliżonym podobieństwem obiektu rzeczywistego, zdecydowanie uboższym od niego pod względem informacyjnym. Ale jednocześnie model jest syntezą tego, co w systemie rzeczywistym jest istotne z punktu widzenia celu badań.

*Modelowanie jest to szczególna metoda badania obiektu, systemu złożonego, polegająca na lukrowie (lub wyborze) pomocniczego obiektu (systemu) zastępczego w postaci modelu obiektu (systemu) rzeczywistego i przeprowadzaniu na nim eksperymentów.*³

Symulacją nazywany pewien tok postępowania z modelem obiektu (systemu) rzeczywistego polegający na odtworzeniu istniejących w

² Tamże

³ Tamże, s.113.

1 Istota modelowania symulacyjnego

1.1 Język modelowania symulacyjnego

Właściwe zrozumienie symulacyjnych modeli działań powietrznych wymaga wyjaśnienia takich pojęć jak model, modelowanie, symulacja, modelowanie symulacyjne, eksperyment symulacyjny.

Modelem jest specyficzny obiekt odzwierciedlający niektóre cechy, właściwości, charakterystyki i powiązania obiektu rzeczywistego istotne dla rozwiązania określonego zadania przez podmiot i uzyskania informacji o funkcjonowaniu obiektu rzeczywistego.³

Przyjmuje się, że model zawiera następujące części składowe: podmiot, zadanie rozwiązywane przez podmiot, obiekt rzeczywisty i język opisu. W strukturze przedstawionego wyżej uogólnionego pojęcia modelu szczególną rolę odgrywa zadanie rozwiązywane przez podmiot. Zadanie określa dobór istotnych cech i charakterystyk obiektu rzeczywistego i jest głównym czynnikiem systemotwórczym w procesie integracji tych cech i charakterystyk w jednolitą całość, w pewien system. A zatem określa niejako charakter tworzonego modelu. Model jest zawsze tylko przybliżonym podobieństwem obiektu rzeczywistego, zdecydowanie uboższym od niego pod względem informacyjnym. Ale jednocześnie model jest syntezą tego, co w systemie rzeczywistym jest istotne z punktu widzenia celu badań.

Modelowanie jest to szczególna metoda badania obiektu, systemu złożonego, polegająca na budowie (lub wyborze) pomocniczego obiektu /systemu/ zastępczego w postaci modelu obiektu /systemu/ rzeczywistego i przeprowadzaniu na nim eksperymentów.⁴

Symulacją nazywamy pewien tok postępowania z modelem obiektu (systemu) rzeczywistego polegający na odtworzeniu istniejących w

³ Tamże

⁴ Tamże, s.113.

rzeczywistości (lub hipotetycznych) właściwości danego obiektu (systemu) oraz obserwowaniu zmian zachodzących w nim w czasie, pod wpływem zmieniających się warunków wewnętrznych i zewnętrznych. Jeżeli odwzorowywanie ciągów stanu badanego obiektu (systemu) odbywa się metodą symulacji, a narzędziem ułatwiającym dokonywanie obliczeń jest komputer - to taką symulację nazywamy symulacją komputerową⁵.

Przez **modelowanie symulacyjne** najczęściej rozumiemy: proces budowy modelu obiektu (systemu) rzeczywistego oraz przeprowadzanie eksperymentów symulacyjnych na tym modelu, w celu poznania zachowania się obiektu /systemu/ pod wpływem czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Oznacza to, że modelowanie symulacyjne to proces obejmujący nie tylko budowę modelu, lecz także analityczne zastosowanie modelu do zbadania (poznania lub rozwiązania) określonego problemu⁶.

Modelowanie symulacyjne uważa się za doświadczalną i empiryczną metodę, która pozwala⁷:

- opisać zachowanie się obiektu (systemu);
- budować teorie i hipotezy, które mogą objaśnić obserwowane zachowanie się obiektu (systemu);
- wykorzystać zbudowane teorie i hipotezy do przewidywania przyszłego zachowania się obiektu (systemu), tj. do przewidywania tych przyszłych stanów obiektu (systemu), które mogą wynikać ze zmiany elementów lub sposobów działania.

Ponadto uważa się, że modelowanie symulacyjne jako metoda badawcza, może służyć do⁸:

⁵ Tamże.

⁶ Tamże.

⁷ Tamże

⁸ Tamże, s. 114

- odtwarzania funkcjonowania systemów istniejących w przeszłości (tzw. symulacja odtwarzająca);
- odwzorowania działania systemów aktualnie istniejących (tzw. symulacja bieżąca);
- przewidywania działania systemów w przyszłości (tzw. symulacja prognostyczna).

Autorzy cytowanej *Metodyki wojskowych badań naukowych, Część II, Metody sformalizowane* (dalej w opracowaniu nazywanej *Metodyką*) uważają ponadto, że modelowanie symulacyjne może przynieść znaczne korzyści w badaniu złożonych systemów wojskowych (w tym również procesów walki) pozwala bowiem:

- naśladować procesy /zjawiska/ walki, procesy zabezpieczenia, zasilania i obsługi wojsk;
- badać skutki podejmowanych decyzji w aspekcie organizacyjnym, technicznym, ekonomicznym i in.;
- odtwarzać elementy systemu i ich powiązania występujące w strukturze sił zbrojnych, w celu ich przebadania.

Reasumując, istota metody modelowania symulacyjnego polega na zbudowaniu modelu badanego obiektu (systemu), który w jednych elementach jest zgodny z obiektem (systemem) rzeczywistym, w innych zaś różni się od niego, i który jest badany przy pomocy różnych metod i środków. Wyniki uzyskane z eksperymentów symulacyjnych przeprowadzonych na modelu są przenoszone drogą wnioskowania przez analogię na badany obiekt (system). Model występuje tu jako środek odzwierciedlenia (odwzorowania, zilustrowania) złożonych trudnodostępnych procesów (zjawisk), a symulacja komputerowa przy wykorzystaniu zbudowanego modelu ułatwia uzyskanie nowych informacji o badanym obiekcie (systemie). Bezpośrednie badanie wielu zjawisk, w tym zjawisk walki zbrojnej, często jest utrudnione, a nawet

wręcz niemożliwe. W niektórych wypadkach badanie systemu w sposób bezpośredni może być niewygodne ze względów ekonomicznych lub innych. Modelowanie symulacyjne poprzez pewne uporządkowanie zjawisk, zastosowanie metod matematyczno-logicznych i heurystycznych, ułatwia poznanie istoty badanych obiektów (systemów).

Modelowanie symulacyjne stwarza możliwość badania funkcjonowania złożonych systemów wojskowych w wybranym wymiarze czasowym i przestrzennym. Obserwacje zmian zachodzących w tych systemach mogą prowadzić do istotnych usprawnień organizacyjnych, funkcjonalnych i informacyjnych, a także mogą wykazać, które elementy systemu są najistotniejsze dla jego sprawnego funkcjonowania, a które najslabsze, zbędne lub najbardziej obciążone. Całościowy charakter metody modelowania symulacyjnego znajduje wyraz w dokonywaniu analizy powiązań i zależności wszystkich czynników wywierających wpływ na funkcjonowanie systemu jako całości.

Modelowanie symulacyjne wykorzystujące współczesną technikę komputerową, umożliwia⁹:

- systematyzowanie i selekcjonowanie danych;
- utrwalanie istotnych powiązań występujących w systemie;
- rozwijanie elementów teorii badanych procesów;
- uporządkowanie elementów teorii w jednolity system i zastosowanie go w praktyce;
- eksperymentalne sprawdzenie założeń teorii.

Modelowanie symulacyjne jest zatem procesem, w którym działalność teoretyczna i praktyczna przeplata się, występuje jako niepodzielna jedność.

Trudno nie zgodzić się z autorami cytowanej *Metodyki*, że modelowanie symulacyjne stanowi niejako skojarzenie metody

⁹ Tamże, s.115.

matematycznej i eksperymentalnej. Budując bowiem model opisujemy formalnie mechanizm zachodzących procesów, podobnie jak przy stosowaniu metod matematycznych, natomiast sposób uzyskiwania wyników jest taki, jak w metodach eksperymentalnych, z tą tylko różnicą, że proces rzeczywisty zastępujemy symulacją tego procesu na komputerze. Metoda ta jest z jednej strony swego rodzaju narzędziem pozwalającym sprawdzić praktycznie wyniki badań teoretycznych, z drugiej zaś strony - metodą teoretycznego rozwiązywania niektórych problemów wysuwanych przez praktykę. W ten sposób można przyjąć, że modelowanie symulacyjne zajmuje pośrednie miejsce między logicznymi i empirycznymi metodami, ułatwiając przejście w procesie poznania od praktyki do teorii i odwrotnie.

W zakończeniu charakterystyki modelowania symulacyjnego, chcemy podkreślić, że modelowanie symulacyjne nie jest metodą optymalizacyjną w sensie metod analitycznych, stosowanych np. w badaniach operacyjnych czy programowaniu liniowym. W odróżnieniu od ścisłych metod optymalizacyjnych, modelowanie symulacyjne pozwala na uzyskanie rozwiązania nie optymalnego lecz zadawalającego albo wystarczającego, pozwalającego na bezpieczne działanie, a także jest stosowane do określania prawdopodobnych skutków podejmowanych w przyszłości działań zbrojnych.

Komputerowe gry wojenne

Systemy działania badać można zarówno na systemie rzeczywistym, jak i w oparciu o jego model. W przypadku systemów działań zbrojnych i niezbrojnych, ze względu na ich specyfikę, badania prowadzone na systemie rzeczywistym są utrudnione (mają wówczas często ograniczony i fragmentaryczny charakter) lub praktycznie niemożliwe. W warunkach pokojowych bowiem nie ma możliwości uruchomienia dla potrzeb badań systemów działań zbrojnych lub niezbrojnych

(przeprowadzenia rzeczywistych działań zbrojnych i niezbrojnych) z zachowaniem pełnych realiów, a do tych działań, które aktualnie się toczą (Irak) dostęp badaczy jest bardzo ograniczony. Przyczyną takiego stanu rzeczy są przede wszystkim względy natury humanitarnej oraz ograniczenia o charakterze ekonomiczno-terytorialnym. Jest rzeczą oczywistą, że brak możliwości przeprowadzenia badań na systemie rzeczywistym znacznie komplikuje analizę procesów działań zbrojnych i niezbrojnych i rozwiązywanie problemów związanych z oceną efektywności i prognozowaniem przebiegu tych działań. Jedynym bowiem w tej sytuacji źródłem informacji o zjawiskach i współczesnych procesach wojennych i pozawojennych działań sił zbrojnych są doświadczenia minionych i współczesnych wojen lokalnych i konfliktów oraz doświadczenia pokojowe, a przede wszystkim ćwiczenia i gry wojenne rozumiane jako określony rodzaj modeli systemów walki. Ćwiczenia i gry wojenne stanowią współcześnie integralny element funkcjonowania sił zbrojnych, spełniając istotną rolę w systemie nauki wojskowej i praktycznej działalności dowództw i sztabów.

Na przestrzeni wieków gry wojenne¹⁰ (terminu tego używano powszechnie do określenia różnego rodzaju ćwiczeń, jak i współcześnie rozumianych gier) przeszły głęboką ewolucję od gier najprostszych stanowiących swoistego rodzaju formę „wojennej zabawy”, poprzez różnego rodzaju odmiany szachów i gier sztywnych, do gier swobodnych tzn. takich, które w szerszym zakresie umożliwiały odwzorowanie elementów, zjawisk i procesów pola walki. Szczególnie intensywny rozwój gier wojennych odnotowujemy na przestrzeni ostatniego stulecia. W budowanych wówczas grach wojennych odwzorowywano wszystkie rodzaje sił zbrojnych i wojsk oraz wszystkie rodzaje i formy działań bojowych, a często także, uwzględniano w nich w szerokim zakresie

¹⁰ Charakterystykę gier przyjęto za: *Metodyka wojskowych... wyd. cyt. s. 136-141.*

problemy o charakterze politycznym. Stosowano wówczas gry wojenne, przeznaczone były głównie do wypracowania zamiarów i koncepcji przyszłych bitew i operacji oraz oceny skutków przewidywanych działań. W miarę jednak postępującej złożoności systemów walki i warunków prowadzenia działań bojowych, gry wojenne coraz częściej nie zaspakajały potrzeb wojskowej i praktycznej działalności dowództw i sztabów. Spowodowane to było pojawieniem się barier metodologicznych i brakiem umiejętności praktycznych w zakresie opracowywania gier wojennych, w szczególności odwzorowywania zjawisk, elementów i procesów walki adekwatnych do stopnia złożoności współczesnych systemów działań bojowych. Przyjmowane w procesie opracowywania gier założenia miały często charakter subiektywny i były głównie wynikiem logicznego myślenia, intuicji, co przy wzrastającej złożoności systemów walki i braku możliwości stosowania metod precyzyjnych np. modelowania matematycznego, nie zawsze zapewniało pożądaną użyteczność gry. Podkreślić należy również, że opracowywane wówczas gry były w zasadzie jednorazowego użytku. Powtórnie bowiem gra mogła być wykorzystana przede wszystkim do konstruowania (odtworzenia), czy też uzupełnienia uprzednio rozwiązanych problemów. Czas opracowywania takich gier wojennych, głównie tych o charakterze naukowo-badawczym, a w szczególności czas odwzorowania (zasymulowania) wybranych etapów (faz, epizodów działań bojowych) był bardzo długi, co nie było bez wpływu na użyteczność gry.

Pojawienie się techniki komputerowej w sposób istotny wpłynęło na wzrost użyteczności gier wojennych. W procesie projektowania i wykorzystania gier, w wyniku zastosowania komputerów oraz wykorzystania w szerokim zakresie dorobku takich dyscyplin jak matematyka, psychologia, socjologia, cybernetyka i informatyka, gry

wojenne zaczęły nabierać w coraz większym stopniu charakteru precyzyjnego narzędzia naukowo-badawczego i dydaktycznego oraz praktycznego narzędzia doskonalenia kadr dowódczo-sztabowych. Szczególnie istotny wpływ na charakter przeobrażenia gier wojennych miało pojawienie się nowych metod badawczych, jak analiza systemowa i symulacja komputerowa.

Tak więc powstanie i rozwój symulacji komputerowej wywarł istotny wpływ zarówno na ilościowy jak i jakościowy rozwój gier wojennych. Wykorzystując możliwości jakie stwarza symulacja komputerowa zaczęto opracowywać gry wojenne, których przedmiotem są takie zjawiska i procesy pola walki (obszary funkcjonowania systemów walki), w których ze względu na ich złożony charakter nie istniała możliwość precyzyjnego odwzorowania przez wykorzystanie zespołów podgrywających i metod modelowania matematycznego.

W wyniku wykorzystania w grach wojennych modeli symulacyjnych, które często stanowiły ich integralny element, w coraz większym stopniu zaczęły one nabierać charakteru gier komputerowych. Komputerowe gry wojenne (KGW) stanowią jakościowo wyższą formę rozwoju i zastosowań symulacyjnych modeli walki i są niejako rezultatem ich naturalnego rozwoju. Jako problem naukowo-badawczy pojawiły się wówczas, kiedy z jednej strony na gruncie badań systemowych uświadomiono sobie, że gra jako zjawisko społeczne stanowić może paradygmat wielu złożonych systemów działania, z drugiej zaś kiedy doświadczenia w zakresie projektowania i wykorzystania informatycznych systemów dowodzenia pozwoliły formułować tezę, że tendencją wynikającą z potrzeb współczesnego pola walki, będzie dążenie do projektowania systemów o aktywnej strukturze przetwarzanych na komputerze zadań. tzn. takich, które wspomagają proces podejmowania decyzji poprzez przegrywanie różnych wariantów

decyzji, przed podjęciem decyzji ostatecznej, tzn. takich, których integralnym elementem oprogramowania użytkowego będą symulacyjne modele walki.

Komputerowe gry wojenne stanowią syntezę dorobku wielu dyscyplin nauki, a w szczególności sztuki wojennej i nauk systemowych oraz bogatego wieloletniego doświadczenia wielu armii w zakresie przygotowania i prowadzenia działań bojowych. Łączą w sobie w sposób umiejętny te możliwości, jakie w zakresie odwzorowania zjawisk i procesów pola walki stwarza symulacja komputerowa, modelowanie matematyczne, a także tradycyjne gry wojenne.

Pojęcie gry obejmuje co najmniej kilka różnych desygnatów, od wyrażonych w języku potocznym do formułowanych w języku współczesnej matematyki.

Stosując więc grę należy mieć na uwadze:

a) model działania w złożonej sytuacji konfliktowej, tj. takiej, w której uczestniczą co najmniej dwie strony, posiadające sprzeczne cele działania, a w szczególności zaś:

- matematyczny model decyzyjny sytuacji konfliktowej (przedmiot teorii gier);

- opisowy model decyzyjny sytuacji konfliktowej (przedmiot psychologii, socjologii, a także sztuki wojennej);

b) organizacyjną formę uczestnictwa w rozwiązywaniu złożonych sytuacji decyzyjnych, a w szczególności:

- gry wojenne;

- gry kierownicze (symulacyjne, komputerowe);

c) formę zachowań i uczestnictwa w funkcjonowaniu określonych grup społeczeństwa:

- gry dziecięce;

- gry sportowe;

- gry salonowe.

Z powyższego wyróżnienia wynika, że w większości, mamy tu do czynienia, bądź z dążeniem do poznania mechanizmów decyzyjnych w sytuacjach konfliktowych, bądź do kształtowania specyficznych umiejętności podejmowania decyzji w tych sytuacjach.

Gra, jako model działania charakteryzuje się tym, że:

- posiada sprecyzowany cel;

- uczestnikami takiej gry są ludzie realizujący w tym procesie swoje zmieniające się cele i zaspokajający różnorodne potrzeby. Zmienność ta wynika z niesprecyzowanego do końca układu preferencji graczy (wygrać, zremisować, czy też zminimalizować przegraną), które uaktywniają się w zależności od sytuacji oraz od wyników kolejnych rozgrywek;

- każda gra odbywa się w zmienionych warunkach wyznaczonych przez interakcje z instytucjonalnym, społecznym, ekonomicznym, ekologicznym, technicznym otoczeniem. Charakter tych interakcji jest zmienny w czasie i uczestnikom gry może być w różnym stopniu znany;

- istnieją względnie stałe reguły gry, nie zawsze w jednakowym stopniu opanowane przez wszystkich uczestników gry;

- wartość wyniku gry jest dla wszystkich jej uczestników w różnym stopniu przewidywalna, a cenność tego wyniku jest różna;

- uczestnicy angażują się psychicznie w grę ze zmienną intensywnością, co jest zarówno funkcją przebiegu gry, jak i zmiennych predyspozycji uczestników gry;

- uczestnicy gry mogą tworzyć zmienne koalicje;

- uczestników gry cechować mogą określone motywacje, emocje i niekiedy pozornie irracjonalne działania;

- warunkiem prawidłowego przebiegu gry jest wspólny język jej uczestników. Język ten nie zawsze jest jednak w tym samym stopniu

opanowany przez wszystkich. Co więcej w trakcie przebiegu gry może on ulegać zmianom. Dzieje się to w wyniku działań określonych mianem „szulerstwo”;

- każda gra ma pewną dramaturgię i określone reguły, które mogą być łamane w trakcie gry;
- każda gra powinna być realistyczna i wiarygodna;
- wygrana jednego uczestnika gry nie musi być zawsze przegraną innego, oznacza to, że gra może być o sumie niezerowej.

We współczesnej matematyce gra rozumiana jest jako matematyczny model konfliktu. Zakłada się w nim, że uczestnicy gry charakteryzują się między innymi tym, że:

- znają następstwa swoich alternatywnych decyzji;
- porządkują zbiór możliwych decyzji wg wielkości wypłat, które mogą otrzymać podejmując poszczególne decyzje;
- maksymalizują swoją oczekiwaną wygraną;
- przy wyborze poszczególnych strategii wykorzystują informacje o wielkości wypłat (wygranych) pozostałych graczy;
- posiadają doskonałą percepcję, są absolutnie inteligentni oraz dysponują pełną informacją o otaczającym ich świecie.

W teorii gier zakłada się zwykle jednakowe charakterystyki dla wszystkich graczy, które z zasady przyjmują ekstremalne wartości. Niezależnie jednak od tego jak liczny byłby zbiór cech opisujących gracza (np. narodowość, sytuacja społeczna, rodzinna itp.), nie ma to żadnego wpływu na jego zachowanie się w trakcie przebiegu gry. Tak rozumiany uczestnik gry doskonale identyfikuje i ocenia swoje cele, które z góry są mu znane i nie ulegają zmianie w procesie realizacji gry (stabilny system wartościowania).

W wyniku takiej interpretacji gracz w rozumieniu teorii gier nie jest przedmiotem socjologicznie uwarunkowanym, pełnym licznych cech, a

racjonalnym automatem, który zna wszystko, co powinien znać przed rozpoczęciem gry.

W przeciwieństwie do takiego podejścia, gracz (uczestnik gry) w grach symulacyjnych (kierowniczych, wojennych) nie jest abstrakcyjnym podmiotem, a konkretnym elementem gry, którego funkcjonowanie charakteryzuje się między innymi tym, że:

- zachowanie i działanie uzależnione jest od jego licznych cech, takich, jak np. sytuacja społeczna, poziom wiedzy i doświadczenia itp.;
- zdolność percepcji i stopień inteligencji jest ograniczony;
- cele i system wartości sprecyzowane są tylko częściowo i ulegają zmianie w czasie;
- informacje o otoczeniu są niekompletne (przy czym przetwarzanie tych informacji związane jest zwykle ze znacznymi kosztami).

W teorii gier dużą rolę przypisuje się również samemu zabiegowi formalizacji sytuacji konfliktowej, pomijając najczęściej osobę decydenta, jako jednostki działającej w określonym kontekście historycznym i społecznym. Ponadto autorom prac w zakresie teorii gier uchodzi często uwadze fakt, że sprowadzenie sytuacji konfliktowej do postaci gry jest zaledwie jednym z etapów podejmowania decyzji i dostarcza jedynie informacji determinującej charakter oraz racjonalność podejmowania decyzji.

Gra jako model działania pozwala na uwzględnienie tych cech, które w tradycyjnym ujęciu mogą być pomijane, lub uwzględniane tylko częściowo. Ujęcie to umożliwia także racjonalne sterowanie konfliktami, przez np. lepsze poznanie ich przyczyn, wzajemnych związków przyczynowo-skutkowych oraz możliwych wariantów przebiegu. Metodologiczne znaczenie gry jako modelu działania polega na tym, że pozwala ona traktować jako cechy systemowe działania np. konfliktowość, niepewność, ryzyko. Ponadto pozwala uwzględnić

przyczyny i skutki powstawania tzw. barier systemowych takich, jak: bariera decyzyjna (decydentów), bariera strukturalna, kulturalna itp. oraz rozpatrywać takie jak: zjawiska dysonans poznawczy, czy syndrom grupowego myślenia.

1.2 Losowy charakter wyników symulacji

Główną zaletą symulacji działań bojowych w stosowanym w AON symulatorze jest uwzględnianie czasu i możliwość badania stanów w dowolnym momencie tych działań. Możliwe oddziaływania stron są identyfikowane w czasie i przestrzeni poprzez sprawdzanie szeregu warunków, których wiele zależy od decyzji podejmowanych przez uczestników eksperymentu, występujących w roli decydentów, zgodnie z kompetencjami, jakie posiadają w rzeczywistych systemach dowodzenia. Dowódca ma okazję zapoznać się z możliwym rozwojem sytuacji na polu walki, będącym skutkiem jego decyzji, zanim w rzeczywistości wprowadzi ją w życie.

Skonstruowany symulator podczas eksperymentów symulacyjnych odwzorowuje efekty podjętych decyzji o użyciu środków walki sił powietrznych nie tylko w aspektach czasu i przestrzeni, ale także skuteczności realizacji zaprogramowanych im zadań. Uwzględnienie owej skuteczności polega na zadeklarowaniu prawdopodobieństw realizacji zadań przez środek walki w określonych warunkach.

Po zdekodowaniu wystąpienia tych warunków podczas symulacji następuje losowanie wyniku realizacji zadania z tym prawdopodobieństwem i uwzględnienie tych wyników w dalszej symulacji.

Każdy wynik symulacji może być inny, bo losowy jest charakter wyników zidentyfikowanych pojedynków lub oddziaływań. Trzeba zaznaczyć, że w wypadku dużej liczby takich losowań odwzorowujących

jednoczesne działania dużej liczby jednorodnych środków walki wyniki symulacji nie powinny od siebie znacznie odbiegać. Tak może być podczas symulowania działań bojowych dużej liczby np. czołgów i BWP w czasie walki pułków i dywizji zmechanizowanych.

W wypadku nalotu zmasowanego mamy do czynienia wbrew pozorom z pojedynczymi oddziaływaniami samolotów w walkach powietrznych i pojedynczymi oddziaływaniami (pojedynekami) samolotów z naziemnymi środkami OP, gdyby je rozpatrywać w określonych momentach czasu¹¹. Grupowe walki powietrzne z udziałem dziesiątek samolotów przeszły już chyba do historii. Tendencje w uzbrojeniu sił powietrznych jednoznacznie wskazują na ograniczenia liczby samolotów bojowych przy jednoczesnym wzroście ich wartości bojowej. Duża zależność rezultatów kolejnych wyników pojedynczych starć od wylosowanych wyników wcześniejszych walk może powodować znaczny rozrzut ostatecznych wyników symulacji.

Przy niewielkiej liczbie oddziaływań i pojedynków otrzymanie najbardziej prawdopodobnej realizacji symulacji (a taka tylko nas interesuje w procesie decyzyjnym) jest mało prawdopodobne¹². Informuje nas o tym prawo wielkich liczb Bernoulliego (twierdzenie Czebyszewa¹³).

¹¹ Biorąc pod uwagę, że w zmasowanym nalocie (COMAO) może wziąć udział średnio do 10÷15 grup uderzeniowych samolotów, a straty wynoszą kilka procent, to i sumaryczna liczba oddziaływań nie może być duża.

¹² Przy wyrzuceniu np. jednocześnie ogromnej liczby monet istnieje duże prawdopodobieństwo, że wynik niewiele będzie się różnił od wartości oczekiwanej – 50% wyrzuconych orłów. W wypadku wyrzucenia kilku monet różnice mogą być znaczne. Miarą tej różnicy może być odchylenie standardowe, które w wypadku rozkładu normalnego jest proporcjonalne do pierwiastka z liczby doświadczeń symulacyjnych. Chcąc zatem zwiększyć dokładność symulacji dwukrotnie, trzeba czterokrotnie zwiększyć ich liczbę R. Faure, J. Boss, A LeGarff, *Badania operacyjne* PWN 1982, s.128.

¹³ S.M. Jarmakow, *Metoda Monte Carlo i zagadnienia pokrewne*, PWN 1976, s.19.

W tej sytuacji trzeba by dla każdego symulatora i eksperymentu symulacyjnego określić ile potrzeba wykonać powtórzeń danego eksperymentu, aby - dla określonego poziomu ufności - oszacować przybliżony, przeciętny rezultat symulacji (wartość oczekiwaną). Mamy tu do czynienia z zastosowaniem metody Monte Carlo w odniesieniu do wyników symulacji. Aby tego dokonać, symulacja powinna być zdeterminowana, jeśli chodzi o ewentualne decyzje użytkowników podejmowane w czasie eksperymentu (wszystkie decyzje powinny być podjęte z góry i wprowadzone jako dane wejściowe)¹⁴.

1.3 Rozkład wyników symulacji i jego parametry

Wynikami symulacji w zależności od jej celów, mogą być różne parametry odczytane na podstawie różnicy stanu wejściowego sił i środków uwzględnionych w scenariuszu i stanu końcowego (mogą to być np. straty poszczególnych typów samolotów, zestawów rakietowych sił powietrznych, stacji radiolokacyjnych po stronie własnej i przeciwnika, efekty uderzeń na obiekty przeciwnika itp.) Każdy z tych cząstkowych wyników symulacji można potraktować zatem jako zmienną losową o swoistym rozkładzie w pierwszym przybliżeniu normalnym¹⁵. W efekcie możemy mieć do czynienia z wieloma zmiennymi losowymi o rozkładach normalnych, przy czym parametry każdego z nich będą zwykle inne. Można przypuszczać, że parametry tych rozkładów będą zależeć w sposób trudny do ustalenia metodami analitycznymi, od scenariusza jak i od specyfiki samego symulatora. Wynika stąd konieczność identyfikacji parametrów tych rozkładów metodami statystycznymi dla każdej zmiennej losowej danego scenariusza.

¹⁴ Takie właściwości modelu deterministycznego zastosowano w poprzednio skonstruowanym w Wydziale Lotnictwa i OP symulacyjnym modelu działań powietrznych znanym jako WALKA OP.

¹⁵ Rozkład normalny zmiennej losowej może być przyjmowany, gdy na jej realizację wpływa wiele czynników, wpływ tych czynników jest nieokreślony i żaden z nich nie ma dominującego znaczenia.

Zauważmy ponadto, że w podejmowaniu decyzji (na podstawie wyników takiej symulacji) brany pod uwagę jest prognozowany, najbardziej prawdopodobny rezultat, a nie jeden z możliwych. Jest to istota podejścia probabilistycznego w ilościowych rozważaniach o prognozowanych efektach działań i chyba nie wymyślono do tej pory niczego lepszego. Najbardziej prawdopodobny rezultat realizacji zmiennej losowej o rozkładzie normalnym odpowiada wartości przeciętnej (oczekiwanej).

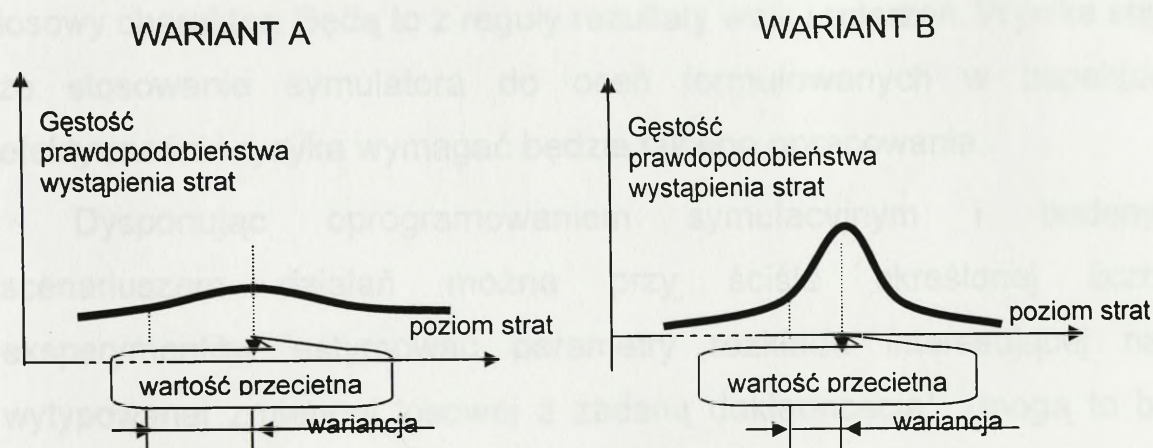
Drugim istotnym parametrem jest wariancja (lub np. odchylenie standardowe) będące miarą rozrzutu zmiennej losowej. W prognozowaniu tego co się może wydarzyć - jaka będzie jedyna realizacja zmiennej losowej - zakładając, że będzie to wartość oczekiwana, ponosimy „ryzyko” pomyłki tym większe, im większym rozrzutem charakteryzuje się realizacja zmiennej losowej, tzn. im większa jest wartość wariancji (odchylenia standardowego) charakteryzującej jej rozkład.

Przykład komplementarności parametrów rozkładu jako wskaźników ocen progностycznych

Wiadomo, że ryzyko powinno dotyczyć realizacji pewnej zmiennej losowej. Wyobraźmy sobie eksperyment symulacyjny, w którym badamy wyniki walki dwóch stron dysponując modelami matematycznymi (komputerowymi) zjawisk, jakie podczas tej walki zachodzą i oddającymi ich losowy (stochastyczny) charakter. Załóżmy, że spośród wielu cech charakteryzujących rezultaty, badamy straty własne ponoszone przy dwóch wariantach działania. Przyjmijmy ponadto, że przy pewnym wariancie – A w wyniku wielokrotnych powtórzeń eksperymentu rozrzut otrzymanych wyników jest bardzo duży, a przy wielokrotnej realizacji

wariantu – B, mały, chociaż wartość przeciętna¹⁶ dla obu wariantów jest zbliżona. Wartość przeciętna strat może być tu wskaźnikiem efektywności (bo określa między innymi ekonomiczność działań). Z punktu widzenia efektywności oba warianty są równoważne. Natomiast wariant – A wydaje się być bardziej ryzykowny, bo nieprzewidywalne stają się straty.

Powszechnie używanymi liczbowymi miarami rozrzutu realizacyjnego są: odchylenie standardowe, uchylenie prawdopodobne, czy też wariancja zmiennej losowej (tu strat). Przyjmując normalny rozkład strat, opisaną sytuację można zilustrować wykresami przedstawionymi na rys.1.



Rys. 1. Ilustracja rozkładów strat dla obu wariantów

„Płaski” wykres krzywej Gaussa odpowiada dużej wariancji (wariant – A), a więc sytuacji bardziej ryzykownej. Zauważmy, że prognozowanie w takiej sytuacji wartości przeciętnej (oczekiwanej) strat jako najbardziej prawdopodobnej staje się mało istotne, bo „wszystko zdarzyć się może” z porównywalnym prawdopodobieństwem. Miara efektywności, jako jeden parametr rozkładu staje się w tej sytuacji niewystarczająca do podjęcia decyzji.

¹⁶ Wartość oczekiwana (nadzieja matematyczna), obliczona eksperymentalnie.

Wariancja jest miarą rozrzutu kolejnych realizacji wariantu w aspekcie strat wokół wartości oczekiwanych (przeciętnych). Im większy rozrzut (wariancja) tym większe ryzyko otrzymania przy wdrożeniu wariantu innego wyniku niż oczekiwany – ocenianego oczywiście *in plus* lub *in minus*

Wynika stąd, że obok kryterium wartości przeciętnej (tu efektywności) w ocenie planowanych wariantów użycia sił militarnych istotne jest jeszcze kryterium ryzyka, jako naturalne jej uzupełnienie.

1.4 Opracowanie statystyczne wyników symulacji

Opracowanie statystyczne wyników symulacji będzie dotyczyło tylko tych wielkości wyjściowych, których zmiany w wyniku symulacji mają losowy charakter. Będą to z reguły rezultaty walk i uderzeń. Wynika stąd, że stosowanie symulatora do ocen formułowanych w aspektach efektywności i ryzyka wymagać będzie takiego opracowania.

Dysponując oprogramowaniem symulacyjnym i badanym scenariuszem działań można przy ściśle określonej liczbie eksperymentów estymować parametry rozkładu interesującej nas, wytypowanej zmiennej losowej z zadaną dokładnością¹⁷ (mogą to być nie tylko straty, ale dowolna wielkość jaka losowo ulega zmianie w toku symulacji). Parametry te są wartościami wyjściowymi, które z określonym (np. zadanym przez decydenta) poziomem ufności mogą być brane pod uwagę jako wskaźniki (wyróżniki kryterialne) dokonywanych ocen operacyjnych i taktycznych prowadzonych w procesie dowodzenia.

Estymacja parametrów rozkładu, jakim jest wartość przeciętna oraz wariancja dla dowolnych zmiennych losowych charakterystycznych dla ocenianego wariantu działań, jest stosunkowo łatwa, gdy dysponuje się oprogramowaniem symulacyjnym przeznaczonym do oceny rezultatów

¹⁷ Statystyka oferuje wiele efektywnych metod rozwiązania tego problemu.

walki. Zawsze bowiem można określić potrzebną liczbę powtórzeń eksperymentów symulacyjnych, aby oszacować metodami statystycznymi wartość owych parametrów¹⁸. Potrzebną liczbę eksperymentów N do estymacji parametrów rozkładu z zadaniem błędem pomiaru można obliczyć stosując następującą procedurę postępowania:

1. Typujemy interesujące nas dane wyjściowe symulacji (zmienne losowe);
2. Określamy dla każdej z nich wartość błędu w jednostkach, w jakich mierzona jest dana wyjściowa (np. daną wyjściową są straty w samolotach MiG-29 to możemy określić błąd oceny wartości przeciętnej strat na dowolnie małym poziomie, może on być mniejszy od jedności). Należy jednak pamiętać, że im mniejszy jest błąd tym więcej eksperymentów symulacyjnych trzeba przeprowadzić dla oszacowania wartości przeciętnej (oczekiwanej) danej wyjściowej.
3. Określamy dla każdej danej wyjściowej poziom ufności, czyli prawdopodobieństwo, że popełnimy w oszacowaniu wartości przeciętnej danej wielkości wyjściowej błąd większy niż założony błąd pomiaru. Ponieważ mamy do czynienia z oszacowaniami natury operacyjno-taktycznej podczas przyjmowania wartości poziomów ufności można zastosować pewne analogie do przyjmowanych wartości prawdopodobieństw gwarantowanych, stosowanych w niegdyś w kalkulacjach skuteczności (0,95,0,8). Stąd dla wielkości szczególnie istotnych sugeruje się aby poziom ufności α wynosił 0,05; a dla wielkości mniej istotnych od 0,1 do 0,2.
4. Dokonujemy oszacowania wstępnego odchylenia standardowego δ (wariancji - δ^2) dla każdej danej wyjściowej. W tym celu prowadzimy

¹⁸ Np. wykorzystując nierówność Czebyszewa, jak zalecają: Ruta R. Mazurkiewicz A., Modelowanie symulacyjne systemów eksploatacji, Radom 1991.

serię symulacji wstępnych (np. 5-6)¹⁹ i dokonujemy n pomiarów wstępnych (5-6) każdej z wytypowanych danych wyjściowych uznanych za wynik symulacji. Np. dla danej x otrzymujemy sekwencję wyników wstępnych: $(x_1, x_2 \dots x_i \dots x_n)$, które pozwalają obliczyć wartość δ^2 na podstawie wzoru:

$$\delta^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 ; \quad (1)$$

gdzie: wartość przeciętną obliczamy jako średnią arytmetyczną na podstawie zależności:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (2)$$

Obliczamy wariancję dla każdej wielkości wytypowanej jako dana wyjściowa tak jak dla danej x.

5. Określamy potrzebną liczbę symulacji N. W tym celu obliczamy dla każdej danej wyjściowej pożądaną liczbę eksperymentów na podstawie zależności:

$$N = \frac{\delta^2}{\varepsilon^2 \cdot \alpha} + 1; \quad (3)$$

gdzie:

δ – oszacowane wstępnie odchylenie standardowe (δ^2 -wariancja) w pkt. 4 ;

ε - założony błąd pomiaru w pkt. 2;

α - poziom ufności obliczeń – prawdopodobieństwo popełnienia błędu większego niż założony błąd pomiaru - ε , założony w pkt. 3

¹⁹ Jeśli parametr uznany za wynik symulacji przy 5-6 symulacjach wykazuje znaczne odchylenia od swojej średniej to należy liczbę doświadczeń wstępnych zwiększyć np. do 12, op cit.

Do dalszych rozważań bierzemy największą liczbę powtórzeń eksperymentu symulacyjnego jaki otrzymaliśmy spośród wyników obliczeń potrzebnej liczby powtórzeń dla każdej danej wyjściowej (N_{max}).

6. Wykonujemy N_{max} eksperymentów i na podstawie ich wyników obliczamy wartość przeciętną i wariancję dla każdej danej wyjściowej jako wyniki symulacji na podstawie zależności :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{max}} x_i}{N_{max}} \quad (4)$$

gdzie: x_i wynik i -tego eksperymentu symulacyjnego danej x .

$$\sigma^2 = \frac{1}{N_{max} - 1} \cdot \sum_{i=1}^{N_{max}} (\bar{x} - x_i)^2 \quad (5)$$

W konkluzji należy stwierdzić, że wnioskowanie (tu formułowanie ocen prognostycznych) z zastosowaniem skonstruowanego symulatora w eksperymentach uwzględniających aspekty skuteczności realizacji zadań przez środki walki, wymagać będzie opracowania statystycznego wyników serii zaplanowanych symulacji, które może być wykonane zgodnie z zaproponowaną procedurą.

1.5 Wady modelowania symulacyjnego

Stworzenie i rozwój modelu symulacyjnego wymaga posiadania wcześniejszego doświadczenia. Dodatkowo każdy projekt symulacyjny jest wyjątkowy. Dwa modele symulacyjne tego samego rzeczywistego systemu nigdy nie będą takie same. Jednakże rozwój oprogramowania symulacyjnego ułatwił znacznie przeprowadzania symulacji przy wykorzystaniu symulatorów, których komponenty wymagają wprowadzenia odpowiednich danych wejściowych. Ponieważ modele

symulacyjne oparte są często na losowych danych wejściowych, dane wyjściowe w gruncie rzeczy są losowymi zmiennymi, opartymi na wewnętrznych relacjach i przypadkowości występującej w systemie. Jednak większość symulatorów posiada zdolności ekstensywnej analizy statystycznej danych wyjściowych.

Większa złożoność modelu symulacyjnego wymaga poświęcenia większego czasu na konstrukcję i rozwój modelu, jak również na przetestowanie i ocenę różnorodnych scenariuszy. Popularność symulacji może przyczynić się do nadmiernego jej zastosowania w sytuacjach, gdy inne rozwiązania byłyby bardziej efektywne. Jednakże większość istniejących systemów nie może być inaczej przeanalizowana jak tylko przy użyciu symulacji, ze względu na swoją złożoność.

Trudno jest udowodnić poprawność wyników symulacji, jak również nie ma żadnej gwarancji, że znalezione rozwiązanie jest rozwiązaniem optymalnym. Z drugiej strony, duża liczba otrzymanych wyników, jak i realistyczna animacja, mogą prowadzić do przekonania o prawdziwości otrzymanych rezultatów. Różne ukryte założenia mogą powodować, że model będzie różnił się znacznie od systemu rzeczywistego, a co za tym idzie, że wyniki symulacji nie są łatwe do interpretacji.

1.6 Zalety modelowania symulacyjnego

Model symulacyjny pozwala przetestować każdy aspekt zaproponowanego rozwiązania bez wcześniejszego poświęcenia zasobów i przerywania trwających operacji (działań). Ponieważ eksperymentowanie w warunkach rzeczywistych jest zwykle bardzo kosztowne albo wręcz niemożliwe, zaleta zastosowania symulacji jako narzędzia wspomagającego decyzje bez poświęcenia zasobów jest łatwo zauważalna, np. najodpowiedniejsza konfiguracja rzeczywistego systemu może zostać wybrana nawet przed zakupem jakiegokolwiek wyposażenia. Kiedy już model symulacyjny został stworzony, nowe

reguły, zasady, metody postępowania mogą być sprawdzone poprzez dokonanie pewnych modyfikacji podstawowego modelu. Efekty tych zmian mogą być obserwowane jako dane wyjściowe modelu symulacyjnego, bez konieczności eksperymentowania z rzeczywistym systemem i bez związanych z tym koniecznych nakładów.

Odpowiednia regulacja upływu czasu w modelu symulacyjnym pozwala użytkownikowi na skrócenie bądź wydłużenie symulacji interwałów czasowych, tak aby każde zjawisko mogło być dokładnie przeanalizowane, jak również by zachowanie całego modelu mogło być zaobserwowane podczas dłuższego czasu. Wykonując symulację można wytłumaczyć występowanie pewnych zjawisk w systemie rzeczywistym, ponieważ każda pojawiająca się zdarzenia, czy wątpliwości mogą zostać dokładnie wyjaśnione. Dzięki temu polepsza się zrozumienie sposobu działania systemu rzeczywistego. Modele symulacyjne bardziej obiektywnie przedstawiają działanie rzeczywistego systemu niż opisują subiektywne przewidywania, uwzględniają także niepewność i prawdopodobieństwo występowania niektórych zjawisk (jak np. uszkodzenia sprzętu). Animacja pozwala na wizualizację stanu zachowań modelu, co z kolei umożliwia wykrycie potencjalnych słabych punktów w systemie rzeczywistym. W konsekwencji potencjalne problemy systemu mogą być wcześniej zdiagnozowane, np. przez identyfikację wąskich gardeł. Opóźnienia w otrzymywaniu gotowych produktów mogą zostać przeanalizowane i ich przyczyny zidentyfikowane. Złożone systemy mogą być przedstawione w bardzo realistyczny sposób, dzięki czemu symulacja jest bardziej przekonująca niż modele matematyczne i łatwiejsza do zrozumienia dla jej odbiorców.

Projekty, scenariusze i modyfikacje w modelach symulacyjnych są dobierane w sposób, zapewniający otrzymanie jak najlepszych i

najbardziej pożądanym rezultatom. Modelowany, przetestowany, zweryfikowany i wizualnie przedstawiony model symulacyjny daje wiarygodne i łatwiejsze do zaakceptowania wyniki niż subiektywne opinie ekspertów. Wyniki symulacji dostarczają również odpowiedzi na pytania „co by było gdyby”, pojawiające się za każdym razem, gdy rozważa się wprowadzenie pewnych modyfikacji w systemie. Symulacja jest zawsze mądrą inwestycją dla każdej firmy (także sił zbrojnych), ponieważ średnie koszty rozwoju modelu i eksperymentowania z nim są dużo niższe niż całkowite wydatki poświęcone na zaprojektowanie bądź przeprojektowanie rzeczywistego systemu. Jest także efektywnym narzędziem treningowym dla kadry menedżerskiej (dowódczej).

Symulacja może być także zastosowana do wyspecyfikowania wymagań potrzebnych podczas projektowaniu lub przeprojektowywaniu systemu. Ponadto pewne konieczne charakterystyki złożonych systemów mogą zostać ustalone podczas dążenia do osiągnięcia pożądanym celów symulacji.

1.7 Korzyści wynikające z zastosowania symulacji komputerowej:

Symulacja komputerowa ma wiele zalet, które czynią ją atrakcyjnym narzędziem badawczym. Może ona "skondensować" w takim stopniu czas, że istnieje możliwość przesymulowania lat działalności systemu w ciągu bardzo krótkiego okresu. Zdolność ta pozwala badaczowi rozważyć różnorodne plany operacyjne, które chciałby on zbadać w bardzo krótkim czasie, podczas gdy przeprowadzenie próby na każdym, realnym, systemie trwałoby bardzo długo.

Kolejną zaletą symulacji jest jej zdolność do odtwarzania stanów systemu. Przy końcu przebiegu symulacji komputerowej dostępne są dane charakteryzujące nie tylko stan całego systemu, ale również jego podsystemów (obiektów), których analiza dostarczyć może wręcz

fundamentalnych danych dla badacza. Symulacja komputerowa pozwala również na powtarzanie eksperymentów (po dokonaniu przez badacza pewnych zmian w parametrach lub warunkach działania systemu). Techniczne istotne zalety symulacji komputerowej jako metody badania, pociągają za sobą, dużą jej uniwersalność przy rozpatrywaniu różnorodnych problemów. Pozwala ona na eksperymentowanie, sprawdzanie i porównywanie nowych systemów lub też na proponowanie wprowadzania zmian do systemów istniejących. W tym ostatnim przypadku fizyczna realizacja tych zmian przyczyniłaby się do przekształcenia nakładów pracy, pieniędzy i czasu. Metoda ta umożliwia również badanie systemów hipotetycznych, których wypróbowanie w jakikolwiek sposób byłoby niebezpieczne i niemożliwe. Symulacja komputerowa staje się również niezbędnym narzędziem badawczym wówczas, gdy znane metody analityczne nie mogą dostarczyć właściwego rozwiązania.

²⁴ Na przykład B. Zlotowski, A. Ocho, J. Zych, Projekt logicznego modułu symulatora operacyjno-taktycznych działań powietrznych, AON 2003.

²⁵ Takich, jak np. stacje radiolokacyjne, bazy lotnicze, mosty, jednostki wojskowe itp.

2 Symulacyjny model działań powietrznych

Precyzyjne opisy możliwości funkcjonalnych i zasad użytkowania symulatora zawierają inne pozycje literatury²⁰. Tym nie mniej syntetyczny opis jego możliwości w ramach tego materiału powinien ułatwić jego zrozumienie, zwłaszcza w kontekście jego zastosowania w rozwiązywaniu wielu problemów decyzyjnych, dydaktycznych i badawczych.

Całość symulowanych procesów może być realizowana w czasie rzeczywistym lub przyspieszonym.

2.1 Budowa modelu

Zasadniczymi elementami symulatora stanowią trzy podstawowe moduły: scenariusza wraz z bazami obiektów i scenariuszy; symulacji; użytkownika (dla trzech typów użytkownika: strony A, strony B i strony neutralnej, reprezentowanej przez kierownika (koordynatora) gry).

Moduł scenariusza między innymi umożliwia edytowanie i odwzorowanie obiektów²¹ składających się na sytuację operacyjno-taktyczną w wymiarze powietrznym (a także w pewnym zakresie naziemnym) oraz opracowanie baz danych tych obiektów.

Moduł scenariusza przeznaczony jest kreowania baz danych obiektów oraz scenariuszy, umożliwiając:

- opracowanie baz danych obiektów (samolotów, systemów OPL, stacji radiolokacyjnych, lotnisk, obiektów osłony/ataku, środków zakłóceń, jednostek transportu, środków rozpoznania naziemnego);

²⁰ Np. pozycja B. Zdrodowski, A. Glen, J. Zych, Projekt logicznego modelu symulatora operacyjno-taktycznych działań powietrznych, AON 2003.

²¹ Takich, jak np.: samoloty, stacje radiolokacyjne, bazy lotnicze, mosty, jednostki wojsk lądowych, itp.

- opracowanie dowolnego scenariusza i zachowanie go w formie pliku;
- opracowanie baz danych LŚB (bomb, pocisków raketowych, zasobników zakłóceń i rozpoznawczych, a także dodatkowych zbiorników paliwa);
- zdefiniowanie listy użytkowników wraz z hasłami dostępu;
- modyfikowanie wcześniej zdefiniowanych scenariuszy i baz danych, użytkowników.

Moduł symulacji między innymi umożliwia:

- ✓ symulację w czasie rzeczywistym, z opcją zatrzymania i przyspieszania;
- ✓ podgląd wybranych parametrów obiektów biorących udział w danym scenariuszu;
- ✓ podgląd użytkowników danej sesji;
- ✓ zapisanie do pliku historii z rozegranego epizodu;
- ✓ wczytanie pliku z historią rozegranego epizodu;
- ✓ podgląd upływu czasu operacyjnego;
- ✓ możliwość cofnięcia symulacji do dowolnego momentu czasowego;
- ✓ przesyłanie komunikatów do grających stron i odbiór komunikatów od wszystkich zalogowanych do serwera użytkowników;
- ✓ określanie warunków METEO dla wszystkich stron.

Moduł ten zapewnia w symulatorze pełną synchronizację przetwarzania danych i generowanie wszystkich zdarzeń - niezależnie od miejsca umiejscowienia użytkownika.

Moduł użytkownika jest interfejsem dla każdej strony (każdego użytkownika), która może wprowadzać decyzję o użyciu swoich środków

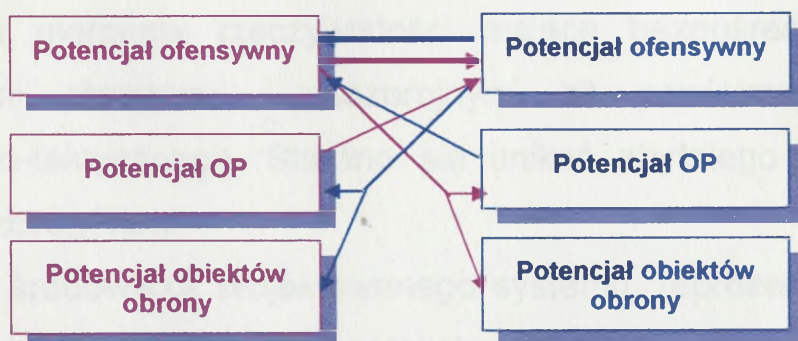
walki. Moduł ten ma łączyć się z modułem symulacji przetwarzającym dane szybkozmiennie i udostępniać je dedykowanym użytkownikom.

Moduł ma pozwolić na:

- ✓ dysponowanie (sterowanie w pełnym zakresie decyzyjnym) wszystkimi dysponowanymi przez daną stronę obiektami elementarnymi;
- ✓ komunikację z dysponowanymi obiektami elementarnymi;
- ✓ pozyskiwanie informacji o stanie i realizowanych zadaniach przez obiekty elementarne będące w dyspozycji;
- ✓ pozyskiwanie informacji o obiektach strony przeciwnej (w ograniczonym zakresie);
- ✓ pozyskiwanie informacji o warunkach i terenie prowadzonych działań;
- ✓ skalowanie odwzorowania sytuacji (zmiana skali);
- ✓ nanoszenie i odzwierciedlanie wszelkich niezbędnych dla użytkownika (strony) stref, rejonów, korytarzy itp.;
- ✓ komunikację tekstową z koordynatorem (modułem symulacji);
- ✓ ponadto koordynator ma możliwość sterowania wszystkimi zasobami grających stron, w tym ich stanem, położeniem, realizowanymi zadaniami, także zmianami ich stanów.

Podczas symulacji odwzorowane są decyzje stron, stany i zdarzenia w aspekcie czasu i przestrzeni oraz skutków fizycznych walki między obiektami zdefiniowanymi w scenariuszu, które umownie można podzielić na potencjały ofensywne, defensywne i obiektów uderzeń walczących stron. Możliwe jest także wprowadzenie w scenariuszu trzeciej strony. Aspekt skutków walki ma charakter losowy, o rozkładach zdeterminowanych parametrami skuteczności walczących środków.

Możliwe relacje walki, jakie mogą zachodzić podczas symulacji ilustruje rys. 2. Zastosowania symulatora do rozwiązania konkretnych problemów dowodzenia należą do grupy metod symulacyjnych przeznaczonych do oceny rezultatów działań bojowych i gier wojennych²². W metodach tych zasadą, jest stochastyczny (losowy)²³ charakter determinowania częściowych wyników działań i bieżące ich uwzględnianie w czasie eksperymentu. Można zaryzykować tezę, że w klasie współczesnych symulatorów działań bojowych - odwzorowujących aspekty skuteczności realizacji zadań przez symulowane środki walki - innych nie ma.



Rys. 2. Relacje oddziaływań potencjałów bojowych w wymiarze powietrznym

Problemy z identyfikacją metod symulacyjnych, odwzorowujących działania bojowe są niemal identyczne jak przy ocenie wiarygodności metod kalkulacyjnych, których istota polega również na operowaniu podczas obliczeń odpowiednimi modelami matematycznymi zjawisk. Wynikają one z praktycznej niedostępności symulowanej rzeczywistości jako wzorca. Omawiane narzędzia wspomaganie z konieczności

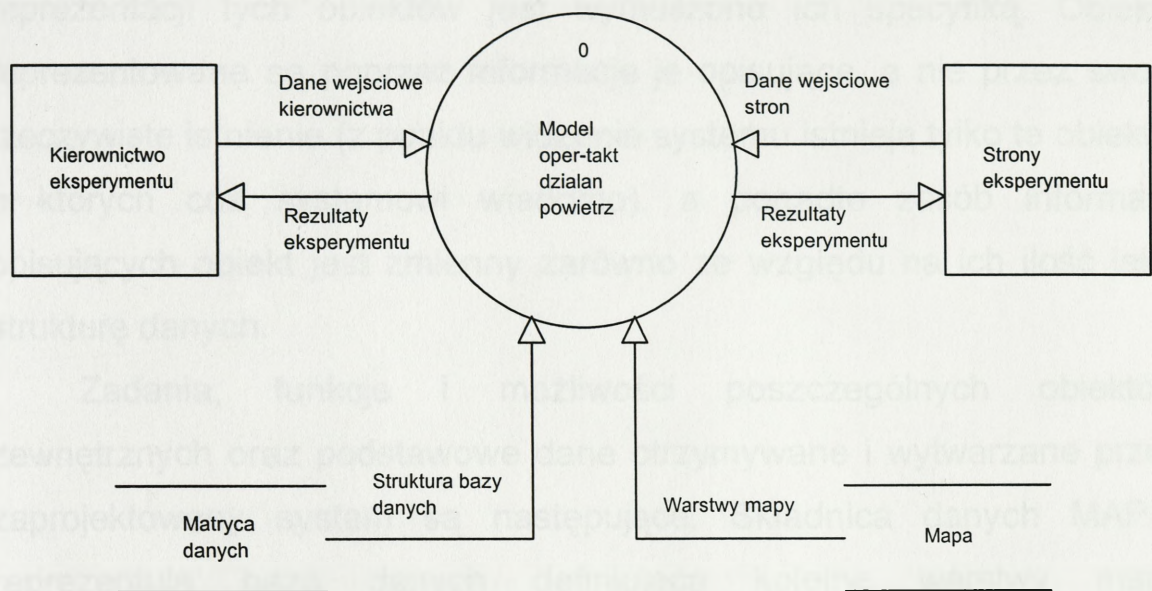
²² Bogate doświadczenia w opracowywaniu symulatorów działań bojowych przekazuje A. Barczak, (Komputerowa gra wojenna ogólnowojskowego związku taktycznego ZN ASG1984, nr.7) i E. Kołodziński (Badanie skuteczności działania systemu obrony powietrznej metoda symulacji cyfrowej, Myśl Wojskowa 1981, nr.7).

²³ Wykorzystują generatory losujące o zaprogramowanych rozkładach prawdopodobieństwa do określenia wyników częściowych w wybranych stanach, momentach czasowych.

uzupełniane są metodami eksperckimi. Mimo tej metodologicznej trudności wymienione rodzaje symulatorów i metody kalkulacyjne są rozwijane i z powodzeniem stosowane nadal w dowodzeniu. Akceptacja tych symulatorów ze strony użytkowników wynika z docenienia praktycznych zalet stosowania tych narzędzi w rozwiązywaniu wielu problemów, których rozwiązania metodami intuicyjnymi okazują się często niewiarygodne i zawodne, a w konsekwencji gorsze, niż te, uzyskane z zastosowaniem metod symulacyjnych.

Przewidując wszechstronne przeznaczenie symulatora operacyjno-taktycznych działań powietrznych, uwzględniono w nim przede wszystkim elementy rzeczywistości mające bezpośredni związek z działaniami zbrojnymi i niezbrojnymi sił powietrznych szczebla operacyjno-taktycznego. Starano się unikać zbytniego przeładowania modelu szczegółami.

Model środowiska projektowanego systemu, reprezentuje graficznie przedstawiony diagram kontekstowy projektowanego systemu informatycznego, realizującego model docelowy symulatora operacyjno-taktycznych działań powietrznych (SOTDP). Na diagramie tym zobrazowane są obiekty zewnętrzne w stosunku do systemu oraz dane przepływające między systemem a tymi obiektami. Poniższy diagram, wraz z opisem znajdujących się na nim elementów, stanowi model środowiska skonstruowanego modelu informatycznego.



Rysunek 3. Diagram kontekstowy symulacyjnego modelu operacyjno-taktycznych działań powietrznych

Z punktu widzenia prowadzenia eksperymentów symulacyjnych w ramach komputerowych gier wojennych istotne znaczenie mają wyróżnione na diagramie kontekstowym dwa obiekty zewnętrzne (terminatory). STRONY EKSPERYMENTU - reprezentują ćwiczące zespoły, korzystające z systemu, natomiast KIEROWNICTWO EKSPERYMENTU – reprezentuje kierownictwo ćwiczenia, administratora modelu oraz koordynatora, korzystających z systemu, ale także mających możliwość ingerowania w sposób funkcjonowania modelu.

Obiekty zewnętrzne dostarczają informacji (lista zdarzeń), która powoduje wykonanie lub zaniechanie wykonania określonych procesów w systemie (główne zachowania procesy na poziomie diagramu zerowego) oraz odbierają informacje będące efektem działania systemu. Podobną rolę pełnią wyróżnione na diagramie kontekstowym zewnętrzne składnice (magazyny) danych. Użycie magazynów danych do

reprezentacji tych obiektów jest wymuszone ich specyfiką. Obiekty reprezentowane są poprzez informacje je opisujące, a nie przez swoje rzeczywiste istnienie (z punktu widzenia systemu istnieją tylko te obiekty, o których coś systemowi wiadomo), a ponadto zasób informacji opisujących obiekt jest zmienny zarówno ze względu na ich ilość jak i strukturę danych.

Zadania, funkcje i możliwości poszczególnych obiektów zewnętrznych oraz podstawowe dane otrzymywane i wytwarzane przez zaprojektowany system są następujące. Składnica danych MAPA, reprezentuje bazę danych definiującą kolejne warstwy mapy elektronicznej. Każda warstwa zawiera reprezentację graficzną ustalonego aspektu sytuacji taktycznej, wyróżnionego rodzajem sił używanych w walce lub parametrami fizycznymi (np. ustalonym przedziałem wysokości). Umieszczenie obiektu MAPA na zewnątrz projektowanego systemu informatycznego, realizującego model laboratoryjny SOTDP - wynika z przyjęcia następujących założeń. Obsługa mapy, rozumiana jako przygotowanie warstwy fizycznej, synchronizacja warstwy fizycznej mapy z kolejnymi warstwami tematycznymi, orientowanie mapy, zmiana skali mapy, odświeżanie zawartości warstw i ich prezentacja jest problemem rozwiązywanym przez oddzielnie skonstruowane oprogramowanie. MAPA może być używana również poza symulatorem.

Strumień danych Warstwy mapy to dane reprezentujące informacje zawarte na warstwach mapy pobierane ze składnicy MAPA, modyfikowane w wyniku zachowań systemu i zapamiętywane w składnicy BAZA DANYCH.

Składnica danych MATRYCA DANYCH reprezentuje bazę danych grupującą informacje aksjomatyczne (niezmienne w trakcie eksperymentu symulacyjnego) dla projektowanego systemu. Baza

danych MATRYCA DANYCH zawiera w istocie strukturę danych, które wprowadzane są do składnicy BAZA DANYCH przed rozpoczęciem eksperymentu. Zapisana w MATRYCA DANYCH struktura danych używanych w eksperymencie dotyczy:

- struktury wojsk;
- platform uzbrojenia i ich parametrów;
- systemów broni i ich parametrów;
- systemów rozpoznania i ich parametrów;
- parametrów charakteryzujących proces prowadzenia ognia;
- parametrów przemieszczania i rozmieszczania jednostek oraz dysponowanych platform uzbrojenia;
- parametrów rozpoznania;
- parametrów zakłóceń;
- parametrów logistycznych.

Natomiast strumień danych STRUKTURA DANYCH to dane stanowiące aksjomaty rzeczywistości, będące podstawą definiowania kontekstu działania modelu. Z kolei obiekt terminalny KIEROWNICTWO EKSPERYMENTU to organizator i koordynator eksperymentu symulacyjnego realizowanego za pomocą symulatora. Odpowiada za całość przygotowania i przeprowadzenia eksperymentu. W pracy związanej z organizacją eksperymentu symulacyjnego wykorzystuje i koordynuje działanie zespołu kierowania ćwiczeniem, administratora modelu (systemu komputerowego), rozjemców. Przy stosowaniu symulatora do badań naukowych, kierownictwo ćwiczenia, administrator modelu i rozjemcy mogą być utożsamiani.

Dane wejściowe kierownictwa to strumień danych niezbędnych do organizacji i koordynacji eksperymentu symulacyjnego realizowanego przez symulator. Dane specyfikujące ramy scenariusza eksperymentu, wyzwalacze (triggery) wariantujące scenariusz, dane sterujące warstwą fizyczną i formalną działania symulatora (format danych wynikowych, konfiguracja stanowisk itp.). Także zapytania kierowane do symulatora. Z kolei REZULTATY EKSPERYMENTU to dane będące efektami działania symulatora na każdym etapie eksperymentu symulacyjnego (w zakresie i formie odpowiedniej do zapytania). Także informacje generowane przez system automatycznie, dotyczące stanu działania systemu, sytuacji uwarunkowanych czasowo a wymagających decyzji kierownictwa itp.

STRONA EKSPERYMENTU to koordynator ćwiczenia, zespoły ćwiczące wraz z zespołami podgrywającymi, reprezentujące strony symulowanego konfliktu, pełniące rolę decydentów w stosunku do zasobów użytych w eksperymencie. Szczebel dowództw i sztabów reprezentowanych w ćwiczeniu zależny będzie od szczebla ćwiczenia, a pośrednio od poziomu szczegółowości scenariusza eksperymentu symulacyjnego. Natomiast Dane wejściowe stron to dane stanowiące wynik procedur decyzyjnych stron ćwiczenia, uściślające wymagania dla scenariusza eksperymentu symulacyjnego. Także zapytania kierowane do symulatora i reakcje na komunikaty generowane przez symulator, a Rezultaty eksperymentu to dane będące efektami działania symulatora na każdym etapie eksperymentu symulacyjnego (w zakresie i formie odpowiedniej do zapytania i uprawnień strony). Także informacje generowane przez system automatycznie, dotyczące stanu działania systemu, sytuacji uwarunkowanych czasowo, a wymagających decyzji strony itp. Zakres udostępnianych informacji zależny będzie od przydzielonego poziomu uprawnień dla osoby funkcyjnej strony.

2.2 Obiekty elementarne

Obiekty elementarne odwzorowano w modelu zachowując warunek adekwatności i szczegółowości odwzorowania szczebla operacyjno-taktycznego, na jakim toczy się w *Symulatorze* trójstronna komputerowa gra wojenna lub dla potrzeb eksperymentu symulacyjnego odwzorowywane (symulowane) są działania sił powietrznych i wybranych elementów wojsk lądowych. Obiektami elementarnymi w modelu są:

- ◆ środek napadu powietrznego [samolot (myśliwski, bombowy, rozpoznawczy, transportowy, tankowania, śmigłowiec), grupa samolotów, manewrująca lub ich zgrupowanie];
- ◆ środek przeciwlotniczy (zestaw, pododdział, oddział);
- ◆ stacja radiolokacyjna (posterunek);
- ◆ lotnisko (lądowisko, drogowy odcinek lotniskowy);
- ◆ naziemny środek zakłócający;
- ◆ lotnicze środki rażenia (LŚR) (bomba, rakieta P-Z, i P-P, zasobnik paliwowy, zasobnik rozpoznawczy, zasobnik zakłócający);
- ◆ pozostałe obiekty naziemne (nawodne) mogące być przedmiotem ataku lotnictwa i obrony powietrznej;
- ◆ środek rozpoznania naziemnego;
- ◆ naziemne jednostki transportowe (MPS, LŚR, środków materiałowych);

Każdy z wymienionych obiektów opisany jest wieloma parametrami, charakteryzującymi jego możliwości taktyczno-techniczne.

Parametry te podzielono umownie na:

- ◆ parametry identyfikujące obiekt;
- ◆ parametry specyficzne dla każdego obiektu;
- ◆ parametry manewrowe;
- ◆ parametry potencjału bojowego.

2.3 Zakres odzwierciedlanych decyzji stron

W prowadzonych na symulatorze eksperymentach symulacyjnych decyzje ćwiczących stron są odzwierciedlane w ograniczonym zakresie. Zabieg ten pozwala skupić uwagę uczestników gry (badacza) na odzwierciedleniu tylko decyzji istotnych z punktu widzenia przeznaczenia *Symulatora*. Strony uczestniczące w grze mogą być uprawnione do dysponowania posiadanymi obiektami elementarnymi wyłącznie w zakresie możliwości tych obiektów, przypisanych na poziomie scenariusza. Wykorzystywane dla potrzeb eksperymentu strony A, B i C posiadają uprawnienia decyzyjne w następującym zakresie.

W stosunku do samolotów (grupy):

- ◆ Określenie strefy dyżurowania (wyczekiwania) w zakresie:
 - ✓ umiejscowienie przestrzenne (obszar, wysokość);
 - ✓ czasu przebywania w strefie.
- ◆ Wskazanie naziemnego (nawodnego) obiektu (ów) uderzeń w zakresie:
 - ✓ obiekt (ty) uderzenia;
 - ✓ środek (ki) rażenia;
 - ✓ trasa dolotu (punkty zwrotne, wysokość);
 - ✓ lotnisko docelowe po wykonaniu zadania;
 - ✓ czas rozpoczęcia realizacji zadania.
- ◆ Wskazanie powietrznego obiektu (ów) do zniszczenia w zakresie:
 - ✓ cel (e) powietrzny do zniszczenia;
 - ✓ środek (ki) rażenia.
- ◆ Zmiana realizowanego zadania w zakresie:
 - ✓ w pełnym zakresie zadań wymienionych powyżej;
 - ✓ wysokość samolotu (ów).
- ◆ Zgrupowanie samolotów w jedną grupę.

- ◆ Rozgrupowanie grupy samolotów.
- ◆ Tankowanie w strefie.
- ◆ Przebrojenie.
- ◆ Przekazanie na inne lotnisko.
- ◆ Samotankowanie w stosunku do tankowców.
- ◆ Realizowanie rozpoznania obiektów naziemnych i powietrznych po wyznaczonej trasie (w wyznaczonej strefie)
- ◆ Samodzielne poszukiwanie i zwalczanie celów naziemnych i powietrznych

W stosunku do środka (ów) przeciwlotniczego:

- ◆ Przemieszczenie w określone miejsce;
- ◆ Zezwolenie na prowadzenie ognia;
- ◆ Zakaz prowadzenia ognia;
- ◆ Liczba rakiet w salwie;
- ◆ Wybór dyrektywy prowadzenia ognia:
 - ✓ do najbliższego;
 - ✓ do zbiorowych;
 - ✓ do wskazanych;
 - ✓ do najniższych.

W stosunku do stacji RLS (posterunków):

- ◆ Przemieszczenie w określone miejsce;
- ◆ Włączenie stacji;
- ◆ Wyłączenie stacji.

W stosunku do pozostałych obiektów:

- ◆ Przemieszczenie w określone miejsce.

W stosunku do jednostki transportowej:

- ◆ Załadowanie określonego rodzaju i wagomiaru (objętości) ładunku;
- ◆ Przemieszczenie w określone miejsce;
- ◆ Rozładowanie

W stosunku do naziemnego środka rozpoznawczego:

- ◆ Przemieszczenie w określone miejsce;
- ◆ Włączenie środka;
- ◆ Wyłączenie środka.

Zdecydowanie większy zakres uprawnień decyzyjnych posiada Koordynator. Ponad wymienione uprawnienia upoważniony on jest również do:

- ◆ dysponowania obiektami strony neutralnej;
- ◆ dokonywania zmian stanów wszystkich obiektów odzwierciedlanych w grze;
- ◆ zmian posiadanych zasobów (liczby dysponowanych obiektów elementarnych oraz środków walki) przez wszystkich uczestników gry.

2.4 Odzwierciedlane stany i zdarzenia

W symulatorze odzwierciedlane są tylko te zdarzenia, które wywierają wpływ na zachowanie realizmu modelu symulacyjnego w odniesieniu do symulowanego, operacyjno-taktycznego szczebla działań sił powietrznych i wybranych elementów wojsk lądowych. W rezultacie w *Symulatorze* odwzorowywane są następujące stany i zdarzenia.

Zdarzenia związane z samolotem (grupa):

Samolot może znajdować się w następujących położeniach i stanach:

a) Sprawny:

- ◆ na lotnisku (gotowy do działań, uszkodzony, tankowany, uzbrajany, kołuje, rozbrajany);
- ◆ w strefie (wyczekuje wykonując lot w strefie na zadanej wysokości, zużywa zasoby paliwa);
- ◆ wykonuje zadanie (prowadzi rozpoznanie - zarówno obiektów powietrznych jak i naziemnych, jest tankowany, atakuje obiekty naziemne lub nawodne, atakuje cele powietrzne, wykonuje lot po zadanej trasie, zużywa zasoby paliwa, zużywa posiadane LŚR, tankuje inne samoloty);
- ◆ realizuje dołot do rubieży ataku (zużywa zasoby paliwa);
- ◆ realizuje dołot do lotniska docelowego po wykonaniu zadania (zużywa zasoby paliwa);
- ◆ po wyczerpaniu posiadanych zasobów paliwa ulega rozbiciu.

b) Zniszczony:

- ◆ na lotnisku (w wyniku ataku lotnictwa przeciwnika);
- ◆ w powietrzu (w wyniku trafienia przez środek przeciwlotniczy lub samolot przeciwnika lub wyczerpania zasobów paliwa).

Zdarzenia związane ze środkiem przeciwlotniczym:

Środek przeciwlotniczy może znajdować się w jednym ze stanów:

- ✓ na stanowisku (sprawny, obezwładniony, zniszczony);
- ✓ w marszu.

a) Na stanowisku:

- ◆ Sprawny:
 - ✓ w gotowości bojowej i posiada zezwolenie do prowadzenia ognia (oczekuje na pojawienie się celów powietrznych, dokonuje wyboru celu do ostrzelania według dyrektyw decyzyjnych, realizuje strzelanie, zmniejsza zasoby rakiet wraz z ich zużyciem, odtwarza utracony potencjał bojowy);

✓ w gotowości bojowej i obowiązuje zakaz prowadzenia ognia (w pełni gotowy, nie prowadzi strzelania, odtwarza utracony potencjał bojowy);

✓ rozwija się (po wykonanym przemieszczeniu);

✓ zwija się (do wykonania przemieszczenia);

✓ osiąga gotowość (po zezwoleniu na prowadzenie ognia).

◆ Obezwładniony:

✓ odtwarza zdolność bojową, aż do jej osiągnięcia – przechodząc w stan gotowości;

◆ Zniszczony: bezpowrotnie eliminowany z gry.

b) W marszu: przemieszcza się w nakazane miejsce.

Zdarzenia związane ze stacjami RLS:

Stacja RLS (posterunek) może znajdować się w jednym ze stanów:

✓ na stanowisku (sprawna, obezwładniona, zniszczona);

✓ w marszu.

a) Na stanowisku:

◆ Sprawna:

✓ w gotowości bojowej i posiada zezwolenie pracy bojowej (oczekuje na pojawienie się obiektów powietrznych, odtwarza utracony potencjał bojowy);

✓ w gotowości bojowej i nie obowiązuje praca bojowa (w pełni gotowa, lecz nie prowadzi rozpoznania, odtwarza utracony potencjał bojowy);

✓ rozwija się (po wykonanym przemieszczeniu);

✓ zwija się (do wykonania przemieszczenia);

✓ osiąga gotowość (po zezwoleniu na pracę bojową).

◆ Obezwładniona:

✓ odtwarza zdolność bojową, aż do jej osiągnięcia – przechodząc w stan gotowości;

◆ Zniszczona: bezpowrotnie eliminowana z gry.

b) W marszu: przemieszcza się w nakazane miejsce.

Zdarzenia związane z lotniskiem:

Stan każdego lotniska związany jest z czterema jego elementami: zasobami MPS i sprawnością tankowania samolotów, zasobami LŚR i sprawnością uzbrajania samolotów, sprawnością pasa startowego, samolotami stacjonującymi na lotnisku. Każda z wymienionych grup obiektów może znajdować się niezależnie od siebie w następującym położeniu:

✓ Sprawna (są zasoby, służby są sprawne w uzbrajaniu i tankowaniu samolotów, można korzystać z pasa startowego, samoloty są sprawne). Wraz z tankowaniem i uzbrajaniem samolotów zużywane są zasoby lotniska, aż do ich wyczerpania. Samoloty odtwarzają zdolność bojową i oczekują (wykonują) na zadanie.

✓ Uszkodzona (obezwładniona) na określony czas.

Zdarzenia związane z pozostałymi obiektami:

Każdy pozostały obiekt może znajdować się w jednym ze stanów:

✓ na stanowisku, w rejonie, w określonym miejscu (sprawny, obezwładniony, zniszczony);

✓ w marszu (dotyczy tylko obiektów manewrowych).

a) Na stanowisku:

◆ Sprawny:

✓ Realizuje swoje zadania i odtwarza utracony potencjał bojowy;

✓ rozwija się (po wykonanym przemieszczeniu);

✓ zwija się (do wykonania przemieszczenia).

- ◆ Obezwładniony: odtwarza zdolność bojową, aż do jej osiągnięcia – przechodząc w stan gotowości.

- ◆ Zniszczony: bezpowrotnie eliminowany z gry.

b) W marszu: przemieszcza się w nakazane miejsce.

Zdarzenia związane z naziemnymi środkami rozpoznania:

Naziemny środek rozpoznania może znajdować się w jednym ze

stanów:

- ✓ na stanowisku (sprawny, obezwładniony, zniszczony);

- ✓ w marszu.

a) Na stanowisku:

- ◆ Sprawny:

- ✓ w gotowości bojowej, nie posiada zezwolenia pracy bojowej (odtwarza utracony potencjał bojowy);

- ✓ w gotowości bojowej i obowiązuje praca bojowa (w pełni gotowa, prowadzi rozpoznanie, odtwarza utracony potencjał bojowy);

- ✓ rozwija się (po wykonanym przemieszczeniu);

- ✓ zwija się (do wykonania przemieszczenia);

- ✓ osiąga gotowość (po zezwoleniu na pracę bojową).

- ◆ Obezwładniony:

- ✓ odtwarza zdolność bojową, aż do jej osiągnięcia – przechodząc w stan gotowości;

- ◆ Zniszczony: bezpowrotnie eliminowany z gry.

b) W marszu: przemieszcza się w nakazane miejsce.

c)

Zdarzenia związane z LŚR (zasobniki paliwa i rozpoznawcze):

LŚR mogą znajdować się:

- ✓ w składach na lotnisku;

- ✓ na zaczepie samolotu (po uzbrojeniu);

✓ wykonywać do lot do atakowanego celu w trakcie ataku (dotyczy rakiet P-P i P-Z).

Zdarzenia związane z naziemnymi jednostkami transportowymi:

Każda naziemna jednostka transportowa może znajdować się w jednym ze stanów:

✓ w określonym miejscu (rejonie) (sprawna, obezwładniona, zniszczona);

✓ w marszu.

a) Na stanowisku:

◆ Sprawna:

✓ odtwarza utracony potencjał bojowy;

✓ rozwija się (po wykonanym przemieszczeniu);

✓ zwija się (do wykonania przemieszczenia);

✓ ładuje środki materiałowe (MPS, LŚR);

✓ rozładowuje środki materiałowe (MPS, LŚR).

◆ Obezwładniona: odtwarza zdolność bojową, aż do jej osiągnięcia – przechodząc w stan gotowości.

◆ Zniszczona: bezpowrotnie eliminowana z gry.

b) W marszu: przemieszcza się w nakazane miejsce.

Swoistą gwarancję poprawności badań prowadzonych nad systemem działania stanowi przyjęta dla potrzeb *Symulatora* metodyka modelowania funkcji odwzorowywanych w *Symulatorze*. W założeniach modelowania zadeklarowano, że model systemu informatycznego SOTDP, obok cechy abstrakcji, będzie charakteryzowała dekompozycja. Jednocześnie przyjęto zobowiązanie metodyczne, co do wykonania pełnej specyfikacji funkcji systemu – od funkcji głównych do tych najprostszyc. Przypomniane atrybuty pozwoliły na poprawne

skonstruowanie hierarchii funkcji, jako części projektu logicznego systemu informatycznego.

Wskazuje się, że do rozwiązywania problemów dowodzenia należą do grupy metod symulacyjnych przeznaczonych do oceny rezultatów działań bojowych i gier wojennych²⁴. W metodach tych zasadą jest stochastyczny (losowy)²⁵ charakter determinowania cząstkowych wyników działań i braku ich uwzględniania w czasie eksperymentu. Można zaryzykować tezę, że w klasie współczesnych symulatorów działań bojowych - odwzorowujących aspekty skuteczności realizacji zadań przez symulowane środki walki - innych nie ma.

Problemy z identyfikacją metod symulacyjnych, odwzorowujących działania bojowe są niemal identyczne jak przy ocenie wiarygodności metod kalkulacyjnych, których istota polega również na operowaniu podczas obliczeń odpowiednimi modelami matematycznymi zjawisk. Wynikają one z praktycznej niedostępności symulowania rzeczywistości jako wzorca. Omawiane narzędzia wspomagania z wykorzystaniem uzupełniane są metodami eksperckimi. Mimo tej matematycznej trudności wymienione rodzaje symulatorów i metody kalkulacyjne są rozwijane i z powodzeniem stosowane nadal w dowodzeniu. Akceptacja tych symulatorów ze strony użytkowników wynika z ocenionej praktycznej zalety stosowania tych narzędzi w rozwiązywaniu wielu problemów, których rozwiązania metodami intuicyjnymi okazują się często niewiarygodne i zawodne, a w konsekwencji gorzej, niż te, uzyskane z zastosowaniem metod symulacyjnych.

²⁴ Bogate doświadczenia w obrabowywaniu symulatorów działań bojowych przekazuje A. Barczak - Komputeryzacja wojny - wykład wygłoszony na zjeździe taktycznym ZN ABG 1984, nr 7 i E. Kotłowski - Badania operacyjne i planowanie systemu obrony powietrznej metodą symulacji dynamicznej - "Zeszyty" 1981, nr 7.

²⁵ Wykorzystuje generatory losowe o zaprogramowanych sposobach kodowania i szkodliwych do określenia wyników cząstkowych w wybranych stanach, momentach czasowych.

3 Symulacyjny model w dowodzeniu

Zastosowania symulatora do rozwiązania problemów dowodzenia należą do grupy metod symulacyjnych przeznaczonych do oceny rezultatów działań bojowych i gier wojennych²⁴. W metodach tych zasadą, jest stochastyczny (losowy)²⁵ charakter determinowania częściowych wyników działań i bieżące ich uwzględnianie w czasie eksperymentu. Można zaryzykować tezę, że w klasie współczesnych symulatorów działań bojowych - odwzorowujących aspekty skuteczności realizacji zadań przez symulowane środki walki - innych nie ma.

Problemy z identyfikacją metod symulacyjnych, odwzorowujących działania bojowe są niemal identyczne jak przy ocenie wiarygodności metod kalkulacyjnych, których istota polega również na operowaniu podczas obliczeń odpowiednimi modelami matematycznymi zjawisk. Wynikają one z praktycznej niedostępności symulowanej rzeczywistości jako wzorca. Omawiane narzędzia wspomaganie z konieczności uzupełniane są metodami eksperckimi. Mimo tej metodologicznej trudności wymienione rodzaje symulatorów i metody kalkulacyjne są rozwijane i z powodzeniem stosowane nadal w dowodzeniu. Akceptacja tych symulatorów ze strony użytkowników wynika z docenienia praktycznych zalet stosowania tych narzędzi w rozwiązywaniu wielu problemów, których rozwiązania metodami intuicyjnymi okazują się często niewiarygodne i zawodne, a w konsekwencji gorsze, niż te, uzyskane z zastosowaniem metod symulacyjnych.

²⁴ Bogate doświadczenia w opracowywaniu symulatorów działań bojowych przekazuje A. Barczak, (Komputerowa gra wojenna ogólnowojskowego związku taktycznego ZN ASG1984, nr.7) i E. Kołodziński (Badanie skuteczności działania systemu obrony powietrznej metoda symulacji cyfrowej, Myśl Wojskowa 1981, nr.7).

²⁵ Wykorzystują generatory losujące o zaprogramowanych rozkładach prawdopodobieństwa do określenia wyników częściowych w wybranych stanach, momentach czasowych.

W czasie kryzysu, a przede wszystkim podczas wojny siły powietrzne realizować będą zadania, do których zostały powołane, z reguły w skomplikowanych uwarunkowaniach, wynikających z dynamicznych zmian sytuacji operacyjnej i taktycznej i często losowego charakteru zjawisk determinujących owe zmiany. Stwarza to dowódcom odpowiedzialnym za ich użycie oczywisty dyskomfort, polegający na konieczności podejmowania trafnych decyzji w sytuacjach niepewności i ryzyka pod presją chronicznego deficytu czasu. Przedmiotem decydowania będą warianty rozwiązań konkretnych problemów decyzyjnych, leżących zazwyczaj w gestii uprawnień danego decydenta, przy czym losowy charakter uwarunkowań powodować będzie swoistą niepowtarzalność sytuacji decyzyjnych.

Przyczyn występowania niepewności w sytuacjach decyzyjnych trzeba upatrywać w niezaspokojeniu potrzeb informacyjnych decydenta. Musi on wypełnić lukę informacyjną poprzez postawienie trafnych przypuszczeń, co do treści brakujących informacji (np. o rozmieszczeniu nierozpoznanych elementów ugrupowania przeciwnika).

Bardzo ważnym wyróżnikiem tych sytuacji jest także to, że są to w istocie sytuacje posiadające charakter gry, w których decydent nie w pełni kontroluje proces ich kształtowania się. Jest on poniekąd jednym z uczestników „gry”, który musi stawiać hipotezy dotyczące pewnych elementów nie tylko bieżącej, ale i przyszłej (pożądaney) sytuacji (np. o strategii działania przeciwnika, czy też rezultatach wdrożenia własnych decyzji).

Naturalną metodą wspomagania decydentów w sytuacjach decyzyjnych, o zasygnalizowanych wyżej cechach, wydaje się być metoda symulacyjna, polegająca na planowaniu i prowadzeniu eksperymentów z wykorzystaniem modeli pewnych fragmentów

rzeczywistości, w celu uzyskania wyników, które po opracowaniu zmniejszają deficyt informacji cechujący daną sytuację decyzyjną.

Rozwój techniki, zwłaszcza komputerowej i metod modelowania zjawisk zachodzących na polu walki tworzy możliwości praktycznego stosowania metody symulacyjnej do analizowania ewentualnych skutków zamierzonych decyzji, a to pozwala docenić - nie do końca jeszcze zbadane - zalety tej metody.

Sami dowódcy podczas eksperymentów symulacyjnych z zastosowaniem doskonalszych symulatorów działań bojowych, mogą często stwierdzić, że ich prognozy o rozwoju symulowanej sytuacji operacyjnej i taktycznej, oparte na osobistej wiedzy, intuicji i wyobraźni, w konfrontacji z wynikami symulacji nie zawsze są zgodne, a uzyskane wyniki jak i obserwowane procesy podczas symulacji otwierają nowe horyzonty i ukazują zaskakujące możliwości rozwoju realnej sytuacji. Ta zaleta eksperymentowania na modelach rzeczywistości bez konieczności ponoszenia rzeczywistego ryzyka przegranej i kosztów poniesienia realnych strat staje się szczególnie atrakcyjna w zastosowaniu na potrzeby dowodzenia.

Udaną próbą wyjścia naprzeciw potrzebom dowódców, zwłaszcza taktycznych szczebli dowodzenia Sił Powietrznych RP jest opracowany w AON symulator operacyjno-taktycznych działań powietrznych, opracowany przez zespół autorski kierowany przez płk. dr. hab. Bogdana Zdrodowskiego, zwany tu również zamiennie symulatorem. Użytkowanie symulatora podczas licznych ćwiczeń dowódczo-sztabowych w Wydziale Lotnictwa i Obrony Powietrznej AON wykazało potrzebę podjęcia badań w celu zidentyfikowania możliwych zastosowań symulatora.

W poszukiwaniu zastosowań symulatora, który jest w istocie symulatorem pola walki w wymiarze przede wszystkim powietrznym,

można założyć, że właśnie szczebel taktyczny (odpowiedzialny za programowanie działań sił powietrznych), a także, co najwyżej w stosunku do niego szczebel nadrzędny, w którego gestii jest sprecyzowanie celu tych działań, powinny być potencjalnymi jego użytkownikami. Przesądza o tym charakter informacji wejściowej potrzebnej do uruchomienia symulacji, swym zakresem odpowiadający treści zadań bojowych stawianych wykonawcom (podległym jednostkom sił powietrznych).

Założono, że symulator może być potencjalnie stosowany do rozwiązywania tych problemów, których istotą jest brak informacji o skutkach bojowego użycia (działania) podsystemów rozpoznania i aktywnych środków walki SP.

3.1 Operacyjny poziom dowodzenia

Zastosowanie skonstruowanego symulatora w planowaniu na szczeblu operacyjnym sił powietrznych, podczas planowania perspektywicznego wydaje się być szczególnie potrzebne w procesie identyfikacji elementów ogólnej koncepcji działań, a zwłaszcza silnych i słabych stron własnych sił powietrznych i przeciwnika oraz czynników wariantowania.

Drugim nurtem zastosowań jest identyfikacja wybranych norm taktycznych i operacyjnych niezbędnych do dokonywania podziału wysiłku (np. Allocation) czy też sformułowania PTL na okres obowiązywania planowanej AOD.

3.1.1 Identyfikacja elementów ogólnej koncepcji działań i czynników wariantowania

Zastosowanie metody symulacji w identyfikacji elementów koncepcji działań oraz czynników wariantowania należy do tych zakresów zastosowań symulatora, w których inwencja i osobiste

potrzeby użytkownika decydować będą zasadniczo o przydatności symulatora jak również o zakresie i sposobie jego zastosowania. Istotą stosowania symulatora do wspomagania rozwiązywania problemów tego rodzaju jest zmniejszanie obszarów niepewności decydenta wynikających z jego niedoskonałych umiejętności prognozowania rozwoju sytuacji operacyjnej i taktycznej.

Każde rozegranie eksperymentu symulacyjnego według scenariusza oddającego rzeczywistą sytuację operacyjną i przewidywaną - taktyczną ułatwia decydentowi odnalezienie racjonalnej koncepcji działań, choćby z tego powodu, że jego zrozumienie istoty własnego położenia staje się niewątpliwie pełniejsze.

Ważna dla naszych rozważań jest odpowiedź na pytanie: z czego wynika potrzeba wariantowania? Jej źródłem jest brak jednoznacznego przekonania decydenta co do tego, czy też innego sposobu wykonania zadania w momencie jego otrzymania. Po to wariantuje się sposoby wykonania zadania, aby „zyskać na czasie” dokonać bardziej wnikliwej analizy po rozważeniu szeregu okoliczności i uwarunkowań jakie towarzyszą tym sposobom, uszczegółowionym do formy wariantu skonfrontowanego z wariantem działań przeciwnika. Nie ulega wątpliwości, że znajomość silnych i słabych stron własnych i przeciwnika ułatwia podejmowanie trafnych decyzji. Ponadto minimalizowanie obszarów niepewności, co do prawdopodobnego rozwoju sytuacji zmniejsza liczbę czynników wariantowania.

Można założyć, że zasadnicze elementy bieżącej sytuacji operacyjno-taktycznej będą odwzorowane za pomocą aktualizowanego w miarę potrzeb scenariusza, zawierającego: informację o przeciwniku znane z rozpoznania i będące wynikiem jego oceny oraz szeroko

rozumiane położenie sił własnych. Ułatwia to szybką modyfikację scenariusza do potrzeb celowego eksperymentowania.

Symulator zaleca się tu stosować do uwiarygodniania hipotez wątpliwych. Dla przykładu, założmy, że decydent ma wątpliwość jak wyznaczyć obiekty uderzeń (PTL) na kolejną dobę działań. Założmy ponadto, że w jego świadomości rysują się dwie hipotezy wzajemnie równoważne w danej chwili lub o niewielkim stopniu dominacji jednej nad drugą, wynikającej z bliżej nieuświadomionych, subiektywnych preferencji. Pierwsza wskazuje na zasadność uderzeń na obiekty systemu C3I (system rozpoznania), druga - na potrzebę blokowania baz lotniczych. Obie grupy obiektów postrzegane są w danej chwili jako silne strony przeciwnika.

Uwiarygodnienie jednej z tych hipotez jest możliwe z zastosowaniem skonstruowanego symulatora według niżej wyjaśnionych zasad takich, jak zasada:

- ✓ zmiany pojedynczego czynnika;
- ✓ jawności zamiarów stron;
- ✓ eliminacji rzadkiego przypadku;
- ✓ odwzorowania ograniczonych relacji.

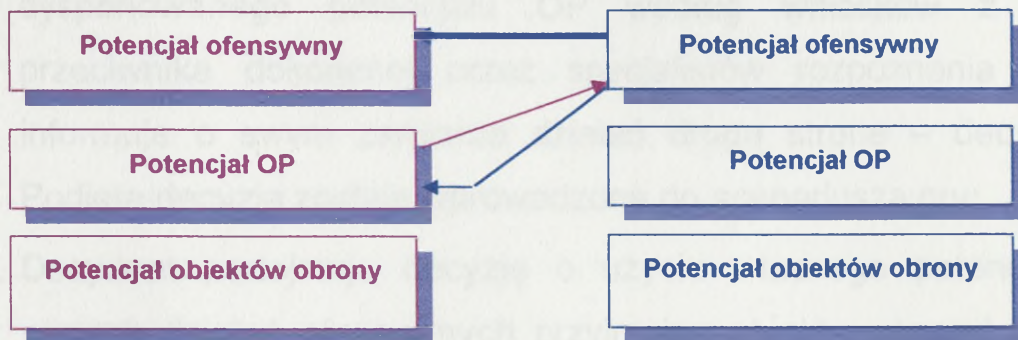
Ponieważ antycypowana będzie sytuacja, która zaistnieje nie wcześniej niż za dwie doby, pojawiają się oczywiste problemy oceny przeciwnika i konieczność podjęcia domyślnych decyzji za wszystkie szczeble taktyczne dowodzenia.

Pewną metodą obejścia niejako niektórych z tych trudności może być dwukrotne rozegranie symulacyjnej gry pomiędzy stroną decydenta, a stroną przeciwną - reprezentowaną przez zespół np. oficera rozpoznawczego - z wykorzystaniem stanowisk dedykowanych. W tego typu doświadczeniach konieczne jest przestrzeganie żelaznej zasady

zmiany tylko jednego czynnika decyzji w kolejnych grach. Wówczas strony konfliktu podejmują decyzje, przy czym strona decydenta w pierwszej grze podejmuje decyzję w myśl hipotezy 1, a w drugiej zgodnie z pozostałą hipotezą. Porównanie wyników gry pozwala wnioskować o ewentualnej dominacji jednej nad drugą. Wnioskowanie to jednak może być obarczone dużymi błędami wynikającymi z zakłóceń wprowadzanych przez nietrafne decyzje wykonawcze. Dlatego też postuluje się w takich sytuacjach, aby strony przedstawiły przed grą swoje zamiary i dokonały ich ewentualnej jawnej korekty zgodnie z zasadą jawności zamiarów stron. Powstanie wówczas sytuacja podobna do tej, w której obie strony prawidłowo oceniły przeciwnika. Ponadto pewnym kolejnym zafałszowaniem wyniku może być losowy charakter symulowanych zdarzeń – wyników uderzeń, wyników pojedynków itp. Z tego powodu konieczna jest analiza stanów pewnych etapów symulacji i w wątpliwych wypadkach np. przy zajściu zdarzenia mało prawdopodobnego powtórzenie eksperymentu, zgodnie z zasadą eliminacji rzadkiego przypadku²⁶.

Dla uproszczenia i przyspieszenia analizy, w grze w naszym przykładzie konfrontujemy tylko OP przeciwnika z naszym potencjałem ofensywnym. Skutki walki w relacjach: własna OP – potencjał ofensywny przeciwnika przyjmujemy do własnego scenariusza jako oczekiwane, zgodnie z zasadą ograniczonego odwzorowania relacji. Ilustruje to rys. 4.

²⁶ Zasada ta jest wskazuje na sposób niejako obejścia konieczności statystycznego opracowania wyników ciągu eksperymentów symulacyjnych.



Rys. 4. Relacje oddziaływań potencjałów bojowych w wymiarze powietrznym w przykładzie

Szacuje się, że nawet dla mało skomplikowanej sytuacji operacyjnej uzyskanie rozwiązań praktycznych wymagać może od kilku do kilkunastu godzin na prowadzenie badań. Dlatego omawiane zastosowanie może mieć praktyczne znaczenie w okresie planowania prognostycznego, w którym uwarunkowania czasowe mogą na to pozwolić. O potrzebie zastosowań symulatora w tych celach decydować będzie subiektywna potrzeba decydentów, w tej sytuacji trudno więc oceniać przydatność symulatora.

Dla przeprowadzenia weryfikacji hipotez z opisywanego wyżej przykładu można zastosować następujący algorytm postępowania podczas dwustronnej gry decyzyjnej:

1. Wytypowanie kryteriów i danych wyjściowych eksperymentów symulacyjnych służących do sformułowania oceny wartości operacyjnej skutków wdrożenia hipotez, opracowanie metody oceny²⁷.
2. Określenie czasu gry, składu uczestników gry i rodzaju stanowisk dedykowanych wykorzystywanych w eksperymencie.

²⁷ Np. określenie funkcji kryterium, skali ocen, sposobu przyporządkowania wartości ze skali ocen wynikom pomiaru rezultatów działań.

3. Strona grająca rolę OP przeciwnika podejmuje decyzję o użyciu dysponowanego potencjału OP według wniosków z oceny przeciwnika dokonanej przez specjalistów rozpoznania (A2) i informuje o swym zamiarze działań drugą stronę – decydenta. Podjęta decyzja zostaje wprowadzona do scenariusza gry;
4. Decydent podejmuje decyzję o użyciu własnego potencjału w ramach działań ofensywnych przyjmując obiekty uderzeń w myśl hipotezy 1 i informuje o swym zamiarze stronę przeciwną. Podjęta decyzja zostaje wprowadzona do scenariusza gry.
5. Uruchomienie i prowadzenie gry oraz archiwizacja wytypowanych wyników gry.
6. Analiza przebiegu eksperymentu w celu identyfikacji i wyeliminowania „rzadkiego przypadku”. W wypadku stwierdzenia zaistnienia takiego zdarzenia (np., niekorzystny wynik walki powietrznej mimo małego prawdopodobieństwa jej przegrania) powtórzenie eksperymentu od momentu poprzedzającego zidentyfikowane zdarzenie. W wypadku przeciwnym dokonanie oceny wyników wdrożenia hipotezy 1 według założonej metody;
7. Powtórzenie dla hipotezy 2 sekwencji czynności z punktów:4, 5, 6;
8. Porównanie wyników oceny, eliminacja czynnika wariantowania, którego dotyczyły hipotezy 1 i 2,

3.1.2 Identyfikacja wybranych norm operacyjnych

W konkretnej sytuacji taktycznej, gdy możemy wnioskować o składzie, uzbrojeniu i jego parametrach grup taktycznego przeznaczenia - do walki z naziemnymi środkami OP, a w tym z ugrupowaniem wojsk raketowych - tzw. grupami SEAD, zachodzi potrzeba stwierdzenia, jaka powinna być gęstość poszczególnych typów przeciwlotniczych zestawów

rakietowych (PZR), aby zapewnić akceptowalną żywotność ugrupowania i jego skuteczność w tej walce.

Problemem dualnym, występującym podczas planowania działań ofensywnych SP jest taki dobór potencjału grup SAED, aby zapewnić pożądaną skuteczność pokonania wojsk rakietowych ewentualnego przeciwnika ugrupowanych w określonym rejonie odpowiedzialności (MEZ) przez własne lotnictwo.

Kryteria akceptowalnej żywotności i skuteczności są niezbędne do sformułowania sądu o wystarczającej sile ugrupowania wojsk rakietowych tworzących MEZ (lub potrzebnej sile grupy SEAD do pokonania ugrupowania wojsk rakietowych).

Ogólny sposób postępowania dla oceny potencjału MEZ może być następujący:

Etap przygotowania eksperymentu

1. Określamy kryterium wartości MEZ o danym składzie. Może to być np. $K=f(\text{strat własnych, strat przeciwnika, gdzie straty własne mogą być funkcją strat poniesionych w różnych typach PZR}^{28})$.
2. Określamy rejon, w którym istnieją pożądane warunki terenowe;
3. Określamy wymiary MEZ i przyjmujemy jego skład taki, jak w normie ostatnio używanej;
4. Wprowadzamy (jeśli nie dysponujemy scenariuszem) parametry obiektów ze składu MEZ;
5. W określonym rejonie w granicach MEZ wyszukujemy dominujące wniesienia i rozpoczynając od PZR o największym zasięgu (określonym dla wysokości lotu grupy SEAD) programujemy ich rozmieszczenie w terenie tak, aby uzyskać jak najlepsze parametry

²⁸ Różnym typom PZR można przyporządkować wagi odpowiadające ich potencjałom bojowym i straty ogólne potraktować jako średnią ważoną.

systemu ognia zgodnie z zasadą podanymi w podrozdziale 2.6. Możemy ponadto wobec braku zdefiniowanego kierunku nalotu starać się zapewnić równomierność systemu ognia. Wydaje się to być uzasadnione, gdyż w wypadku realnym, w wyniku pogłębionych ocen przeciwnika i zastosowania zasady koncentracji wysiłku można uzyskać efekt lepszy niż określana norma. Należy wspomnieć, że chociaż programowanie ugrupowania jest w istocie heurystyką to jednak, jak pokazuje praktyka realizacji tej czynności, zadawalające efekty można uzyskać dla przeciętnego MEZ (w sile wzmocnionej BR OP) w kilka minut nawet dla terenu o dużym pofałdowaniu rzeźby (np. Jura Krakowsko-Częstochowska).

6. Oceniamy możliwości wykrycia przeciwnika przez każdą ze stron i takie im deklarujemy w opisie obiektów.
7. Deklarujemy parametry obiektów ze składu SEAD.
8. Stawiamy obu stronom zadania zwalczania wykrytych obiektów bez ograniczeń.

Etap prowadzenia eksperymentu

9. Dokonujemy uruchomienia symulacji (startu grupy SEAD po założonej trasie przechodzącej przez MEZ). Wielokrotnie uruchamiamy symulację jednego scenariusza w trybie przyspieszonym i notujemy jej wyniki, obliczając wartości przeciętne rezultatów dla obu stron uznanych za kryteria (np. na podstawie przeciętnych strat własnych i strat przeciwnika można wnioskować o tym czy siły stanowiące MEZ są w stanie wykonać zadanie z określoną akceptowalną skutecznością). Obliczamy liczbe potrzebnych symulacji oraz sposób statystycznego opracowania wyników obliczamy według procedury opisanej w poprzednich podrozdziałach.

W wypadku niezadowolającej oceny skuteczności WR SP w danym MEZ zwiększamy jego skład poczynając w pierwszej kolejności od PRZ najmniejszego zasięgu. W wypadku przeciwnym eliminujemy ze składu MEZ PZR poczynając od PRZ najmniejszego zasięgu. Powtarzamy zatem za każdym razem zmiany składu MEZ punkt 5 etapu przygotowawczego

Cykl powtarzamy, aż do uzyskania składu MEZ przekraczającego o najmniejszą z uzyskanych wartości średniej wyników symulacji założone kryterium.

Opisany wyżej cykl możemy powtórzyć dla innych warunków terenowych, a uzyskane wyniki uśrednić.

Zmieniając w analogicznym cyklu skład SEAD możemy wnioskować o normie opisującej potrzebną liczbę samolotów w składzie tej grupy taktycznego przeznaczenia.

Ogólny model postępowania może być stosowany do identyfikacji normatywnych potrzeb składu walczących grup samolotów myśliwskich. Analogicznie można modelować skład i uzbrojenie grup wymiatania (SWEEP) tak, aby były skuteczne w walce z samolotami lotnictwa myśliwskiego dyżurującymi w FAOR z uwzględnieniem możliwości potęgowania ich wysiłku z dyżurowania na lotniskach. Sprowadza się to do symulowania rezultatów walki dwóch grup samolotów myśliwskich w określonym rejonie, które otrzymały zadanie zwalczania wykrytych obiektów przeciwnika w powietrzu (jest to opcja dostępna w symulatorze).

3.2 Taktyczny poziom dowodzenia

Rozwiązywanie wyspecyfikowanych problemów dowodzenia w COP SP RP i na stanowiskach dowodzenia BR OP z zastosowaniem symulatora wymaga różnego stopnia wykorzystania jego możliwości.

Z metodycznego punktu widzenia, wszystkie zastosowania symulatora do wspomagania problemów planowania działań w COP mogą być podobnie realizowane podczas wspomagania analogicznych w swej istocie problemów planowania w SD BR OP (SAMOC).

Wymagania czasowe wobec realizacji przedsięwzięć planistycznych w SAMOC są tylko nieznacznie ostrzejsze niż w COP, ale rekompensuje to z nadmiarem znacznie mniejszy stopień komplikacji problemów decyzyjnych wynikający z stosunkowo niewielkiej liczby obiektów tworzących sytuację taktyczną.

Zastosowanie symulatora do identyfikacji elementów ogólnej koncepcji działań podczas planowania w COP polega na stosowaniu analogicznych zasad jak w wypadku szczebla operacyjnego, abstrahując oczywiście od merytorycznego zakresu rozwiązywanych problemów programowania działań bojowych SP. Z tego powodu nie poświęcamy temu zastosowaniu więcej miejsca.

3.2.1 Edycja sytuacji taktycznej

W odniesieniu do edycji sytuacji taktycznej i korzystania z przeglądarki map topograficznych w wersji cyfrowej można stwierdzić, że oprogramowanie symulatora znacznie przewyższa pod względem możliwości i ergonomii obsługi, pakiet grafiki operacyjnej PGO udostępniony przez MON, dlatego też wykorzystanie skonstruowanego symulatora, jako platformy dla edycji form graficznych dokumentów planowania, opracowywanych na mapach, jest ze wszech miar wskazane. Szczególnie istotne są możliwości symulatora w szybkim identyfikowaniu charakterystyki wskazanych punktów i obiektów w terenie. Pewną ich ilustracją może być załącznik 2. W załączniku 3 zaprezentowano przykładowy efekt wykorzystania edytora sytuacji taktycznej. Ponieważ sposób wykorzystania tych możliwości wymaga

jedynie praktycznej znajomości instrukcji obsługi symulatora to ważne, zastosowanie - pozwalające w efekcie na znaczne oszczędności czasu²⁹ - zostanie niniejszym zaledwie zasygnalizowane.

Warto zauważyć, że nie tylko łatwość aktualizacji sytuacji, ale także wysoka jakość zobrazowania (czytelność), jaką zapewnia symulator ma nieocenione znaczenie dla komfortu planowania, który tworzy dogodne warunki do osiągania także i wyższego poziomu merytorycznego rozwiązań problemów decyzyjnych.

Zobrazowanie podczas IPM i CDM dynamiki prawdopodobnych wariantów działań ofensywnych przeciwnika powietrznego oraz podczas CDM wariantu ofensywnego użycia własnego potencjału sił powietrznych wymaga opracowania odpowiedniego scenariusza. Jeśli zobrazowanie ma odwzorować tylko aspekty czasowo-przestrzenne wystarczy wprowadzić symulowanym, aktywnym środkiem walki zakaz prowadzenia ognia lub nie postawić zadań ogniowych. Realizacja tych zastosowań wymaga jedynie znajomości instrukcji użytkownika symulatora i jest jej prostą konsekwencją. Nie ulega wątpliwości, że zdynamizowanie pokazów i prezentacji poprzez symulacje aspektów przestrzenno-czasowych działań tworzy dogodne warunki do lepszego zrozumienia ich istoty, a w konsekwencji także i formułowania wartościowszych ocen merytorycznych.

3.2.2 Modelowanie COMAO

Wspomaganie modelowania COMAO może mieć w zależności od potrzeb zróżnicowany zakres zastosowania symulatora. Proponujemy jego zastosowanie podczas obliczania wybranych wielkości czasowo-przestrzennych niezbędnych do utworzenia scenariusza COMAO.

²⁹ Wspomniane oszczędności czasu zależą od stopnia komplikacji sytuacji operacyjnej i taktycznej, jaka jest przedmiotem opracowania graficznego.

Scenariusz ten jest istotnym elementem wariantu działań ofensywnych (koncepcji realizacji zadań ofensywnych). Z tego faktu wynikają oczywiste potrzeby jego opracowania. Ponadto jest on potrzebny do realizacji innych zadań takich jak ocena wariantów, opracowanie ATO i ocena jego poprawności (zastosowaniu symulatora w rozwiązywaniu tych zadań planowania poświęcono kolejne podrozdziały).

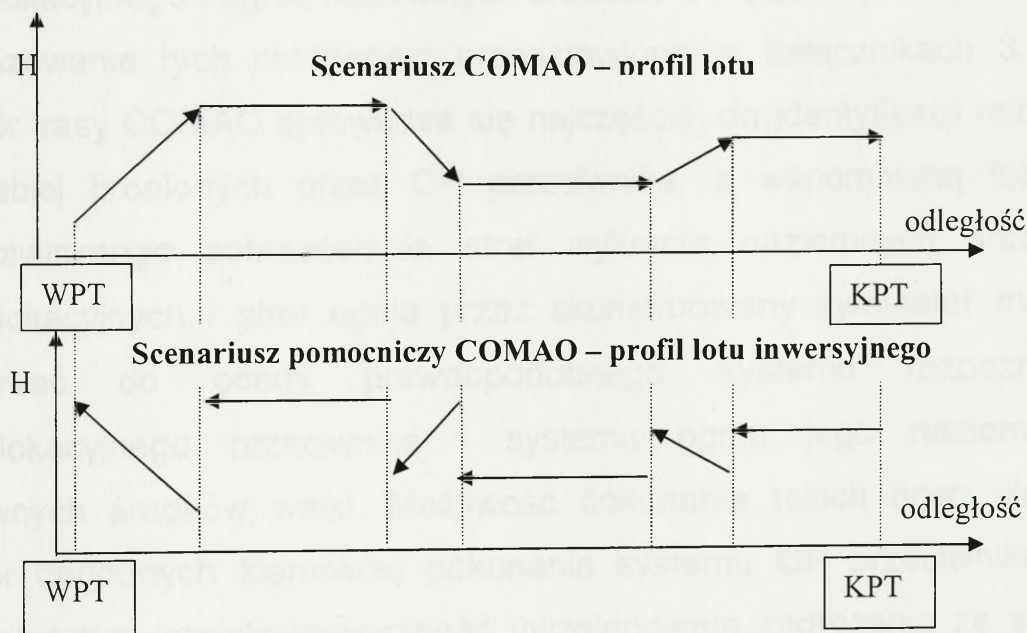
Proponowany sposób modelowania COMAO polega na opracowaniu go w formie scenariusza realizacji zadań w aspektach czasu i przestrzeni za pomocą edytora scenariuszy, w jaki zaopatrzone jest oprogramowanie symulacyjne.

Istotną trudnością podczas projektowania tras dla każdej grupy taktycznego przeznaczenia jest obliczenie czasów startu tak, aby w nakazanym czasie znalazły się one na rubieżach wykonania zadań, nad punktami zbiórek itp. Obliczenie tych czasów z zastosowaniem symulatora (który ze swej istoty służy zwykle do weryfikacji gotowych scenariuszy) wymaga zastosowania inwersji w realizacji elementów trasy. W tym celu dla każdej z grup powinny być określone:

- ✓ lotniska startu i wyjściowe punkty trasy (WPT);
- ✓ poszczególne odcinki trasy lotu do końcowego punktu trasy - KPT (np. zbiórki, uderzenia itp.), a w tym odcinki wznoszenia zniżania i lotu poziomego;
- ✓ warunki lotu (wysokość, prędkość podróżna) na tych odcinkach;
- ✓ czas przybycia grupy samolotów nad ten punkt.

Aby obliczyć czas startu, a ściślej czas nad WPT poszczególnych grup trzeba sporządzić scenariusz pomocniczy, w którym każda z tych grup wykonuje lot w kierunku odwrotnym, to jest od KPT do WPT oraz wykorzystać możliwość skokowej zmiany wysokości lotu w celu zachowania parametrów wznoszenia i zniżania. W wyniku realizacji pomocniczego scenariusza każda z grup taktycznego przeznaczenia

wykonuje lot od KPT do WPT w określonym czasie. W celu obliczenia potrzebnych czasów startu dla opracowania scenariusza COMAO na leży czasy te odjąć od nakazanych czasów przybycia grup samolotów nad KPT. Ideę realizacji tego zadania w odniesieniu do jednej grupy przedstawia rys. 5.



Rys.5. Idea zastosowania lotu inwersyjnego do obliczeń czasu nad WPT

Modelowanie innych elementów COMAO z zastosowaniem symulatora może polegać na poprawianiu spostrzeżonych błędów lub implementowaniu nowych lepszych rozwiązań, które zostały wygenerowane podczas symulacji lub po jej zakończeniu w wyniku oceny dotychczasowych rezultatów.

3.2.3 Wybór sposobu pokonania OP i tras COMAO

Istotnym elementem wariantu działań ofensywnych jest wybór trasy COMAO i sposobu pokonania OP przeciwnika. Zastosowanie symulatora jest tu możliwe w opcjach konsumujących w różnym stopniu jego możliwości.

W opcji najprostszej, można stosować symulator do wspomaganie identyfikacji rejonów, gdzie strefa informacji radiolokacyjnej przeciwnika posiada najgorsze parametry i do analogicznej oceny systemu ognia tworzonego przez naziemne zestawy przeciwlotnicze. Wykorzystujemy tu właściwości symulatora szybkiego generowania stref rozpoznania radiolokacyjnego i ognia naziemnych środków OP (GBAD). Przykładowe zobrazowanie tych możliwości przedstawiono w załącznikach 3 i 4. Wybór trasy COMAO sprowadza się najczęściej do identyfikacji rejonów najslabiej bronionych przez OP przeciwnika, a wspomnianą funkcję błyskawicznego zobrazowania stref wykrycia naziemnych środków radiolokacyjnych i stref ognia przez skonstruowany symulator można stosować do oceny prawdopodobnego systemu rozpoznania radiolokacyjnego przeciwnika i systemu ognia jego naziemnych aktywnych środków walki. Możliwość dokonania takich ocen ułatwia wybór dogodnych kierunków pokonania systemu OP przeciwnika. W sposobie tym istnieje konieczność uwzględnienia zagrożenia ze strony LM przeciwnika metodami intuicyjnymi.

Druga opcja wymaga skorzystania z możliwości generowania przez symulator rezultatów walki. Zastosowanie symulatora do rozwiązywania omawianych problemów z zastosowaniem symulatora w tej opcji oceniamy za możliwe i potrzebne, choć nie w każdej sytuacji. Jednym z ważniejszych ograniczeń jest tu czas. Zastosowanie symulatora wymaga bowiem wykonania pewnej znacznej sekwencji symulacji wymuszonej między innymi koniecznością statystycznego opracowania wyników według procedury opisanej w podrozdziale 1.3. Innym ograniczeniem może być w wielu sytuacjach brak takich potrzeb.

Ważnym zastosowaniem skonstruowanego symulatora w badaniach naukowych jest identyfikacja sposobów pokonania OP przeciwnika. Sposoby te powinny być znane i ich wybór w konkretnej

sytuacji taktycznej może być wspomagany poprzez zastosowanie symulatora, jeśli decydent ma wątpliwości w tym zakresie. Obserwacje wielu ćwiczeń pozwalają ocenić, że wskazanie słabych stron OP przeciwnika i ogólne kanony jej pokonywania należą do tych umiejętności, które są raczej dobrze opanowane przez ćwiczących i rzadko sprawiają większe trudności. Tym niemniej nie można wykluczyć zaistnienia sytuacji przeciwnych. Trzeba też zaznaczyć, że w wypadkach wątpliwych trasa lotu COMAO może być czynnikiem wariantowania i jej wybór może nastąpić w akcie wyboru jednego z rozważanych wariantów, poprzedzonego wnikliwą ich oceną (zastosowanie symulatora w procesie tej oceny zostanie opisane w dalszej części opracowania).

W konkretnej sytuacji taktycznej weryfikacji potencjalnych sposobów pokonania OP towarzyszyć powinno podjęcie decyzji, co do racjonalnego wyboru tras COMAO. Punktem wyjścia do weryfikacji może być zarówno założenie potencjalnych tras, a później postawienie hipotez, co do sposobu ich pokonania jak i kolejność odwrotna tych czynności. Odwołując się do własnych doświadczeń, preferujemy pierwszy sposób. Dużym uproszczeniem oceny jest sytuacja, gdy tylko jeden element jest przedmiotem wyboru (trasa lub sposób pokonania OP).

W wypadku ogólnym, gdy są wątpliwości, co do trasy i sposobu pokonania OP proponujemy poniższą procedurę postępowania.

Procedura postępowania

Etap przygotowania eksperymentu

1. Wybór kryteriów pokonania OP przeciwnika (np. ogólna liczba utraconych statków powietrznych lub funkcja kryterium uwzględniająca straty w poszczególnych typach samolotów).
2. Określenie potencjalnych tras COMAO (wariantów).
3. Postawienie hipotez, co do alternatywnych sposobów pokonania OP przeciwnika na każdej z tras określonych w punkcie 2.

4. Opracowanie scenariuszy dla każdej pary - wariant trasy, sposób pokonania OP, określonych w punktach 2 i 3

Etap prowadzenia eksperymentu

5. Przeprowadzenie kilku wstępnych eksperymentów każdego scenariusza i oszacowaniu wstępnym wariancji dla wszystkich zmiennych wyjściowych (według zależności podanych w podrozdziale 1.3).
6. Obliczenie potrzebnej liczby eksperymentów dla każdego scenariusza według procedury i dla każdej zmiennej wyjściowej oraz wyborze maksymalnej liczby z tego zbioru.
7. Przeprowadzenie dla każdego scenariusza wyznaczonej liczby eksperymentów i archiwizacji wyników.

Etap opracowania wyników symulacji

8. Obliczeniu dla każdego scenariusza i wartości przeciętnych wyników każdej wielkości wyjściowej, jako średnich arytmetycznych.
9. Obliczeniu dla każdego wariantu i każdej wielkości wyjściowej jej miary rozrzutu w postaci wariancji za serię eksperymentów.
10. Obliczeniu funkcji kryteriów efektywności i ryzyka i podjęciu decyzji o wyborze scenariusza (czyli trasy i sposobu pokonania OP na tej trasie).

3.2.4 Modelowanie ugrupowania środków rozpoznania radiolokacyjnego

Modelowanie ugrupowania środków rozpoznania radiolokacyjnego w celu uzyskania pożądanej strefy informacji radiolokacyjnej również sprowadza się do wykorzystania instrukcyjnych możliwości edytora sytuacji taktycznej. Metoda należy do tzw. metody prób i błędów, polegającej na heurystycznym wybieraniu kolejnych pozycji stacji radiolokacyjnych (RLS) wykorzystując w tym celu dominujące

wzniesienia i kontrolowaniu zobrazowania bieżącej strefy informacji radiolokacyjnej podczas umieszczania RLS na tych wzniesieniach. Pamiętać należy o tym, by wybrać zobrazowanie strefy wykrycia RLS dla odpowiedniej wysokości w zależności od potrzeb modelowania³⁰. Podczas modelowania należy się posługiwać wymaganiami taktycznymi, jakie powinna spełniać strefa informacji radiolokacyjnej sprecyzowanymi w zadaniu oraz zasadami (jak najwcześniejszego wykrycia ŚNP, ciągłości wykrycia, skupienia wysiłku w określonych rejonach, zapewnienia żywotności ugrupowania, odporności na zakłócenia. Praktyka pokazuje, że wygodnie jest rozpocząć od rozmieszczania stacji o najlepszych parametrach najlepiej tego samego typu, rozmieszczając je równomiernie w danym rejonie, a następnie uzupełniać ewentualne luki pozostałymi typami stacji. W ten sposób uzyskujemy strefę informacji radiolokacyjnej o właściwej strukturze częstotliwościowej i unikamy ewentualnych możliwości wzajemnych zakłóceń od stacji jednego typu. Jak pokazują doświadczenia z ćwiczeń to zastosowanie symulatora było oceniane przez użytkowników bardzo wysoko ze względu na sprawność i łatwość modelowania pozwalającego na znaczne oszczędności czasu potrzebnego na dokonanie wyboru ugrupowania w stosunku do metod stosowanych dotąd.

Z reguły modelowanie ugrupowania naziemnych środków rozpoznania radiolokacyjnego nie polega na projektowaniu ugrupowania wszystkich dysponowanych środków w konkretnym rejonie, lecz na modyfikowaniu już istniejącego ugrupowania w celu uzupełnienia powstałych w wyniku strat luk w strefie informacji radiolokacyjnej,

³⁰ Może to być np. konieczność zapewnienia ciągłej strefy informacji radiolokacyjnej na jak najmniejszej wysokości lub na wysokości odpowiadającej prawdopodobnemu nalotu ŚNP przeciwnika.

wzmocnienia możliwości rozpoznania radiolokacyjnego na określonych kierunkach (rejonach) itp.

Procedura postępowania:

1. Określić wymagane parametry strefy informacji radiolokacyjnej i inne kryteria jej oceny oraz ich ważność.
2. Zobrazować możliwości istniejącej strefy informacji radiolokacyjnej (dla określonej wysokości lotu wykrywanych ŚNP) i wyznaczyć potencjalne rejonu rozmieszczenia nowych posterunków rozpoznania radiolokacyjnego (RLP).
3. W wyznaczonych rejonach, korzystając z możliwości oprogramowania wspomagającego pracę na mapach cyfrowych, odszukać i oznaczyć dominujące w terenie wzniesienia i ocenić możliwość ich wykorzystania jako pozycji stacji radiolokacyjnych (posterunków - RLP). W wypadku niepozytywnej oceny potencjalnej pozycji RLP anulować oznaczenie.
4. Wykorzystując zidentyfikowane potencjalne pozycje RLP, metodą tzw. prób i błędów rozmieścić w danym rejonie RLP o najlepszych parametrach, najlepiej tego samego typu, zapewniając równomierność tworzonej przez nie strefy informacji radiolokacyjnej, a następnie uzupełniać ewentualne luki pozostałymi typami stacji. Podczas rozmieszczania RLP kontrolować i oceniać zmiany strefy informacji radiolokacyjnej w celu uzyskania jak najlepszych rezultatów.

3.2.5 Ocena wariantów w COP

Ocena wariantów, jako kluczowy problem merytoryczny planowania działań, pomimo możliwości zastosowania symulatora tylko

w okresie planowania perspektywicznego³¹ jest, jak starano się to uzasadnić, niezwykle istotnym przedsięwzięciem i ważnym zastosowaniem symulatora, zwłaszcza w aspekcie wariantów działań defensywnych. Uniknięcie problemu mierzalności efektywności i ryzyka poprzez zastosowanie symulatora pozwala na nowe spojrzenie na kryteria oceny.

Proponowany zbiór kryteriów – założenia teoretyczne

Konsekwencją zasadniczych tez zarysowanej wyżej próby diagnozy uprawianej praktyki oceny wariantów działań defensywnych (dokonywanej na szczeblu CAOC) jest postulat przyjęcia względnie trwałego zbioru kryteriów podstawowych, określanych w miarę możliwości w skali liczbowej.

W wyborze postulowanego zbioru względnie stałych kryteriów punktem wyjściowym rozumowania było założenie o zasadności przyjęcia analogii oceny rezultatów działań bojowych dokonywanej retrospektywnie (ex post).

W ocenie rezultatów uzyskanych podczas realnych działań przez potencjał obrony powietrznej stosuje się zazwyczaj takie kryteria jak:

- ✓ skuteczność osłony obiektów;
- ✓ skuteczność w walce z ŚNP;
- ✓ straty we własnym potencjale bojowym OP.

Oceniając rezultaty działań ofensywnych ocenia się działania według kryteriów takich, jak:

- ✓ stopień realizacji zadań (liczba porażonych w nakazanym stopniu obiektów uderzeń z uwzględnieniem rzeczywistego stopnia realizacji priorytetów);

³¹ Z godnie z przedstawionymi w rozdziale 2 uwarunkowaniami w dynamice działań czas potrzebny na syntezę wariantów ich formalną i merytoryczną ocenę i przygotowanie CDM wynosi około od 2 do 2.5 godziny.

- ✓ straty w potencjale bojowym OP poniesione przez przeciwnika.
- ✓ straty własne z uwzględnieniem typów samolotów.

Kwestia wzajemnych relacji ważności tych kryteriów zależy od sytuacji. Np. w ostatnim konflikcie irackim wydaje się, że dla obrony powietrznej Iraku ważniejszym było zadanie możliwie dużych strat³² Aliantom niż osłona Bagdadu, zupełnie odwrotnie niż w wypadku osłony Londynu podczas Bitwy o Anglię.

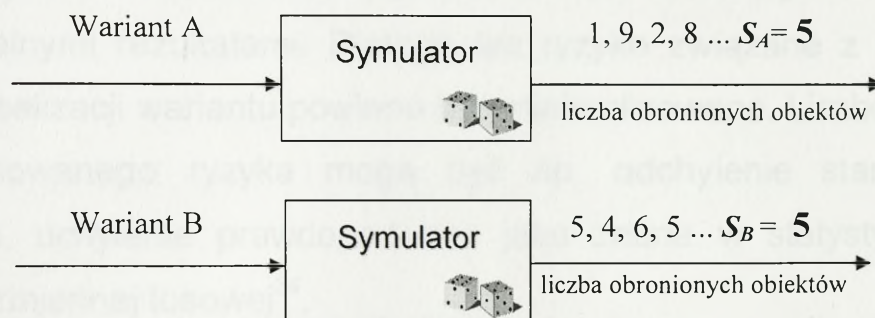
Dlaczego zatem nie stosować tych samych kryteriów w ocenie wariantów? Ocena wariantów jest jednak oceną prospektywną (wybiegającą w przyszłość). Bliższa analiza problemu wykazuje, że wskaźniki charakteryzujące w sposób liczbowy wymienione kryteria nie są liczbami oddającymi stan rzeczywisty, a jedynie oczekiwany. Są najczęściej wartościami przeciętnymi (nadzieją matematyczną), a to już zmienia zasadniczo sposób ich traktowania, zwłaszcza gdy mamy w przyszłej walce do czynienia z jedną realizacją swoich decyzji. Dowódca w takiej sytuacji nie uzyskuje pełnej informacji o wartości wariantów, potrzebnej do prawidłowej jej oceny. Tezę tą uzasadnię na przykładzie interpretacji pierwszego kryterium.

Weźmy jako wskaźnik tego kryterium liczbę obronionych obiektów osłony i założmy dla uproszczenia, że są jednakowo ważne. Założmy ponadto, że jest ich 10. Rozpatrywane są dwa warianty osłony tych obiektów, A i B. Założmy, że zastosowaliśmy do oceny wiarygodny symulator działań bojowych³³ wykonując np. po cztery symulacje każdego z wariantów. Otrzymaliśmy ciągi czterech wyników takie jak

32 Z uwagi na tzw. efekt CNN, polegający na wzroście sprzeciwu wobec działań militarnych opinii publicznej społeczeństw zaangażowanych w konflikt w wyniku doniesień o dużych stratach, zwłaszcza osobowych.

33 Mowa tu o symulatorze, w którym modele walki mają charakter probabilistyczny, oznacza to, że wyniki symulacji też mają losowy charakter ponieważ są efektem ciągu losowań zdarzeń elementarnych generowanych w czasie symulacji jak również ich rezultatów.

pokazany na rys. 6, pozwalające obliczyć wartości przeciętne S_A i S_B , odpowiadające wariantom A i B.



Rys.6. Sposób oceny przeciętnej liczby obronionych obiektów.

Może się okazać, że w wyniku symulacji uzyskamy identyczne lub bardzo zbliżone, przeciętne liczby obronionych obiektów (dla rozważanego przykładu $S_A = S_B = 5$). Względem tego kryterium warianty A i B są równoważne. Ale czy są równoważne rzeczywiście? Poza omawianą wartością przeciętną istotny jest rozkład wyników uzyskiwany podczas kolejnych eksperymentów symulacyjnych. Mały rozrzut wyników świadczy o przewidywalności sytuacji powstałej po zastosowaniu wariantu (tu wariantu B).

Wynika stąd, że wariant A jest bardziej ryzykowny, jeśli przyjąć, że rozrzut realizacji jest miarą owego ryzyka. Sama wartość przeciętna nie informuje oceniającego o wszystkich aspektach istotnych dla konsekwencji jego decyzji.

Dowódca taktycznego szczebla dowodzenia nie jest kreatorem przewidywanych rozmiarów zwycięstwa czy porażki w walce, ma wykonać bieżące zadania z określonym poziomem skuteczności i zachować przy tym pożądaną żywotność podległych sił i środków. Względna przewidywalność realizacji zadań taktycznych jest niezbędnym warunkiem dla planowania operacyjnego. Szczebel

operacyjny, planujący operację w szerszym horyzoncie czasowym, z kolei ma świadomość probalistycznego charakteru realizacji zadań planowanych na szczeblu taktycznym, ale nie może być zaskakiwany nieobliczalnymi rezultatami. Dlatego też ryzyko związane z rozrzutem losowej realizacji wariantu powinno być minimalizowane. Liczbową miarą tak pojmowanego ryzyka mogą być np. odchylenie standardowe, wariancja, uchylenie prawdopodobne jako znane w statystyce miary rozrzutu zmiennej losowej³⁴.

Widać stąd, że w proponowanym rozwiązaniu każdemu wskaźnikowi skuteczności (efektywności bojowej) towarzyszy z nim związany wskaźnik ryzyka. Jest to istota postulowanego podczas ocen prospektywnych zachowania komplementarności kryteriów efektywności i ryzyka.

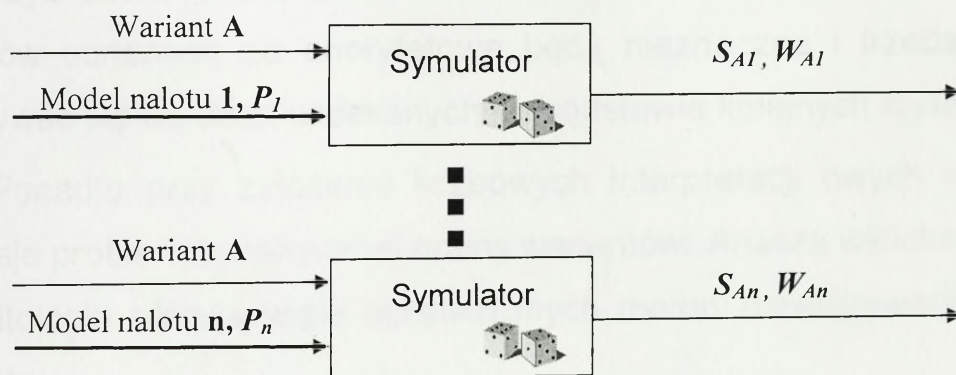
Analizując proponowany zbiór kryteriów, uzupełniony o wskaźniki ryzyka pojawia się wątpliwość, czy jest on wystarczający. Jak ocenić taką cechę obrony powietrznej jak elastyczność – rozumianą np. jako odporność na różnorodność wariantów działania przeciwnika powietrznego. Można z tym problemem sobie łatwo poradzić pod warunkiem, gdy uda nam się w wyniku oceny przeciwnika powietrznego opracować kilka (np. n) prawdopodobnych modeli działań ŚNP i oszacować dla nich określone prawdopodobieństwa ich zaistnienia ($P_{1...n}$). Wówczas można pokusić się o agregację kryterium elastyczności przez pozostałe kryteria. Można tego dokonać uwzględniając elastyczność w sposobie pomiaru wskaźników kryterialnych pozostałych kryteriów. Polegać to może na wykonaniu dla każdego z ocenianych wariantów (np. A i B) serii symulacji pozwalających określić dla każdego n – tego modelu działań ŚNP wartości przeciętne wskaźników

³⁴ Zgodnie z wcześniej sformułowanym uzasadnieniem.

skuteczności (np. dla pierwszego kryterium rozważanego w przykładzie S_{An} , S_{Bn}) i odpowiadające im miary ryzyka (W_{An} , W_{Bn}).

Przy czym W_{An} , W_{Bn} są wariancjami obliczonymi zgodnie z zależnościami 2 i 3 dla n niezależnych prób.

Korzystając z otrzymanych tym sposobem ciągów wyników i uwzględniając wartości określonych prawdopodobieństw zaistnienia poszczególnych modeli można obliczyć wskaźnik poszczególnych kryteriów jako średnią ważoną. Istotę postępowania dla wariantu A ilustruje rys.7.



Rys.7. Idea agregacji przez kryteria pozostałe kryterium

Wartości wskaźnika skuteczności osłony obiektów S_A i związanego z nim ryzyka W_B dla wariantu A można obliczyć za pomocą następujących zależności:

$$S_A = \frac{S_{A1} \cdot P_1 + S_{A2} \cdot P_2 + \dots + S_{An} \cdot P_n}{P_{A1} + P_{A2} + \dots + P_{An}}; \quad (4)$$

$$W_A = \frac{W_{A1} \cdot P_1 + W_{A2} \cdot P_2 + \dots + W_{An} \cdot P_n}{P_{A1} + P_{A2} + \dots + P_{An}}. \quad (5)$$

Wskaźniki pozostałych kryteriów można określić analogicznie.

Relacje między efektywnością a ryzykiem są trudne do narzucenia, ale dotychczasowe rozważania pozwalają sformułować zasadę:

dowódca szczebla taktycznego powinien wybrać wariant najbardziej efektywny spośród najmniej ryzykownych.

Relacje ważności między kryteriami, zgodnie z postulatem relatywizacji oceny do potrzeb podmiotu oceny, powinny być ustalane przez ten podmiot w zależności od potrzeb wynikających z sytuacji operacyjnej i taktycznej oraz własnych preferencji.

Trzeba jednak zaznaczyć, że spełnienie postulatu wyrażania wymienionych kryteriów w kategoriach ilościowych (zamiast skali plusów i minusów) ułatwia ocenę i jest nie bez wpływu na znaczenie kryterium. Może być bowiem tak, że różnice ocen wariantów dokonane według kryteriów uznanych za priorytetowe będą nieznaczne i trzeba będzie odwoływać się do ocen uzyskanych na podstawie kolejnych kryteriów.

Ponadto przy założeniu liczbowych interpretacji owych kryteriów powstaje problem syntetycznej oceny wariantów. Analiza wielokryterialna i kwalitologia oferują wiele sprawdzonych metod rozwiązywania takich trudności.

Często stosowanym tokiem postępowania w takich sytuacjach jest:

- ✓ **normowanie** wartości wyróżników kryterialnych, polegające na wyrażeniu ich wartości w skali 0÷1;
- ✓ **nadanie rang ważności** wyróżnikom (np. metodą punktową, metodą korelacji rangowej W-Kendalla³⁵ itp.);
- ✓ opracowanie formuły matematycznej agregującej wyróżniki, tzw. **funkcji decyzyjnej** - najczęściej jest to średnia ważona - i obliczenie wyników.

Istnieje bogata literatura przedmiotu poświęcona tej problematyce³⁶ dlatego też pominę te aspekty w dalszych rozważaniach. Sposób

³⁵ F. Mroczko, Żywotność bojowa sił powietrznych i metody jej oceny, WAT 1996.

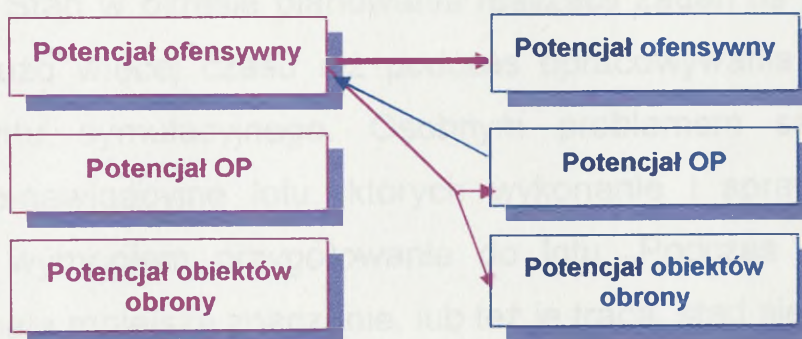
określenia syntetycznego wskaźnika, reprezentującego kryterium omawiane w niniejszym podrozdziale, jest kolejną trudnością, którą z pewnością można rozwiązać metodami ogólnymi kwalitologii.

Możliwość realizacji w praktyce dowodzenia przedstawionych postulatów jest ściśle związana z zastosowaniem symulatora.

3.2.6 Metoda pomiaru kryteriów oceny z zastosowaniem symulatora

W ocenie wariantów defensywnych dla uproszczenia można zastosować zasadę „ograniczonej liczby relacji walki do tych, na jakie wskazuje rys.8.

Łatwo zauważyć, że w ocenie wariantów ofensywnych występują te same relacje, z tym że następuje zamiana stron – strona traktowana jako własna dysponuje potencjałem ofensywnym.



Rys. 8. Relacje oddziaływań potencjałów bojowych w wymiarze powietrznym podczas oceny wariantów defensywnych

Ponieważ w ocenie wariantów wykorzystujemy możliwości symulowania rezultatów walki stron to koniecznym jest stosowanie się do wymogów ogólnej procedury statystycznego opracowania wyników symulacji opisanej w poprzednich podrozdziałach. Potrzebną liczbę eksperymentów można obliczamy według zależności 1,2,3, przy czym

³⁶ Np.: R. Kolman, Inżynieria jakości, PWE, Warszawa 1992, P. Sienkiewicz, Wielokryterialna analiza porównawcza, AON, Warszawa 1995.

spośród otrzymanych dla kilku danych wyjściowych, potrzebnych liczb symulacji wybieramy do realizacji maksymalną po to, aby zapewnić dla każdej danej wyjściowej nie mniejszy niż założony poziom ufności³⁷.

Istnieje konieczność uszczegółowienia wariantu w celu wprowadzenia niezbędnych danych wejściowych potrzebnych do edycji scenariusza danego wariantu. Wszystkie dane wejściowe potrzebne do tego celu powinny być dostępne. Podczas planowania realnych zadań dla ich rzeczywistych wykonawców istnieje potrzeba daleko większej precyzji, niż podczas modelowania komputerowego, choćby z powodu konieczności zapewnienia odpowiednich warunków bezpieczeństwa lotu w ugrupowaniu, dokładności lotu po trasie, czy terminowości wyjścia na określone punkty trasy, jak również sposobu zastosowania bojowego uzbrojenia. Stąd w okresie planowania realizacji zadań na te kalkulacje potrzeba dużo więcej czasu niż podczas opracowywania scenariusza eksperymentu symulacyjnego. Osobnym problemem są obliczenia inżyniersko-nawigacyjne lotu, których wykonanie i sprawdzenie jest formalnym wymogiem przygotowania do lotu. Podczas symulacji te problemy mają mniejsze znaczenie, lub też je tracą, stąd nie potrzeba aż tyle czasu na ich rozwiązywanie.

Realizacja scenariusza z uwagi na konieczność wielokrotnego jego powtarzania wymaga zdeterminowania podejmowanych zwykle decyzji przez szczeble dowodzenia sprawujące taktyczną kontrolę nad realizacją zadań (TACON).

Takie uproszczenie może nieco zakłócać pomiar, ale stosowane do wszystkich ocenianych wariantów jest spełnieniem zasady sprawiedliwości (równości w traktowaniu). Z punktu widzenia możliwości funkcjonalnych symulatora realizacja tej zasady w omawianym aspekcie

³⁷ Patrz ustalenia wcześniejsze.

wymaga postawienia odpowiednich zadań symulowanym stronom. W szczególności symulowanym środkiem potencjału ofensywnego przeciwnika wymagane jest postawienie zadań uderzeniowych w odniesieniu do konkretnych obiektów, lotnictwu myśliwskiemu przeciwnika i symulowanym własnym środkiem OP, zadań zwalczania wykrytych obiektów powietrznych.

Etap przygotowawczy polega na:

1. Określeniu postaci funkcji kryterium efektywności integrującej wymienione kryteria cząstkowe. Konieczne jest więc wyspecyfikowanie zmiennych wyjściowych eksperymentu, potrzebnych do wyliczenia ich wartości przeciętnych stanowiących dane wejściowe do obliczenia wartości funkcji kryterium.
2. Określeniu postaci funkcji kryterium ryzyka integrującej wymienione kryteria cząstkowe w postaci średnich wariancji zmiennych wyjściowych.
3. Przygotowaniu scenariuszy odzwierciedlających istoty wariantów zgodnie z wyżej przedstawionymi zasadami;
4. Założeniu dopuszczalnych błędów i poziomu ufności oceny wartości przeciętnych dla danych wejściowych (jednakowych dla wszystkich).
5. Przeprowadzeniu kilku wstępnych eksperymentów i oszacowaniu wstępnym wariancji dla wszystkich zmiennych wyjściowych. Obliczeniu potrzebnej liczby eksperymentów dla każdego wariantu według procedury i dla każdej zmiennej wyjściowej oraz wyborze maksymalnej liczby z tego zbioru.

Etap pomiaru polega na przeprowadzeniu dla każdego wariantu wyznaczonej liczby eksperymentów i archiwizacji wyników.

Etap opracowania wyników symulacji polega na:

1. Obliczeniu dla każdego wariantu i wartości przeciętnych wyników każdej wielkości wyjściowej, jako średnich arytmetycznych.
2. Obliczeniu dla każdego wariantu i każdej wielkości wyjściowej jej miary rozrzutu w postaci wariancji za serię eksperymentów.
3. Obliczeniu funkcji kryteriów efektywności i ryzyka i podjęciu decyzji o wyborze wariantu.

W wypadku potrzeby uwzględnienia kryterium elastyczności zgodnie z wcześniej przedstawioną ideą agregowania tego kryterium (patrz rys.9) powstaje konieczność dla każdego kierunku nalotu przeprowadzenia prezentowanego algorytmu postępowania bez punktu 3 etapu opracowania wyników

Wartości wejściowe do obliczenia funkcji kryterium efektywności i ryzyka dla każdego wariantu, każdego kierunku nalotu i odpowiadających im, poszczególnych zmiennych wyjściowych branych pod uwagę jako wyniki, będą obliczane jako średnie arytmetyczne ważone, gdzie wagami będą prawdopodobieństwa wykonania przez przeciwnika nalotu na danym kierunku (według analogicznych zależności jak 4 i 5). Tak obliczone dla każdego wariantu wartości funkcji kryteriów efektywności i ryzyka ułatwiają wnioskowanie o tym, który wariant jest lepszy w aspekcie efektywności i ryzyka.

Trzeba zaznaczyć, że wykonanie jednej symulacji wariantu w czasie rzeczywistym (z maksymalnym przyspieszeniem) według scenariuszy opracowanych na potrzeby ćwiczeń w AON wahała się od kilkadziesiąt sekund do kilku minut, nie licząc czasu potrzebnego na przygotowanie scenariusza. Biorąc pod uwagę potrzebę przeprowadzenia podczas oceny dwóch wariantów około 30 pojedynczych symulacji i wliczając w to czas potrzebny na opracowanie wyników około 30 minut, jeśli czynność ta byłaby wspomagana prostym oprogramowaniem kalkulacyjnym, to

mało realne staje się zastosowanie symulatora w dynamice planowania w czasie wojny.

Należy również spostrzec, że podczas oceny wariantów dokonywać można, niejako przy okazji, oceny formalnej wariantów, zwłaszcza w wielu aspektach jego wykonalności.

Pewnym udogodnieniem byłoby zapewne opracowanie opcji oprogramowania zarządzającego przebiegiem oceny, który pozwalałby na automatyczne określanie potrzebnej liczby eksperymentów, prowadził je i opracowywał wyniki oraz formułował oceny wariantów przy zadanych parametrach dokładności i poziomu ufności oceny.

3.2.7 Ocena poprawności ATO

Zastosowanie symulatora do całościowej lub częściowej oceny poprawności ATO jest wystarczającym powodem by ta aplikacja była wykorzystywana w COP. Jeśli założyć, że symulator będzie wykorzystany wcześniej do tworzenia planu użycia sił powietrznych w działaniach taktycznych (MAAP) powstałego w wyniku uszczegółowienia przyjętego wariantu działań ofensywnych i defensywnych to można założyć, że scenariusz jest już praktycznie opracowany.

Jego symulacja w czasie przyspieszonym (lub okresowo przyspieszanym) powinna znacznie ułatwić identyfikowanie ewentualnych błędów i zagrożeń, jakie mogą powstać przy edytowaniu ATO bez wspomagania poprzez zastosowanie do tego celu ICC. Wymaga to jednak, analizy wybranych fragmentów tekstu ATO przez uczestników oceny i obserwacji przebiegu symulacji.

Wydaje się jednak, że mimo tak znacznego postępu, jakie daje opisane wyżej podejście (wobec alternatywy analizy samego tekstu ATO), możliwe będzie opracowanie opcji oprogramowania umożliwiającej automatyczne „wczytanie” ATO i przeprowadzenie na tej

podstawie symulacji aspektów czasowo-przestrzennych realizacji zadań przez potencjał SP.

3.2.8 Modelowanie ugrupowania brygady raketowej obrony powietrznej

Za najważniejsze zastosowanie omawianego symulatora we wspomaganie czynności planistycznych prowadzonych w SD DR OP (SAMOC) uważamy modelowanie ugrupowania bojowego w MEZ w celu stworzenia odpowiedniego systemu ognia i rozpoznania. Sposoby zastosowania symulatora mogą tu być różne. W najprostszym zastosowaniu postępowanie podczas modelowania ugrupowania PZR w MEZ może być analogiczne jak opisane w punkcie 5 etapu przygotowania eksperymentu podczas weryfikacji normy określającej potrzebną liczbę PZR w MEZ (podrozdział 3.1.2) lub opisana w punkcie 3.2.4. procedura modelowania strefy informacji radiolokacyjnej.

Wyższą formą poszukiwania racjonalnych rozwiązań sposobu wykonania zadania przez BR OP w MEZ jest wariantowanie jej ugrupowania i sposobu funkcjonowania tegoż ugrupowania z wykorzystaniem do oceny tych wariantów symulatora. Wariant użycia BR OP, oceniany w SAMOC, może być potraktowany jako przypadek wariantu działań defensywnych (rozważanego w CAOC, COP) ograniczonego tylko do środków BR OP i fragmentu nalotu przeciwnika powietrznego. Można w tej sytuacji zastosować identyczny algorytm postępowania i te same kryteria oceny co w COP podczas oceny wariantów działań defensywnych. W celu uniknięcia zbędnych powtórzeń rezygnujemy z opisu przebiegu zasad postępowania podczas tego procesu.

Wstępne eksperymenty pozwalają sądzić, że w wielu wypadkach możliwe będzie przeprowadzenie oceny wariantów z wykorzystaniem

symulatora na stanowisku dowodzenia BR OP, gdyż oszacowany czas potrzebny do dokonania takich ocen był rzędu 2-3 godzin, ale trzeba przyznać, że może być on wydatnie skrócony pod warunkiem wspomagania czynności opracowania i przygotowania eksperymentu przy pomocy oprogramowania kalkulacyjnego oraz pod warunkiem nabrania większej biegłości w użytkowaniu symulatora.

3.3 Wnioski

Skonstruowany symulator może być z powodzeniem stosowany na szczeblu operacyjnym komponentu powietrznego do wspomagania syntezy rozwiązań, szczególnie podczas formułowania ocen cząstkowych. Wstępna hipoteza badawcza zakłada, że byłby wówczas wykorzystywany do następujących zadań identyfikacji:

1. Elementów ogólnej koncepcji działań (a zwłaszcza silnych i słabych stron sił powietrznych własnych i przeciwnika) oraz czynników wariantowania.
2. Wybranych norm taktycznych i operacyjnych niezbędnych do dokonywania podziału wysiłku (np. Allocation) czy też sformułowania PTL.
3. Zastosowanie tego symulatora do kompleksowej oceny zasadności AOD uważamy za praktycznie niewykonalne. Pozytywna ocena AOD w szerszym rozumieniu zależy od trafności planu operacji. Ten można zweryfikować prowadząc grę wojenną – będącą weryfikacją zasadności wieloetapowego, dwustronnego procesu decyzyjnego – co przy losowym charakterze otrzymywanych wyników symulacji, znacznie komplikuje metodę (scenariusz) badań i utrudnia terminowe opracowanie wyników i wnioskowanie, ale teoretycznie tej weryfikacji nie uniemożliwia. Przyczyną tego jest oczywisty, lawinowy wzrost potrzebnych symulacji w miarę liczby rozgrywanych epizodów

taktycznych³⁸, które będą wymagane dla zapewnienia określonej pewności statystycznego wnioskowania. Natomiast taka pełna ocena AOD przy zastosowaniu symulatora jest możliwa poza czasem operacyjnym, podczas ćwiczeń studyjnych.

4. W konkluzji dotyczącej ograniczeń czasowych planowania trzeba podkreślić, że na opracowanie koncepcji AOD szczebel operacyjny dysponuje czasem około 12h, a na uszczegółowienie i opracowanie AOD czasem kolejnych 10h. Stwarza to potencjalne możliwości stosowania tego symulatora do eksperymentowania w celu poszukiwania rozwiązań pewnych, ewentualnych problemów informacyjnych pomocnych w realizacji zadań 1 i 2.
5. Z istoty tych problemów wynika, że mogą i powinny być one rozwiązywane w większości w czasie planowania perspektywicznego (np. w okresie narastania kryzysu). Wówczas, w zależności od potrzeb, możliwe jest prowadzenie eksperymentów symulacyjnych według indywidualnych programów i opracowanie wyników badań specjalnie na te potrzeby stworzonymi metodami, doskonalszymi niż te, których istotę proponuje się w dalszej części tego opracowania.
6. Z uwagi na ograniczenia czasowe planowania w na taktycznych szczeblach dowodzenia (np. COP) należy wyróżniać dwie odmienne sytuacje:
 - w warunkach mniej ostrych wymagań czasowych, jakie towarzyszyć mogą narastaniu kryzysu – okres planowania perspektywicznego;
 - w deficycie czasu, jaki towarzyszy wojnie.

³⁸ Np. symulacji odpierania kolejnych zmasowanych nalotów przeciwnika lub realizacji własnych (COMAO).

7. Wspomaganie planowania działań w COP SP RP z zastosowaniem skonstruowanego symulatora może i powinno mieć szerszy zakres niż w wypadku szczebla operacyjnego (tworzonego Dowództwa Operacyjnego SZ RP). Analiza treści i terminów zasadniczych przedsięwzięć planistycznych pozwala na hipotetyczne wytypowanie potencjalnie możliwych zastosowań symulatora. Przy czym lista zastosowań w sytuacji pierwszej będzie dla sytuacji drugiej ograniczona. Spostrzeżone podczas analizy potencjalne zastosowania skonstruowanego symulatora dotyczą wspomagania:

I. Na operacyjnych szczeblach dowodzenia:

- a. identyfikacji elementów ogólnej koncepcji działań i czynników wariantowania - tylko w sytuacji 1;
- b. identyfikowania wybranych norm operacyjnych - tylko w sytuacji 1.

II. Na taktycznych szczeblach dowodzenia:

- a. pracy na mapach elektronicznych, w tym edycji sytuacji taktycznej;
- b. oceny przeciwnika (animacja prawdopodobnych wariantów działań przeciwnika powietrznego, wspomaganie wyboru dogodnych rejonów pokonania OP przeciwnika poprzez ułatwienie oceny systemu rozpoznania i ognia rakietowych środków OP przeciwnika z uwzględnieniem ukształtowania terenu)
- c. modelowania ugrupowania środków rozpoznania radiolokacyjnego poprzez wspomaganie oceny parametrów stref informacji radiolokacyjnej tworzonej przez ugrupowanie środków rozpoznania z uwzględnieniem wysokości wykrywanych ŚNP i ukształtowania terenu. Możliwość natychmiastowego oceniania tych parametrów pozwala na modelowanie tych stref, a tym samym modelowanie ugrupowania naziemnych środków rozpoznania radiolokacyjnego, zapewniających pożądane parametry strefy informacji

- radiolokacyjnej (to samo zastosowanie może dotyczyć ugrupowania wojsk raketowych sił powietrznych, ale w wypadku COP zwykle wykorzystuje się w tych celach normy taktyczne);
- d. modelowania COMAO, wspomaganie obliczania wybranych wielkości czasowo-przestrzennych.
 - e. poszukiwanie efektywnych sposobów pokonywania OP przeciwnika przez lotnictwo i wybór tras COMAO - tylko w sytuacji 1;
 - f. zobrazowania podczas IPM i CDM dynamiki prawdopodobnych wariantów działań ofensywnych przeciwnika powietrznego w aspektach przestrzenno-czasowych.
 - g. zobrazowania podczas CDM dynamiki wariantów działań ofensywnych w aspektach przestrzenno-czasowych.
 - h. identyfikacji elementów ogólnej koncepcji działań, a zwłaszcza silnych i słabych stron sił powietrznych przeciwnika i własnych, czynników wariantowania – tylko w sytuacji 1;
 - i. oceny wariantów działań defensywnych i ofensywnych - w zależności od zaproponowanej metody bez ograniczeń lub z ograniczeniem (tylko w sytuacji 1);
 - j. oceny poprawności ATO (podczas ATO Release Briefing) – symulacja planu użycia sił powietrznych (MAAP);
 - k. modelowania ugrupowania brygady raketowej OP (naziemnych środków OP).
8. Łatwo spostrzec, że z wymienionych zastosowań symulatora na operacyjnych szczeblach dowodzenia we wszystkich zastosowaniach, a na taktycznych szczeblach dowodzenia tylko w 5, 8 i 9, wykorzystuje się możliwości symulatora w odwzorowaniu efektów walki w wymiarze powietrznym (aspektach skuteczności działań symulowanych środków walki).

4 Symulacyjny model w badaniach naukowych

Modelowanie symulacyjne wpisuje się w podejście i swoisty dzisiaj w naukach wojskowych paradygmat metod systemowych, pozwalając na *dokonywanie analizy powiązań i zależności wszystkich czynników wywierających wpływ na funkcjonowanie systemu jako całości*³⁹.

Autorzy wielu opracowań metodycznych przybliżających metody sformalizowane wojskowych badań naukowych twierdzą⁴⁰, że jedną z metod badania złożonych systemów wojskowych, w tym także procesów walki i operacji jest konstruowanie, a następnie badanie modeli tych systemów przy zastosowaniu symulacji komputerowej.

Współcześni naukowcy wojskowi⁴¹ najczęściej miejsce nauk wojskowych sytuują wśród nauk realnych (empirycznych), humanistycznych, odnajdując ich pochodzenie przez wzgląd na przedmiot badań, w naukach ekonomicznych, precyzyjniej w naukach o kierowaniu (zarządzaniu) organizacjami, a zwłaszcza w tym ich nurcie, który wywodzi się z teorii czynu skutecznego (prakseologii). Jednocześnie biorąc pod uwagę kryterium stosowalności wyników badań część z nich uważa, że naukom wojskowym bliżej raczej jest do nauk stosowanych (usługowych) niż czystych (podstawowych). W większości opracowań poświęconych naukom wojskowym podkreśla się ich użytkowy, normatywny charakter.

Takie podejście do określania miejsca nauk wojskowych wśród innych dziedzin nauki jest z pewnością należycie argumentowane.

³⁹ J. Karczmarek + zespół, *Metodyka wojskowych badań naukowych*, Część II, *Metody sformalizowane*, AON, Warszawa 1990, s. 114, 115.

⁴⁰ *Metodyka wojskowych...* wyd. cyt. Część II, s. 112

⁴¹ Zob. E. Wiśniewski, *Metodyka wojskowych badań naukowych*, Cz. I, Zeszyt 1, *Wprowadzenie do metodyki i wojskowe badania naukowe*, AON, Warszawa 1988, s. 26., B. Szulc, *Dylematy epistemologiczne i metodologiczne teorii sztuki wojennej* w M. Kruaze, B. Szulc, *Sztuka wojenna, Konteksty teoretyczne i praktyczne*, Adam Marszałek, Toruń 2000, s. 43., M. Pelc, *Wybrane problemy metodologiczne wojskowych badań naukowych*, AON, Warszawa 1998, s. 16.

Jednak z punktu widzenia obecnie *naturalnej tendencji unifikacyjnej w zdobywaniu wiedzy*⁴² traktowanie nauk wojskowych, jako rygorystycznie empirycznych (indukcyjnych) może wywoływać skojarzenia ze stosowaniem aparatu badawczego właściwego wyłącznie naukom indukcyjnym. Podejmowane próby złagodzenia stanowiska przez eksponowanie zastosowania w naukach wojskowych mniej restrykcyjnych form indukcjonizmu⁴³ nie wyjaśnia wystarczająco przejrzystości istoty nauk wojskowych i właściwych im metod badań naukowych. Zmierzając do sprecyzowania tożsamości nauk wojskowych korzystnym wydaje się poszukiwanie również bardziej wyważonych sądów klasyfikujących naukę. Sąd taki wyraża S. Kamiński⁴⁴ proponując, między innymi podziałami nauki, także podział przez wzgląd na rodzaj prowadzonych badań, na te z przewagą badań podstawowych (formalne) i te z przewagą badań stosowanych (realne).

Konkludując tę część wprowadzenia proponujemy, aby na potrzeby niniejszego opracowania traktować nauki wojskowe jako empiryczne (indukcyjne) nauki realne z przewagą badań stosowanych. Podejście takie oznacza, że w znacznej części badań wojskowych, szczególnie tych poświęconych identyfikowaniu podstaw ontologicznych i epistemologicznych zjawisk „działań zbrojnych i niezbrojnych”⁴⁵ prowadzone będą także badania podstawowe, z metodami dedukcyjnymi, właściwymi logice i matematyce. Adekwatnym zatem podejściem metodologicznym do zaproponowanego postrzegania nauk wojskowych jest poszukiwanie metod – podejścia, metod – działania,

⁴² S. Kamiński, *Nauka i metoda, Pojęcie nauki i klasyfikacja nauk*, Towarzystwo Naukowe KUL, Lublin 1998, s. 275.

⁴³ Zob. M. Pelc., *Wybrane problemy metodologiczne wojskowych badań naukowych AON*, Warszawa 1998, s. 11-15.

⁴⁴ S. Kamiński, *Nauka i metoda ... wyd. cyt.*

⁴⁵ Tak obecnie określany jest zakres rzeczywistości właściwy naukom wojskowym, zob. M. Krauze, B. Szulc, *Sztuka wojenna ... wyd. cyt.*

narzędzi badawczych pozwalających prowadzić zarazem wojskowe badania naukowe podstawowe i stosowane.

Wiarygodność wojskowych badań naukowych komplikuje, powszechnie dostrzegany, w środowisku metodologów wojskowych, brak wystarczającego dostępu do przedmiotu badań. Twórcy wojskowi zastępują rzeczywistość wojskowych działań zbrojnych i niezbrojnych modelami, które traktują, jak rzeczywistość paraempiryczną. Modele te z natury rzeczy odzwierciedlają rzeczywistość w sposób uproszczony. Najbardziej rozpowszechnionym modelem rzeczywistości w wojskowych badaniach naukowych są ćwiczenia wojskowe. Najczęściej celem badań naukowych w ćwiczeniach wojskowych to znaczy osiągnięty zastosowanym wówczas modelu rzeczywistości jest *naukowe poznanie zjawisk towarzyszących walce zbrojnej w celu modyfikowania sposobów jej przygotowania, prowadzenia, tworzenia nowych teorii tej walki oraz takich form i sposobów działań, które mogą zapewnić zwycięstwo w walce zbrojnej, przy możliwie małych stratach i w jak najkrótszym czasie*⁴⁶. Po zamianie słów walka zbrojna na działania zbrojne i niezbrojne, a zwycięstwa na osiągnięcie celu działań, można by uznać tak sformułowany cel badań ćwiczeń wojskowych za wciąż aktualny. Podstawowym jednak i nierozwiązanym problemem prowadzenia wojskowych badań naukowych jest projektowanie modeli walki, których uproszczenia nie wpływałyby negatywnie, a wręcz zwiększały prawdopodobieństwo tworzonych w toku badań - hipotez naukowych. Modele takie, także po zastosowaniu współczesnej techniki komputerowej odzwierciedlać powinny tylko wybrane elementy, relacje i charakteryzujące je własności działań zbrojnych i niezbrojnych oraz ich otoczenia.

⁴⁶ M.Kucharski + zesp., metodyczne uwarunkowania procesu badań w czasie ćwiczeń wojskowych, AON, Warszawa 1994, s. 23.

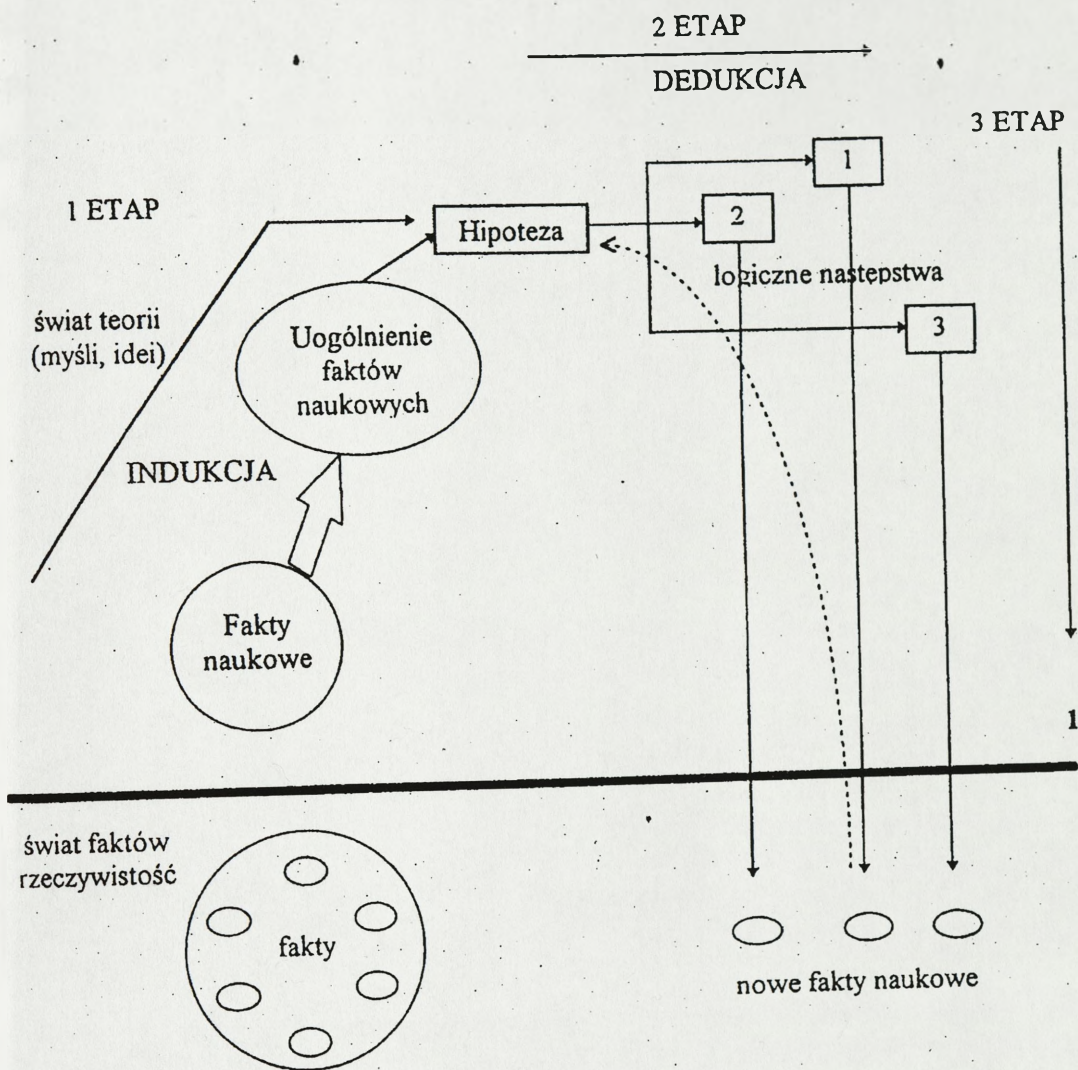
Istnieje potrzeba poszukiwania i tworzenia w wojskowych badaniach naukowych metod i narzędzi badawczych spełniających wymagania badań naukowych z przewagą badań stosowanych, prowadzonych na adekwatnych do celu badań modelach działań zbrojnych i niezbrojnych. W zarysowanej sytuacji problemowej prowadzenia wojskowych badań naukowych, najdogodniejszą metodą – podejściem wydaje się podejście systemowe, a metodami działania – modelowanie symulacyjne i komputerowa gra wojenna.

4.1 Kontekst metody naukowej w naukach wojskowych

W świecie nauki zastosowane metody uprawiania nauki uważa się powszechnie za jeden z podstawowych sprawdzianów naukowości. Twierdzi się, że *odgrywają one niezastąpioną rolę w zwiększeniu wydajności i oszczędności pracy naukowej.* (C. Bernard). *Zajmowanie się naukami bez pomocy metody wydaje się raczej szkodliwe niż pożyteczne* (Kartezjusz). [...] *Metoda działania bowiem, to powtarzalny sposób działania zwiększający jego sprawność, sposób, który jest wyznaczony za pomocą spójnego zbioru reguł (dyrektyw). Najogólniej określa się metodę działania jako odpowiednią do stanu rzeczy najkrótszą drogę do celu działania, a dokładniej **świadomie i systematycznie stosowany, wzorcowy dobór i układ elementarnych czynności, który pozwala skuteczniej i ekonomiczniej (wydajniej i oszczędniej) uzyskać cel tego działania*** (T. Kotarbiński)⁴⁷. W cytowanym tekście S. Kamińskiego definicja metody T. Kotarbińskiego w pełni wystarcza dla potrzeb tego opracowania, a wszelkie jej spotykane w literaturze przedmiotu badania uszczegółowienia typu zamiast „sposób” używanie „sposób swoiście naukowy”, z punktu widzenia metodyki zastosowań *Symulatora*, są nieistotne.

⁴⁷ S. Kamiński, *Nauka i ...* wyd. cyt., s. 200-201.

W empirycznych badaniach naukowych z przewagą badań stosowanych używany układ elementarnych czynności badawczych można nazwać indukcyjno – hipotetyczno – dedukcyjno - redukcyjnym postępowaniem badawczym. Metoda ta wiąże się ze znanym twierdzeniem Einsteina, że nauka pochodzi od faktów i na faktach musi się kończyć. W pierwszym etapie rzeczywistość spełniając dla nauki funkcję motoryczną dostarcza faktów, które pozyskane metodami naukowymi stają się faktami naukowymi. Następnie tworzone są, przez indukcyjne uogólnienia, hipotezy. W drugim etapie twórca stosując dedukcję zwiększa prawdopodobieństwo słuszności hipotez do momentu, kiedy można je uznać za hipotezy naukowe, to znaczy za hipotezy wystarczająco uzasadnione. Ostatni trzeci etap redukcji polega na wykorzystaniu funkcji kryterialnej, jak spełnia rzeczywistość podczas weryfikacji hipotezy naukowej. Proces ten ilustruje rysunek 9.



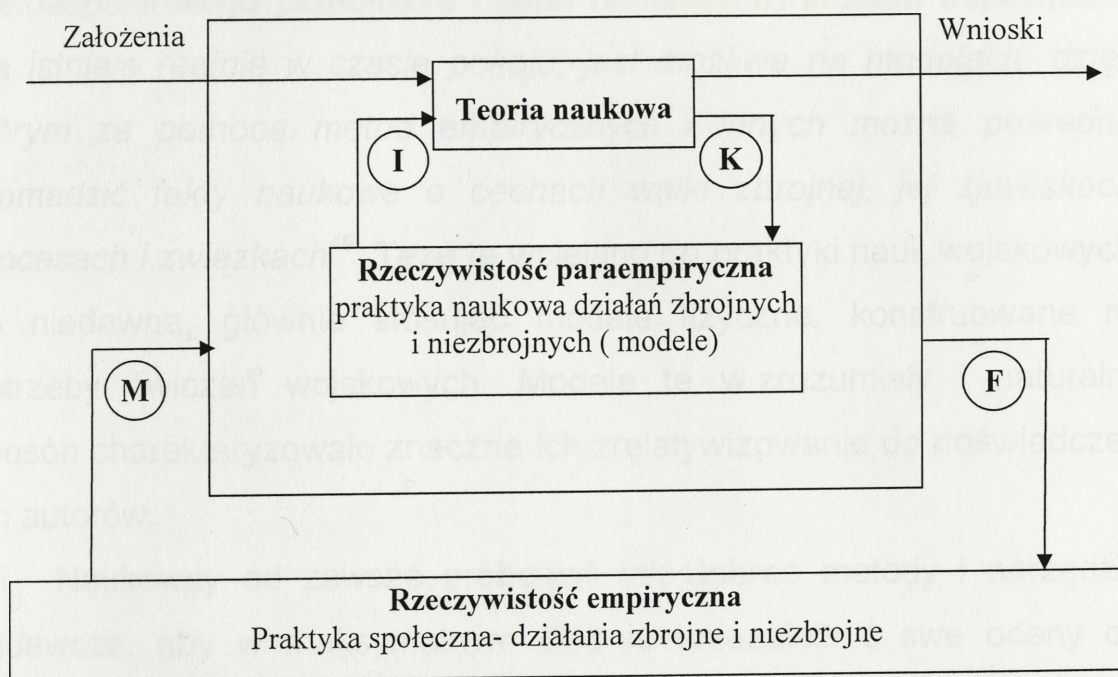
(źródło: M. Pelc, *Wybrane problemy metodologiczne wojskowych badań naukowych*, AON, Warszawa 1998, s. 17)

Rysunek 9. Układ czynności postępowania badawczego w naukach empirycznych

Przedstawiony na rysunku 9. układ czynności badawczych nie budzi wątpliwości w wypadku, gdy badacz ma swobodny dostęp do przedmiotu badań, a nauka wchodzi w klasyczne związki z praktyką społeczną⁴⁸. Tymczasem w naukach wojskowych pełny dostęp do

⁴⁸ To znaczy spełnia dla nauki funkcję motoryczną, inspirując badaczy, funkcję informacyjną będąc źródłem materiału empirycznego, funkcję kryterialną pozwalając weryfikować stawiane hipotezy, a wreszcie funkcję finalną zaspakajając konkretne potrzeby ludzkie. Zob. M. Pelc, *Wybrane problemy ...* wyd. cyt., s. 20.

empirii jest ograniczony, a najczęściej w ogóle niemożliwy. W sytuacji ograniczonego dostępu nauk wojskowych do przedmiotu badań, o ile możliwe jest wypełnianie funkcji motorycznej i finalnej to zakłóceniu ulega możliwość realizacji funkcji informacyjnej i kryterialnej.



Legenda:

M – funkcja motoryczna;

I – funkcja informacyjna;

K – funkcja kryterialna;

F – funkcja finalna.

(źródło: Opracowanie własne na podstawie M. Pelc, *Wybrane problemy metodologiczne wojskowych badań naukowych*, AON, Warszawa 1998, s. 21)

Rysunek 10. Związki nauk wojskowych z rzeczywistością

W tak nakreślonej szkieletowo sytuacji, zabiegiem metodycznym, podejmowanym przez badaczy wojskowych, na drodze wypełnienia treścią wszystkich istotnych związków nauki z praktyką społeczną jest zastępowanie działań zbrojnych i niezbrojnych modelami tworzącymi w

naukach wojskowych swoistą rzeczywistość paraempiryczną. Związek nauk wojskowych z rzeczywistością paraempiryczną i realnymi działaniami zbrojnymi i niezbrojnymi ilustruje rysunek 10. Metodocy nauk wojskowych uważają, że *poznanie walki zbrojnej jako wielce złożonego i wieloaspektowego przedmiotu badań naukowych, którego odpowiednik nie istnieje realnie w czasie pokoju, jest możliwe na modelach, dzięki którym za pomocą metod empirycznych i innych można pośrednio gromadzić fakty naukowe o cechach walki zbrojnej, jej zjawiskach, procesach i związkach*⁴⁹. Tezę tę wcielano do praktyki nauk wojskowych, do niedawna, głównie stosując modele fizyczne, konstruowane na potrzeby ćwiczeń wojskowych. Modele te w zrozumiały i naturalny sposób charakteryzowało znaczne ich zrelatywizowanie do doświadczeń ich autorów.

Naukowcy od zawsze próbowali tak dobrać metody i narzędzia badawcze, aby w maksymalnym stopniu uniezależnić swe oceny od dotychczasowych doświadczeń, nie pozwolić na zbyt swobodną interpretację faktów, nadać badaniom sformalizowaną strukturę i urealnić je. Dążenie to wydaje się być przyczyną wzrastającego zainteresowania badaczy wojskowych sformalizowanymi metodami badań naukowych, a w ich zbiorze, na skutek burzliwego rozwoju techniki komputerowej, modelami symulacyjnymi i komputerowymi grami wojennymi.

4.2 Modelowanie symulacyjne

Skonstruowany SOTDP może znaleźć pełne zastosowanie w badaniu systemu działania sił powietrznych szczebla operacyjno-taktycznego. Można za jego pomocą przeprowadzić wielokrotne eksperymenty symulacyjne, badając możliwości przeszłych, istniejących i przyszłych ofensywnych i defensywnych, naziemnych i powietrznych

⁴⁹ E. Wiśniewski, *Metodyka ...* wyd. cyt., cz. I, zeszyt 3., s. 38.

systemów walki, zabezpieczenia bojowego i logistycznego, prowadzących działania w powietrznym wymiarze walki i operacji. Na tej podstawie można oceniać strukturę badanego systemu działania (np. eskadry, dywizjonu, brygady, zgrupowania taktycznego, operacyjno-taktycznego, zadaniowego sił powietrznych wraz z wybranymi elementami sił lądowych), szczególnie w aspekcie stopnia ich zorganizowania lub efektywności działania. Ponadto *Symulator* pozwala wyjaśniać funkcjonowanie symulowanego systemu (obiektu):

- rzeczywistego;
- przeszłego;

oraz

- prognozować zachowania się tego systemu w przyszłości;
- zapoznać z teoriami systemu przedmiotowego.

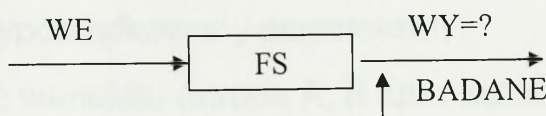
Przystępując do symulacji należy rozpocząć od wskazania problemu i określenia celu. Celem symulacji jest najczęściej:

- testowanie pewnych hipotez zachowania się modelowanego systemu przedmiotowego;
- określenie lub wyjaśnienie jakościowych zależności występujących w systemie;
- poznanie reakcji systemu na zmiany wartości niektórych zmiennych lub parametrów;
- ustalenie pewnych charakterystycznych wartości parametrów modelu.

W praktyce wykorzystania *Symulatora* jako narzędzia modelowania symulacyjnego w badaniach naukowych stosowane będą: modele badania systemu wprost, modele kierowania, modele identyfikacji lub strukturalnej analizy systemu⁵⁰.

⁵⁰ Zob. *Metodyka wojskowych badań...* wyd. cyt., Część II, s. 126.

Modele badania systemu wprost służą ustaleniu stanu wyjść (WY) badanego systemu w sytuacji kiedy znany jest stan wejść (WE) oraz sposób funkcjonowania systemu (FS).



Rysunek 11. Model badania systemu wprost

Przykładem zastosowania symulatora jako modelu do badania systemu wprost może być nieosłaniania baza lotnicza (lotnisko). Znany jest sposób funkcjonowania systemu lotniska oraz następujące parametry wejściowe

Identyfikacyjne:

- ◆ typ lotniska;
- ◆ nazwa lotniska;
- ◆ ujawnione czy ukryte;
- ◆ piktogram przyporządkowany;
- ◆ przynależność.

Specyficzne:

- ◆ główny kierunek lądowania;
- ◆ sprawność pasa startowego;
- ◆ liczba i typ stosowanych samolotów;
- ◆ czas kołowania;
- ◆ sprawność MPS;
- ◆ zasoby paliwa;
- ◆ sprawność uzbrajania samolotów;
- ◆ zasoby LŚR (lotniczych środków rażenia).
- ◆ odporność poszczególnych elementów lotniska na LŚR

oraz następujące parametry uderzającej na lotnisko pary samolotów

Identyfikujące:

- ◆ typ (nazwa) samolotu;
- ◆ numer identyfikacyjny (indeks);
- ◆ piktogram przyporządkowany samolotowi;
- ◆ przynależność samolotu (strona A, B lub neutralny).

Specyficzne:

- ◆ liczba podwieszeń;
- ◆ maksymalny pułap;
- ◆ zasięg rozpoznania obiektów powietrznych i naziemnych;
- ◆ warianty uzbrojenia;
- ◆ zasięg;
- ◆ pojemność zbiorników paliwa;
- ◆ czas tankowania;
- ◆ skuteczna powierzchnia odbicia;
- ◆ waga (objętość) i rodzaj (MPS, LŚR, środki materiałowe)

przewożonego ładunku.

Manewrowe:

- ◆ prędkość maksymalna;
- ◆ prędkość minimalna;
- ◆ prędkość przelotowa;
- ◆ prędkość wznoszenia;
- ◆ prędkość zniżania.

Potencjału bojowego:

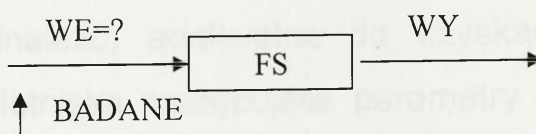
- ◆ sprawny, uszkodzony, zniszczony.

Poszukujemy na wyjściu badania systemu wprost potencjału bojowego lotniska, charakteryzowanego następującymi parametrami:

- ◆ czasem uszkodzenia pasa startowego;

- ◆ czasem wyeliminowania służb MPS;
- ◆ czasem wyeliminowania służb uzbrojenia;
- ◆ liczba zniszczonych samolotów stacjonujących na lotnisku.

Modele kierowania, w których jest znany sposób funkcjonowania systemu (FS) i stan wyjść systemu (WY) pozwalają poszukiwać stanu wejść (WE). Tego typu modele można stosować w badaniach procesów podejmowania decyzji, uzyskując odpowiedź na pytanie, jakie dane należy wprowadzić do systemu aby uzyskać pożądane wyniki.



Rysunek 12. Model kierowania

Posługując się tym samym przykładem, możemy w *Symulatorze* znając funkcjonowanie systemu pary samolotów oraz następujące parametry wejściowe lotniska

Identyfikacyjne:

- ◆ typ lotniska;
- ◆ nazwa lotniska;
- ◆ ujawnione czy ukryte;
- ◆ piktogram przyporządkowany;
- ◆ przynależność.

Specyficzne:

- ◆ główny kierunek lądowania;
- ◆ sprawność pasa startowego;
- ◆ liczba i typ stacjonujących samolotów;

- ◆ sprawność MPS;
- ◆ zasoby paliwa;
- ◆ sprawność uzbrajania samolotów;
- ◆ zasoby LŚR (lotniczych środków rażenia).
- ◆ odporność poszczególnych elementów lotniska

Potencjału bojowego:

- ◆ czasem uszkodzenia pasa startowego;
- ◆ czasem wyeliminowania służb MPS;
- ◆ czasem wyeliminowania służb uzbrojenia;
- ◆ liczba zniszczonych samolotów stacjonujących na lotnisku

poszukiwać (odnaleźć) adekwatne do uzyskanego na wyjściu potencjału bojowego lotniska następujące parametry opisujące system pary samolotów:

Identyfikujące:

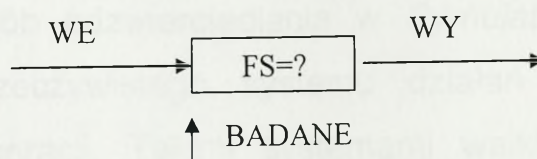
- ◆ typ (nazwa) samolotu;
- ◆ numer identyfikacyjny (indeks);
- ◆ piktogram przyporządkowany samolotowi;
- ◆ przynależność samolotu (strona A, B lub neutralny).

Specyficzne:

- ◆ liczba podwieszeń;
- ◆ maksymalny pułap;
- ◆ zasięg rozpoznania obiektów powietrznych;
- ◆ warianty uzbrojenia;
- ◆ zasięg;
- ◆ pojemność zbiorników paliwa;
- ◆ czas tankowania;
- ◆ skuteczna powierzchnia odbicia;

◆ waga (objętość) i rodzaj (MPS, LŚR, środki materiałowe) przewożonego ładunku.

Modele identyfikacji lub strukturalnej syntezy systemu pozwalają poszukiwać efektywnych sposobów funkcjonowania systemu (FS) przy znanym stanie wejść (WE) i wyjść (WY). W *Symulatorze* stosując model tego typu możemy przede wszystkim poznać i wyjaśnić procesy zachodzące w badanym systemie, dokonać na tej podstawie zmian, czyniąc system ten bardziej efektywnym.



Rysunek 13. Model identyfikacji lub strukturalnej syntezy systemu

Posługując się tym samym przykładem systemu bazy lotniczej (lotniska) można poznawać funkcjonowanie tego systemu i wprowadzać zmiany doskonalące jego funkcjonowanie, obserwując na *Symulatorze* animację następujących parametrów modelu lotniska:

- ◆ ujawnione czy ukryte;
- ◆ główny kierunek lądowania;
- ◆ sprawność pasa startowego;
- ◆ czas kołowania;
- ◆ sprawność MPS;
- ◆ zasoby paliwa;
- ◆ sprawność uzbrajania samolotów;
- ◆ zasoby LŚR (lotniczych środków rażenia);
- ◆ odporność na LŚR (lotnicze środki rażenia);
- ◆ liczba i typ stacjonujących samolotów.

Zakładamy przy tym, że znamy wszystkie pozostałe parametry opisane w poprzednich przykładach.

W praktyce wykorzystania *Symulatora* w badaniach najczęściej stosowane będą kombinację wszystkich trzech typów omówionych modeli. Nieodzowna dla prowadzenia badań jest bardzo dobra znajomość budowy *Symulatora*, wszystkich odzwierciedlanych w modelu funkcji, zdarzeń, obiektów elementarnych i ich parametrów. Wiedza taka pozwala budować na *Symulatorze* dowolne systemy walki z dowolnych elementów, obserwować dowolne zdarzenia. Jedynym ograniczeniem będzie liczba i sposób odzwierciedlania w *Symulatorze* elementów, funkcji i zdarzeń rzeczywistego systemu działań w powietrznym wymiarze walki i operacji. Takimi systemami walki mogą być np. eskadra, brygada, zgrupowanie lotnictwa składające się praktycznie z dowolnego typu samolotów, śmigłowców uzbrojonych w dowolne lotnicze środki bojowe. Podobne badania dotyczyć mogą systemów walki obrony powietrznej(OP). Mogą to być pojedyncze wyrzutnie, ale i dywizjony, pułki, brygady, zgrupowania bojowe naziemnych systemów OP dowolnego typu, współdziałające z lotnictwem lub funkcjonujące oddzielnie.

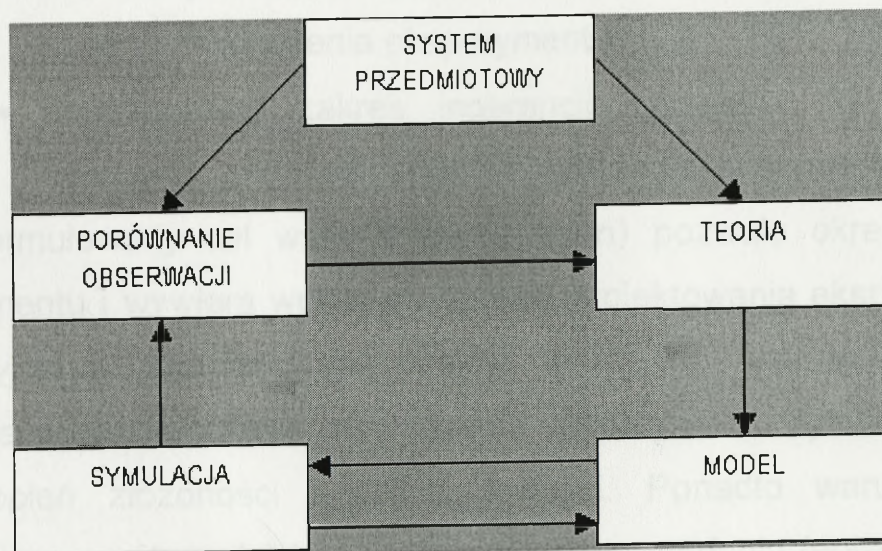
Oznacza to, że na bazie zaimplementowanego w *Symulatorze* modelu symulacyjnego możemy budować dla potrzeb badań i w ramach możliwości *Symulatora* własne submodele symulacyjne.

4.3 Eksperymenty symulacyjne i komputerowe gry wojenne

Wykorzystanie *Symulatora* do praktycznej symulacji procesów walki wymaga odpowiedniego zaprojektowania eksperymentu symulacyjnego. Eksperymenty są przeprowadzane w celu otrzymania potrzebnych danych do dalszych badań. Najczęściej formułowane cele eksperymentu symulacyjnego to:

- Wyznaczenie ilościowych charakterystyk pracy systemu w określonych warunkach
- Badanie wpływu zmian warunków pracy systemu na jego charakterystykę
- Badanie mające określić wpływ zmian zasad pracy systemu na otoczenie.

Cele te osiągnąć są najczęściej w układzie relacji między przedmiotowym systemem (operacyjno-taktycznym sił powietrznych), teorią i modelem symulacyjnym, które ilustruje rysunek 14.



Rysunek 14. System przedmiotowy, model, symulacja⁵¹

Zastosowanie Symulatora w prowadzeniu eksperymentów symulacyjnych wymagało będzie wykonania następujących czynności:

- zaprojektowanie eksperymentów;
- przeprowadzenie eksperymentów;
- badanie rezultatów eksperymentów.

⁵¹ J. Wołoszyn, *Język symulacyjny DELTA w systemie SYLLABUS*,. kademia Ekonomiczna, Kraków, 1994,.s. 11

W większości projektowanie eksperymentów zależy od problemu jaki został sformułowany. Przy projektowaniu eksperymentu następujące czynniki powinny być ustalone (wzięte pod uwagę):

- cele działań walczących stron;
- etapy (fazy, epizody) działań i ich kolejność w eksperymencie;
- potrzebne dane wejściowe, to znaczy systemy walki uczestniczące w eksperymencie, ich elementy, struktura, środowisko;
- potrzebny rodzaj danych wyjściowych, to znaczy oczekiwany sposób zakończenia eksperymentu;
- dopuszczalny zakres ingerencji człowieka (kierownictwa ćwiczenia, grających stron) w przebieg eksperymentu.

Sformułowany cel walki (działania stron) pozwala określić ramy eksperymentu i wywiera wpływ na sposób projektowania eksperymentu symulacyjnego. Sformułowanie celów walki dla walczących stron wyznacza wyraźnie zakres prowadzenia eksperymentu symulacyjnego, jego stopień złożoności i szczegółowości. Ponadto warunkuje w zasadniczy sposób podział na cele cząstkowe - zadania (epizody, fazy) eksperymentu.

Na przykład, jeśli celem jednej ze stron byłoby obezwładnienie baz lotniczych przeciwnika, a drugiej osłona tych baz przed uderzeniami z powietrza, to tak złożone procesy walki podzieliłyby się w naturalny sposób na następujące zadania. Dla strony atakującej:

- zaplanowanie dolotu;
- rozpoznanie obiektów uderzeń;
- utworzenie zgrupowania uderzeniowego;
- podejście do obiektów uderzeń;

- obezwładnienie systemu obrony powietrznej baz lotniczych;
- uderzenie na bazy lotniczej;
- ocena skutków uderzeń;
- odtworzenie zdolności bojowej uderzających sił

Natomiast dla strony broniącej się:

- zaplanowanie działań;
- utworzenie zgrupowania naziemnych i powietrznych sił OP;
- przeciwdziałanie rozpoznaniu powietrznemu przeciwnika;
- rozpoznanie oznak uderzenia przeciwnika powietrznego;
- walka z lotnictwem przeciwnika na podejściach do obiektów osłony;
- walka w bezpośredniej osłonie obiektów;
- odtwarzanie zdolności po odparciu uderzeń przeciwnika.

Ustalając warunki przebiegu symulacji bierze się pod uwagę: liczbę replikacji (powtórzeń), czas trwania jednej replikacji oraz warunki zatrzymania symulacji. Każda symulacja składa się z odpowiedniej liczby replikacji (powtórzeń). Większa liczba replikacji daje statystycznie bardziej wiarygodne wyniki. Jako wynik eksperymentów, osoba prowadząca projekt, powinna otrzymać surowe dane, które następnie powinny zostać odpowiednio przeanalizowane w celu wyodrębnienia odpowiednich rozwiązań.

Badanie wyników symulacji jest najważniejszą czynnością w każdym eksperymencie symulacyjnym. To one pozwalają sformułować odpowiedzi na wcześniej sformułowane pytania-problemy, wreszcie decydują one o osiągnięciu celu symulacji.

Gdy celem symulacji jest poprawienie funkcjonowania danego systemu, najlepszą metodą może być zebranie osób przeprowadzających symulacje, oraz sugerowanie i sprawdzanie

różnych alternatyw. To oznacza, że nie wszystkie alternatywy będą wykonywane. Jedną z najpoważniejszych wad tej metody jest pokusa drastycznego zredukowania czasów trwania symulacji każdej z alternatyw, lub przeprowadzenie niewystarczającej liczby replikacji, po to, żeby szybciej osiągnąć wyniki. Taki pośpiech może prowadzić do otrzymania wyników, które nie są poprawne ze statystycznego punktu widzenia (mało wiarygodne). Właściwości *Symulatora*, pozwalają uniknąć takich sytuacji, głównie przez wzgląd na możliwości wielokrotnego przyspieszenia replikacji np. faza podejścia do obiektów uderzeń zamiast 30 - 40 minut może trwać po uruchomieniu funkcji przyspieszenia kilkanaście sekund. Ponadto *Symulator* „pamięta” historię eksperymentu pozwalając wrócić do dowolnego jego momentu. Zatem każdą z wymienionych przykładowo faz można powtarzać wielokrotnie zatrzymując, cofać, a poza tym prowadzący eksperyment może ingerować w jego przebieg w dowolnym wybranym momencie, zatrzymując przebieg eksperymentu, przyspieszając lub cofając. Kierujący eksperymentem ma przy tym możliwość zmiany w jego trakcie każdej z przyjętych danych wejściowych.

Zakończenie replikacji eksperymentu symulacyjnego może nastąpić gdy:

- jedna ze stron poniosła straty uniemożliwiającej prowadzenie dalszych działań;
- jedna ze stron osiągnęła założone cele;
- kierujący eksperymentem osiągnął zakładany cel badawczy.

Najczęściej eksperymenty symulacyjne prowadzone będą w czasie ćwiczeń, które można prowadzić w oparciu o *Symulator*, w formie komputerowych gier wojennych (taktycznych). Takie zastosowanie *Symulatora* pozwala z punktu widzenia prowadzenia badań naukowych pozwala:

a) ocenić wpływ na przebieg i skuteczność działań bojowych między innymi:

- struktury organizacyjnej ćwiczących stron;
- sposobu rozmieszczenia w tej strukturze uzbrojenia;
- struktury ugrupowania bojowego sił ćwiczących stron;
- terenu,
- stosunku sił;
- efektywność rażenia stron;
- zabezpieczenia bojowego i logistycznego;
- dowodzenia dysponowanymi siłami

b) prognozować rozwój:

- struktur hierarchiczno-funkcjonalnych grających stron;
- angażowanych w grę typów uzbrojenia;
- taktyki i sztuki operacyjnej ćwiczących wojsk;

c) prognozować kreowanie nowych systemów uzbrojenia, elementów ugrupowania bojowego i operacyjnego;

d) poddać całościowym, kompleksowym badaniom struktury i zachowanie się angażowanych systemów walki i ich otoczenia w założonych warunkach eksperymentu;

e) wyjaśnić dynamiczną naturę analizowanych systemów przez obserwację przebiegu odwzorowywanych w *Symulatorze* przepływów danych i ich skutków;

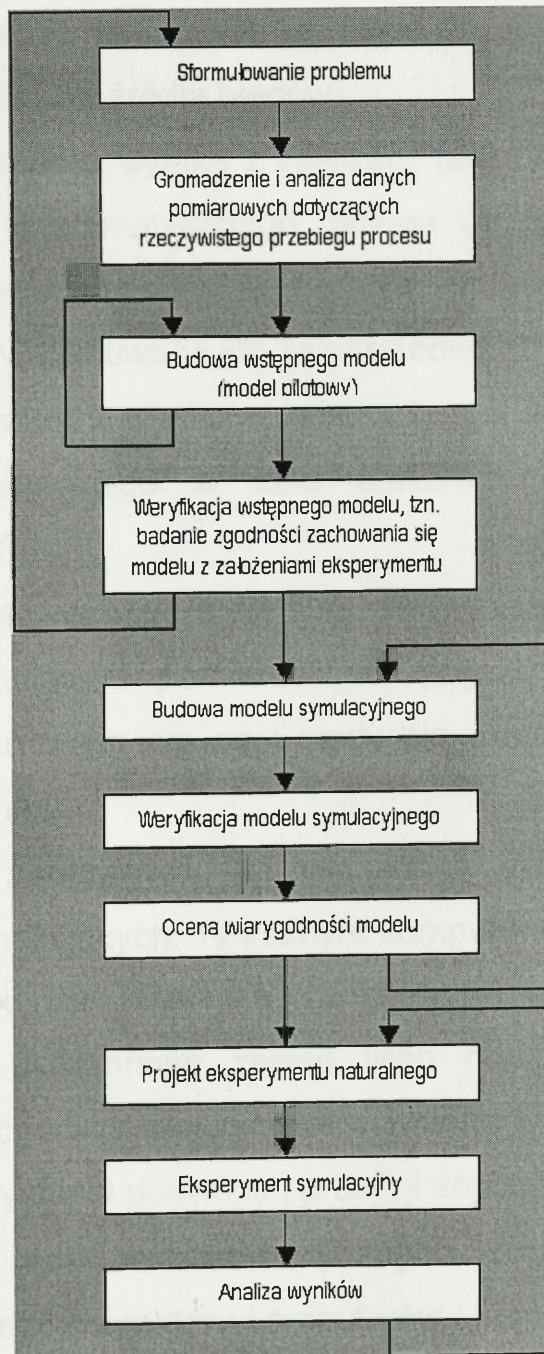
f) symulować okresowe sytuacje problemowe w celu określenia zakresu i treści współdziałania decydentów (dowódców zajmujących stanowiska dedykowane *Symulatora*), sposobu kształtowania się rzeczywistego przywództwa i wyrabiania autorytetu wśród uczestników eksperymentu oraz określenia czynników warunkujących kształtowanie się kolektywów grupowych.

Ponadto skonstruowany *Symulator* pozwala w pełni realizować charakterystyczne dla komputerowych gier wojennych funkcje poznawcze, weryfikacyjne (kryterialne), formalizacyjne.

Czynności realizowane w ramach eksperymentu symulacyjnego w grze wojennej (taktycznej) realizowanej na symulatorze składające się na ogólny schemat symulacji ilustruje rys. 8..

Realizując eksperyment symulacyjny należy pamiętać o typowych błędach w stosowaniu symulacji komputerowej (cyfrowej) do których należą:

- Błąd modelu - każdy model jest uproszczeniem systemu rzeczywistego; oszacowanie błędu modelu jest trudne błędy modelu wynikają z uproszczenia modelu matematycznego w celu efektywnego przeprowadzenia obliczeń;
- Błędy obcięć i zaokrągleń (przy obliczeniach numerycznych): Obcięcie procesu nieskończonego do postaci skończonej (dyskretyzacja wartości).
- Ograniczenie dokładności poprzez długość słowa maszynowego.
- Błędy możliwe do oszacowania:
- Błędy danych - dane są rezultatami pomiarów lub poprzednich obliczeń, wobec czego są obwarowane pewnymi błędami możliwymi do oszacowania.



Rysunek 15. Ogólny schemat symulacji⁵²

Wyniki symulacji komputerowej otrzymywane na podstawie modelu matematycznego obarczone są ponadto wieloma bledami, których

⁵² W. Urban, Zastosowanie symulacji w badaniach nad zdolnością systemu społeczno-ekonomicznego do funkcjonowania, ZN Akademia Ekonomiczna, Kraków, nr 493, s. 90

pochodzenie i wielkość nie zawsze są łatwe do określenia. W praktyce określa się cztery główne źródła błędów:

- **Błąd modelu** wynika z realizacji rzeczywistości za pomocą modelu matematycznego, polega on na uproszczeniach i pominięciach pewnych wartości, które na danym etapie modelowania uważa się za nieistotne.
- **Błąd metody** wynika z ostatecznego uproszczenia modelu matematycznego w celu efektywnego przeprowadzenia obliczeń.
- **Błędy danych** biorą się stąd, że w zasadzie wszystkie dane są rezultatami pomiarów lub poprzednich obliczeń i w związku z tym nie są i nigdy nie mogą być bezwzględnie dokładne.
- **Błędy zaokrągleń** są związane z cyfrowym charakterem maszyn liczących. W każdym komputerze liczby zapisywane są w kodzie binarnym (dwójkowym) w skończonej liczbie bitów. Dokładność zapisu liczb rzeczywistych wynika z długości słowa maszynowego i może być zwiększona przez wykorzystanie podwójnej precyzji zapisu.
- **Błędy obliczeń numerycznych** (obcięcie) wynikają z cyfrowego charakteru komputerów i przybliżonego charakteru samych obliczeń. Przykładowo liczby niewymierne muszą być przedstawione w postaci skończonej określonej liczby cyfr. Dokładność zapisu liczb rzeczywistych (w pamięci maszyny cyfrowej) bezpośrednio wpływa na dokładność obliczeń numerycznych. Zbyt mała dokładność obliczeń numerycznych wiąże się z niebezpieczeństwem zbyt dużego błędu, a zbyt duża dokładność może oznaczać zbyt duży koszt i czas obliczeń oraz wiąże się z ryzykiem, że

dokładność zapisu liczb wynikająca z długości słowa maszynowego jest mniejsza niż założona dokładność obliczeń numerycznych.

Wskazane zagrożenia stosowania *Symulatora* badaniach naukowych powodują, że warto zastanowić się: co pozwala osiągnąć sukces w symulacji?

Doświadczenie podpowiada, iż analizę taką należałoby zacząć przed przystąpieniem do badań od odpowiedzi na dwa pytania: co może pójść źle? i co zrobić aby odnieść sukces? Podczas przeprowadzania symulacji nie nad wszystkimi czynnikami ma się kontrolę, dlatego warto zrozumieć, jakie znaczenie ma każdy czynnik jak i każde posunięcie. Czasami największym problemem, jest wybór obszaru, który ma być poddany symulacji. Problem, który badacz chce, aby był przeanalizowany, może być niewłaściwym problemem do rozwiązania przy użyciu symulacji. Przed podjęciem decyzji o zastosowaniu symulacji do rozwiązania danego problemu należy zastanowić się czy to rzeczywiście jest najbardziej efektywna metoda. Zbieranie czy analizowanie danych jest też bardzo kłopotliwe. Danych może być za mało. Zbieranie danych wymaga bardzo długiego czasu, a czasami nawet jest zabronione bez posiadania specjalnych certyfikatów, których otrzymanie jest reglamentowane. Problemy z danymi mogą być spowodowane również ich nadmiarem, potrzebą selekcji i przeanalizowania. Danych może być także wystarczająca ilość, jednak ich rozumienie poprzez osoby prowadzące symulacje, a osoby zbierające dane może być odmienne.

Pozostawianie badania danych wyłącznie na koniec symulacji jest także niewłaściwe. Nie należy postrzegać symulacji jako procesu sekwencyjnych etapów, ale jako proces, w którym dane etapy są często realizowane równolegle i powtarzane. Dlatego realizując projekt

symulacji należy ustalić kroki pośrednie i terminy ich osiągnięcia, w taki sposób, aby część czasu poświęcić na eksperymenty i analizę samego modelu.

Ostatnią kwestią, o której warto wspomnieć, jest testowanie modelu w trakcie eksperymentu symulacyjnego. Analiza, weryfikacja i walidacja modelu mogą być przeprowadzane w trakcie realizacji badań symulacyjnych i części ich nie należy zostawiać na sam koniec badań. Symulacja ma wielki wpływ na prowadzących badania. Jeżeli wyciągną oni wnioski na podstawie błędnego modelu, wyrządzi się większą szkodę niż gdyby symulacja nie została zakończona lub w ogóle przeprowadzona.

Sukces lub porażka symulacji często jest zdeterminowana podczas rozpoczęcia projektu. Specyfikacje symulacji muszą być jasno sprecyzowane i tak samo rozumiane przez osoby przeprowadzające symulacje jak i te, które zlecają wykonanie symulacji. Nie zrozumienie wyznaczonych celów lub zakresu projektu oznacza jego porażkę zanim jeszcze projekt naprawdę się rozpocznie.

Planowanie jest podstawą sukcesu. Im wcześniej będzie wiadomo, co jest potrzebne i w której fazie trwania projektu, tym szybciej można zacząć się do tego etapu przygotowywać. Planowanie powinno być także odpowiednio szczegółowe. Zadania wymagające dużego nakładu pracy powinny być rozbite na mniejsze i dla każdego z nich ustalone zasoby i terminy. Ten plan musi być ciągle sprawdzany i w razie potrzeby dostosowywany. Ustalane terminy muszą być realistyczne. Krokami, które sprawiają najwięcej problemów i wymagają dużo czasu są: zbieranie danych, weryfikacja, oraz przeprowadzenie analizy. Gdy projekt zbliża się ku końcowi, model jak i jego zmienne powinny być rewidowane z coraz większą częstotliwością.

4.4 Wady modelowania symulacyjnego

Stworzenie i rozwój modelu symulacyjnego wymaga posiadania wcześniejszego doświadczenia. Dodatkowo każdy projekt symulacyjny jest wyjątkowy. Dwa modele symulacyjne tego samego rzeczywistego systemu nigdy nie będą takie same. Jednakże rozwój oprogramowania symulacyjnego ułatwił znacznie przeprowadzania symulacji przy wykorzystaniu symulatorów, których komponenty wymagają wprowadzenia odpowiednich danych wejściowych. Ponieważ modele symulacyjne oparte są często na losowych danych wejściowych, dane wyjściowe w gruncie rzeczy są losowymi zmiennymi, opartymi na wewnętrznych relacjach i przypadkowości występującej w systemie. Jednak większość symulatorów posiada zdolności ekstensywnej analizy statystycznej danych wyjściowych.

Większa złożoność modelu symulacyjnego wymaga poświęcenia większego czasu na konstrukcję i rozwój modelu, jak również na przetestowanie i ocenę różnorodnych scenariuszy. Popularność symulacji może przyczynić się do nadmiernego jej zastosowania w sytuacjach, gdy inne rozwiązania byłyby bardziej efektywne. Jednakże większość istniejących systemów nie może być inaczej przeanalizowana jak tylko przy użyciu symulacji, ze względu na swoją złożoność.

Trudno jest udowodnić poprawność wyników symulacji, jak również nie ma żadnej gwarancji, że znalezione rozwiązanie jest rozwiązaniem optymalnym. Z drugiej strony, duża liczba otrzymanych wyników, jak i realistyczna animacja, mogą prowadzić do przekonania o prawdziwości otrzymanych rezultatów. Różne ukryte założenia mogą powodować, że model będzie różnił się znacznie od systemu rzeczywistego, a co za tym idzie, że wyniki symulacji nie są łatwe do interpretacji.

4.5 Zalety modelowania symulacyjnego

Model symulacyjny pozwala przetestować każdy aspekt zaproponowanego rozwiązania bez wcześniejszego poświęcania zasobów i przerywania trwających operacji (działań). Ponieważ eksperymentowanie w warunkach rzeczywistych jest zwykle bardzo kosztowne albo wręcz niemożliwe, zaleta zastosowania symulacji jako narzędzia wspomagającego decyzje bez poświęcania zasobów jest łatwo zauważalna, np. najodpowiedniejsza konfiguracja rzeczywistego systemu może zostać wybrana nawet przed zakupem jakiegokolwiek wyposażenia. Kiedy już model symulacyjny został stworzony, nowe reguły, zasady, metody postępowania mogą być sprawdzone poprzez dokonanie pewnych modyfikacji podstawowego modelu. Efekty tych zmian mogą być obserwowane jako dane wyjściowe modelu symulacyjnego, bez konieczności eksperymentowania z rzeczywistym systemem i bez związanych z tym koniecznych nakładów.

Odpowiednia regulacja upływu czasu w modelu symulacyjnym pozwala użytkownikowi na skrócenie bądź wydłużenie symulacji interwałów czasowych, tak aby każde zjawisko mogło być dokładnie przeanalizowane, jak również by zachowanie całego modelu mogło być zaobserwowane podczas dłuższego czasu. Wykonując symulację można wytłumaczyć występowanie pewnych zjawisk w systemie rzeczywistym, ponieważ każda pojawiająca się zdarzenia, czy wątpliwości mogą zostać dokładnie wyjaśnione. Dzięki temu polepsza się zrozumienie sposobu działania systemu rzeczywistego. Modele symulacyjne bardziej obiektywnie przedstawiają działanie rzeczywistego systemu niż opisują subiektywne przewidywania, uwzględniają także niepewność i prawdopodobieństwo występowania niektórych zjawisk (jak np. uszkodzenia sprzętu). Animacja pozwala na wizualizację stanu zachowań modelu, co z kolei umożliwia wykrycie potencjalnych słabych

punktów w systemie rzeczywistym. W konsekwencji potencjalne problemy systemu mogą być wcześniej zdiagnozowane, np. przez identyfikację wąskich gardeł. Opóźnienia w otrzymywaniu gotowych produktów mogą zostać przeanalizowane i ich przyczyny zidentyfikowane. Złożone systemy mogą być przedstawione w bardzo realistyczny sposób, dzięki czemu symulacja jest bardziej przekonująca niż modele matematyczne i łatwiejsza do zrozumienia dla jej odbiorców.

Projekty, scenariusze i modyfikacje w modelach symulacyjnych są dobierane w sposób, zapewniający otrzymanie jak najlepszych i najbardziej pożądaných rezultatów. Modelowany, przetestowany, zweryfikowany i wizualnie przedstawiony model symulacyjny daje wiarygodne i łatwiejsze do zaakceptowania wyniki niż subiektywne opinie ekspertów. Wyniki symulacji dostarczają również odpowiedzi na pytania „co by było gdyby”, pojawiające się za każdym razem, gdy rozważa się wprowadzenie pewnych modyfikacji w systemie. Symulacja jest zawsze mądrą inwestycją dla każdej firmy (także sił zbrojnych), ponieważ średnie koszty rozwoju modelu i eksperymentowania z nim są dużo niższe niż całkowite wydatki poświęcone na zaprojektowanie bądź przeprojektowanie rzeczywistego systemu. Jest także efektywnym narzędziem treningowym dla kadry menedżerskiej (dowódczej).

Symulacja może być także zastosowana do wyspecyfikowania wymagań potrzebnych podczas projektowaniu lub przeprojektowywaniu systemu. Ponadto pewne konieczne charakterystyki złożonych systemów mogą zostać ustalone podczas dążenia do osiągnięcia pożądaných celów symulacji.

Zakończenie

Realizując niniejszą pracę badawczą określiliśmy miejsce modelu symulacyjnego działań powietrznych, jako narzędzia wspomagającego dowodzenie oraz badawczego w kontekście metody naukowej w naukach wojskowych. Wyjaśniliśmy znaczenie komputerowych modeli symulacyjnych i gier wojennych w badaniach naukowych, wskazując na wady i zalety modeli symulacyjnych. Przedstawiliśmy - dla potrzeb badań - strukturę funkcjonalną *Symulatora*, listę obiektów elementarnych, decyzji stron, stanów i zdarzeń oraz pełną specyfikację wymagań funkcjonalnych spełnianych w Symulatorze, a będących potencjalnym przedmiotem eksperymentu. Sprecyzowaliśmy wreszcie dobór, układ i kolejność czynności badawczych realizowanych z zastosowaniem *Symulatora* w modelowaniu symulacyjnym, prowadzeniu eksperymentów symulacyjnych i komputerowych gier wojennych.

Uznaliśmy zatem, że rozwiązaliśmy problemy główne badań:

1. W czym wyraża się istota i jakie są możliwości symulacyjnego modelu działań powietrznych?
2. Jakie są możliwe obszary zastosowań symulacyjnego modelu działań powietrznych?
3. Jakie są preferowane zastosowania symulatora, i jakie występują ograniczenia w jego stosowaniu?

oraz osiągnęliśmy zakładany cel – to znaczy zarysowaliśmy dwa obszary zastosowania symulacyjnego modelu działań powietrznych: do wspomaganie dowodzenia i badań naukowych, wskazując na kierunki badań szczegółowych, w ramach kolejnych etapów.

W kolejnych etapach metodyki te będziemy dalej wzbogacać o przykłady konkretnych zastosowań. Pełna weryfikacja zasadności postulowanych w niniejszym materiale zastosowań symulatora powinna zostać przeprowadzona przez użytkowników, dla których przeznaczone

jest to narzędzie. Choć mamy pełną świadomość, że twórcze obcowanie z tym narzędziem zrodzić może jeszcze wiele oryginalnych pomysłów jego zastosowań. Za szczególnie ważne uważamy zasygnalizowanie potrzeb statystycznego opracowania wybranych wyników symulacji i zaprezentowanie koncepcji ich prowadzenia.

Zastosowania symulatora we wspomaganiu dowodzenia siłami powietrznymi nie są pierwszoplanowymi, biorąc pod uwagę jego walory aplikacyjne we wspomaganiu realizacji ćwiczeń, a także możliwości stosowania podczas badań naukowych. Jednakże zastosowania w dowodzeniu mają najważniejszą wagę, nie tyle z racji samego zakresu zastosowań i uzyskiwanych efektów, co raczej z rangi podejmowanych w tym procesie decyzji. Już sama możliwość podniesienia ich na wyższy poziom merytoryczny dzięki użyciu tego symulatora, choćby w jednym z proponowanych zastosowań jest wystarczającym uzasadnieniem potrzeby jego wdrożenia.

taktycznego - polityczny projektowanie i wypracowanie, ASG WP, Warszawa 1984.

9. Barczak A., Komputerowe gry wojenne, Bellona, Warszawa 1985.

10. Barczak A., Komputerowe gry wojenne, Materiały konferencji "Inżynieria systemów w rozwoju społeczno-ekonomicznym i obronnym kraju", ASG WP, PAN, Warszawa 1985.

11. Barczak A., Komputerowa gra wojenna cyfrowo-analogowego zwiastu taktycznego ZN ASG 1984, nr.7

12. Gordon R. F., Wprowadzenie do symulacji gier, WNT, Warszawa 1974.

13. Faure R., Boss J., LeGoff A., Badania operacyjne PWN 1982, s.123.

14. Pilar W., Barczak A., Symulacja i gry komputerowe w zastosowaniach wojskowych, SG WP, Warszawa 1985.

Bibliografia:

1. AAP-6, NATO Glossary of terms and definitions , 1995.
2. AIRNORTH Operational Directive 001C-1, AIRNORTH High Intensity Warfighting non-Deployed Procedures, Ramstein, AIRNORTH HQ, 2002.
3. AJP-01 Allied Join Publication, Bruksela 1996.
4. Antczak S. i zespół: Organizacja misji bojowych w jednostkach lotnictwa sił powietrznych NATO, AON 2000.
5. ATP-33B Tactical Air Doctrine, 1980.
6. ATP-42B Counter Air Operations, 1986.
7. Barczak A. Simulation Game as a Tool of Modern Control Proceedings of the Fifth International Symposium. System – Modelling – Control, Zakopane, October 12, 1986
8. Barczak A., Komputerowa gra wojenna ogólnowojskowego związku taktycznego - podstawy projektowania i wykorzystania, ASG WP, Warszawa 1984.
9. Barczak A., Komputerowe gry wojenne, Bellona, Warszawa 1996.
10. Barczak A., Komputerowe gry wojenne, Materiały kolokwium nt. "Inżynieria systemów w rozwoju społeczno-ekonomicznym i obronnym kraju", ASG WP, PAN, Warszawa 1985.
11. Barczak, A., Komputerowa gra wojenna ogólnowojskowego związku taktycznego ZN ASG 1984, nr.7.
12. Burton R. F., Wprowadzenie do symulacji i gier, WNT, Warszawa, 1974
13. Faure R., Boss J., LeGarff A., Badania operacyjne PWN 1982, s.128.
14. Filar W., Barczak A., Symulacja i gry komputerowe w zastosowaniach wojskowych. SG WP, Warszawa 1985.

15. Filar W., Modelowanie i symulacja komputerowa w procesie dowodzenia wojskami. Myśl wojskowa nr 5/84.
16. Filozofia a nauka, zarys encyklopedyczny, PAN, Warszawa 1987
17. Flanek Cz., Wspomaganie dowodzenia w systemie OPL wojsk operacyjnych, Rozprawa habilitacyjna, AON, Warszawa 1991.
18. Goryl A, Jędrzejczyk Z., Dydaktyczne aspekty symulacyjnego modelu przedsiębiorstwa „SYMPROFI”, ZN Akademia Ekonomiczna, Kraków, 1994, nr 441
19. Groszek Z., Metodyka oceny przeciwnika powietrznego na szczeblu taktycznym i operacyjno- taktycznym wojsk systemu OP RP, AON, Warszawa 1993.
20. Gruszczyński J., Wasser C., Zwalczenie potencjału lotniczego przeciwnika przez siły powietrzne NATO, AON 2000.
21. Jarmakow S. M., Metoda Monte Carlo i zagadnienia pokrewne, PWN 1976.
22. Jura J. + zespół, Wojna jako przedmiot badań naukowych, cz. I i II, AON, Warszawa 1994
23. Kamieński S., Nauka i metoda, Towarzystwo Naukowe KUL, Lublin 1998
24. Karczmarek J. + zesp., Metodyka wojskowych badań naukowych, Cz.II, Metody sformalizowane, AON, Warszawa 1989
25. Kolman R., Inżynieria jakości, PWE, Warszawa 1992.
26. Kołodziński E. Badanie skuteczności działania systemu obrony powietrznej metoda symulacji cyfrowej, Myśl Wojskowa 1981, nr.7.
27. Koziół J., Decyzja w dowodzeniu, AON 1998.
28. Krauze M., Szulc B., Sztuka wojenna, konteksty teoretyczne i praktyczne, Adam Marszałek, Toruń 2000.

29. Kucharski M. + zesp., Metodyczne uwarunkowania procesu badań w czasie ćwiczeń wojskowych, AON, Warszawa 1994
30. Kuriata R. Chojnacki M. Miodek S., Dowodzenie w obronie powietrznej, Etap-I, Teoria i praktyka, AON 2003.
31. Kurnal J. - Zarys teorii organizacji i zarządzania. PWE, Warszawa 1970.
32. Makowski P., Marud W., Kryteria oceny efektywności planowanych wariantów użycia lotnictwa uderzeniowego, AON 2001.
33. Makowski P., Ocena defensywnych wariantów działań bojowych na taktycznych szczeblach dowodzenia sił powietrznych, Etap I – Stan obecny, AON 2003.
34. Makowski P., Prospektywna ocena efektywności użycia lotnictwa uderzeniowego w walce o przewagę w powietrzu, AON 2001.
35. Marszałek M., Radomyski A., Metodyka pracy zespołów funkcjonalnych na stanowisku dowodzenia brygady raketowej sił powietrznych, AON 2003.
36. Mroczo F., Żywotność bojowa sił powietrznych i metody jej oceny, WAT 1996.
37. Naylor T. M., Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych, PWN, Warszawa, 1975
38. Nowicki T., Modelowanie matematyczne metody symulacyjne, WAT, Warszawa 1994.
39. Pelc. M., Wybrane problemy wojskowych badań naukowych, AON, Warszawa 1998
40. Planowanie obrony powietrznej – materiały z sympozjum, AON, Warszawa 2003.

41. Proces planowania działań bojowych w sztabach sił zbrojnych NATO,
Wyd. Szt. Gen. WP, Warszawa 1998.
42. Rumbaugh J., Blaha M., Premerlani W., Eddy F., Lorensen W.,
Object-Oriented Modeling and Design, Prentice-Hall Inc., 1991.
43. Ruta R. Mazurkiewicz A., Modelowanie symulacyjne systemów eksploatacji, Radom 1991.
44. Sienkiewicz P., Komputerowa Gra wojenna jako urządzenie analizy systemowej procesów walki, Materiały Sympozjum, Zastosowania modelowania, symulacje komputerowe w wojsku, ASG WP, Warszawa 1982.
45. Sienkiewicz P., Spustek H., Wielokryterialna analiza porównawcza, AON 1995.
46. Sienkiewicz P., Wartości, oceny i efektywność systemów Zeszyty Naukowe, AON 1994, nr.4(17).
47. Skrzypek J., Rola i miejsce modeli symulacyjnych w procesie strategicznego zarządzania firmą, ZN Akademia Ekonomiczna, Kraków, 1996 nr 475
48. Urban W. , Zastosowanie symulacji w badaniach nad zdolnością systemu społeczno-ekonomicznego do funkcjonowania, ZN Akademia Ekonomiczna, Kraków, nr 493
49. Ward P.T., Mellor S.J., Structured Development for real-time systems, Yourdon Computing Series, Yourdon Press, Prentice Hall Inc., 1985.
50. Wassermann A.I., Pircher P.A., Muller R.J., Concepts of Object-Oriented Structured Design, Interactive Development Environments Inc., 1989.

51. Wiśniewski E., Metodyka wojskowych badań naukowych, Cz.I, |Zeszyt Wprowadzenie do metodyki i wojskowe badania naukowe, AON, Warszawa 1988
52. Wiśniewski E., Metodyka wojskowych badań naukowych, Cz.I, |Zeszyt Materialistyczna metoda dialektyczna i ogólnonaukowe metody – sposoby podejścia, AON, Warszawa 1988
53. Wiśniewski E., Metodyka wojskowych badań naukowych, Cz.I, |Zeszyt Materialistyczna metoda dialektyczna i ogólnonaukowe metody – sposoby działania, AON, Warszawa 1988
54. Wiśniewski E., Metodyka wojskowych badań naukowych, Cz.I, |Zeszyt Proces wojskowych badań naukowych, AON, Warszawa 1988
55. Wołoszyn J., Język symulacyjny DELTA w systemie SYLLABUS, Akademia Ekonomiczna, Kraków, 1994
56. Zabłocki E., Antczak S., Ocena efektywności działań bojowych Wojsk Obrony Powietrznej Kraju, Rozprawa habilitacyjna, Zeszyty Naukowe ASG 1985.
57. Zabłocki E., Antczak S., Ocena efektywności działań bojowych związku operacyjno-taktycznego OPK dla potrzeb planowania walki, ASG WP 1984.
58. Zajas S. i zespół: Podstawy użycia rodzajów wojsk sił powietrznych, AON 1999.
59. Zajas S. Pieciukiewicz T., Kozub M., Gruszczyński J., Nowak J, Cieślak E., Wybrane problemy użycia sił powietrznych NATO, DWLOP, 1998.
60. Zajas S., Szpyra R., Dowodzenie siłami powietrznymi NATO, cz. II, AON 1998.

61. Zdrodowski B., Glen A., Zych J., Projekt logicznego modelu symulatora operacyjno-taktycznych działań powietrznych, AON 2003.
62. Zdrodowski B., Podstawy teorii współczesnej obrony powietrznej, Zeszyty Naukowe AON nr 10(10), Warszawa 1993.
63. Zdrodowski B., Zych J., Koncepcja realizacji symulatora operacyjno-taktycznych działań powietrznych, AON, Warszawa 2003.

5 Załączniki

5.1 Słownik wybranych pojęć modelowania symulacyjnego

Model ciągły (w czasie) - zmienne modelu zmieniają wartości w dowolnych chwilach czasu. Oba przypadki występują równocześnie tworzą model ciągły.

Model ciągły (w poziomie) - zmienne modelu przyjmują wartości ze zbiorów przeliczalnych.

Model cyfrowy - zbiór wartości zmiennych wejściowych, wyjściowych i stan modelu są przeliczalne oraz zmiany wartości zmiennych mogą następować jedynie w określonych chwilach czasu.

Model dynamiczny – to taki, który wyraźnie podkreśla zjawisko upływu czasu. Dodatkowo niektóre modele dynamiczne dostarczają określony po czasie zbiorów chwilowych stanów systemu, określają wzajemne powiązania między stanami systemu w różnych momentach czasu. Dynamiczne modele symulacyjne to modele na które upływ czasu ma istotny wpływ.

Model dyskretny w czasie - jest to model, w którym zbiór chwil czasu, dla którego realizowane są zmienne modelu jest przeliczalny (przestrzeń czasu jest dyskretna).

Model fizyczny - reprezentacja rzeczywistości umożliwiająca przeprowadzenie bezpiecznych eksperymentów z zachowaniem natury przebiegów sygnałów tej rzeczywistości.

Model matematyczny - uproszczone przedstawienie istniejącego lub projektowanego procesu w postaci sformalizowanych matematycznych reakcji i abstrakcyjnych założeń.

Model o parametrach rozłożonych - opisywany jest przez równania różniczkowe cząstkowe.

Model o parametrach skupionych - opisywany jest przez równania różniczkowe zwyczajne.

Model rzeczywistego procesu - to uproszczony i przybliżony sposób przedstawiania tego procesu przystosowany do określonych zastosowań łącznie z ograniczeniami związanymi z procesem i uproszczeniami powstałymi podczas budowy modelu. Każdy model musi mieć swój cel. Najczęściej model przeznaczony jest do modelowania procesu już istniejącego. Modele mają istotne zastosowanie w procesach projektowania.

Model zagregowany - w modelu zagregowanym interesują nas jedynie sygnały wejściowe i wyjściowe bez wnikania w rzeczywistą budowę modelu.

Modelowanie - doświadczalna lub matematyczna metoda badania złożonych układów zjawisk i procesów na podstawie konstruowanych modeli.

Modelowania doświadczalne - opiera się na podobieństwie fizycznym (badanie przeprowadza się na układach podobnych), rozpatrywanie innych układów rządzonech takimi samymi prawami poprzez analogie.

Modelowanie matematyczne - polega na tworzeniu modeli matematycznych i wykorzystaniu aparatu matematycznego do ich analizy - wykorzystanie techniki komputerowej (obliczenia), symulacją. Modelowanie matematyczne pozwala na obniżenie kosztów związanych z badaniami.

Modelu fenomenologiczny - w modelu fenomenologicznym zgłębiamy prawa rządzące danym procesem fizycznym.

Parametry modelu - zmienne, które w badanym przedziale czasu można uznać za znane z góry stale lub za znane zmiany w czasie.

Proces - są to rzeczywiste zmiany zachodzące w czasie w systemie na skutek działań wewnętrznych bądź zewnętrznych. Procesy dzielimy na ciągłe i dyskretne.

Procesy ciągłe - mogą zachodzić dowolnie małe zmiany stanu w dowolnie małych odcinkach czasu. Procesy ciągłe, aby mogły być modelowane przez techniki komputerowe muszą być przybliżone za pomocą procesów dyskretnych. Wynika to z natury maszyn cyfrowych. Symulacji nie możemy dokonać w dowolnych odcinkach czasowych, z cyklu maszyny.

Procesy dyskretne - zmiany stanu występują w określonych momentach czasowych.

Statyczny model symulacyjny - to taki, w którym zmiana czasu nie ma wpływu na wynik eksperymentu. Np. model opisujący rzut kostką wynik 1,2,3,4,5 lub 6 nie jest w żaden sposób uzależniony od czasu. Przykładem metod symulacyjnych dla modeli statycznych jest metoda, w której model albo pomija udział czasu albo też utrzymuje chwilowy stan systemu w pewnym momencie czasu.

Symulacja ciągła - realizowana w maszynach analogowych

Symulacja dyskretna - stosuje się na maszynach cyfrowych symulacji zjawisk ciągłych.

Symulacja komputerowa - metoda wnioskowania o zachowaniu się obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji działania programów komputerowych symulujących ich zachowania.

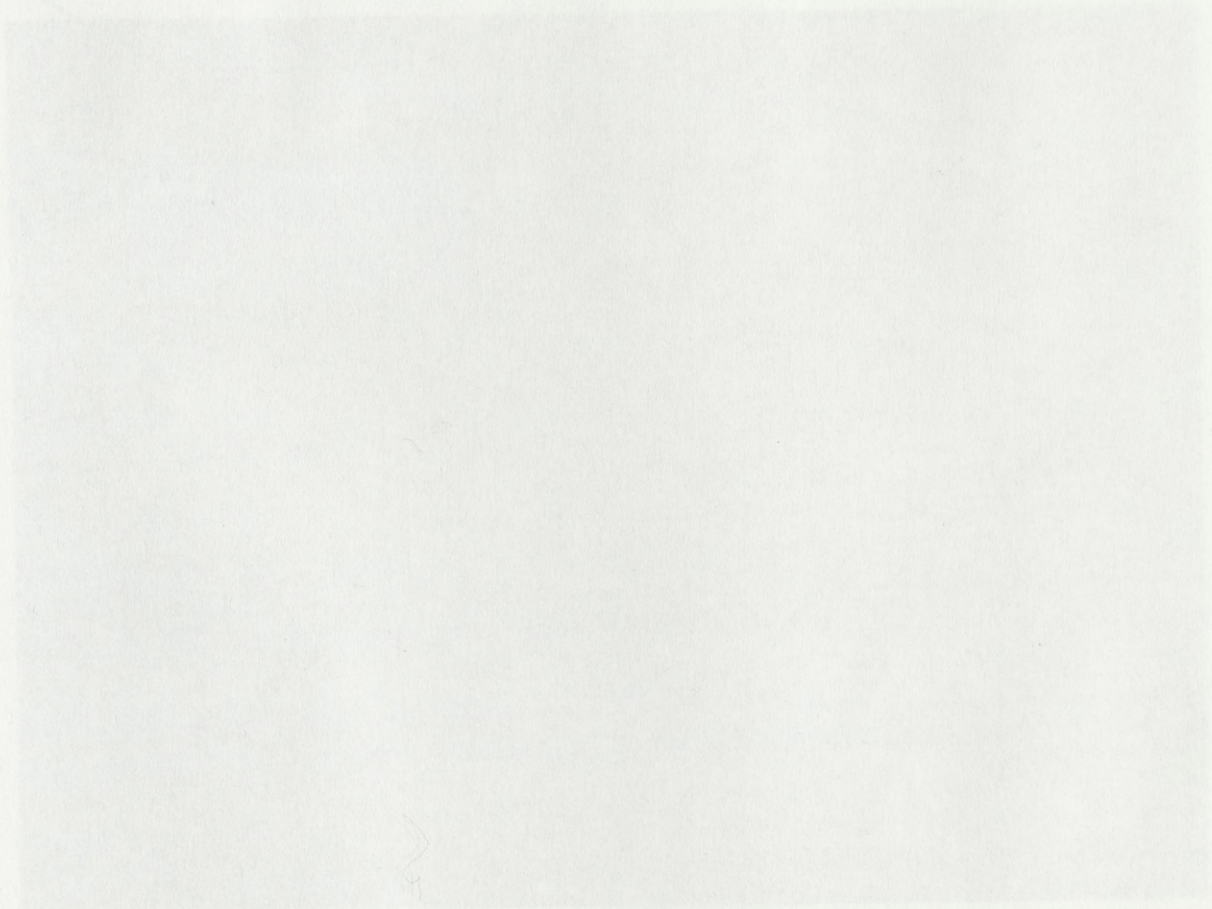
System - jest to zespół obiektów tworzących logiczną całość, składających się z powiązanych ze sobą elementów funkcjonujących dla osiągnięcia celu.

Wektor stanu procesu - (wyróżnia się w procesach dynamicznych) zbiór zmiennych wewnętrznych umożliwiający pełną reprezentacją stanu modelu.

Wymiar procesu - rzeczywista lista zmiennych stanu.

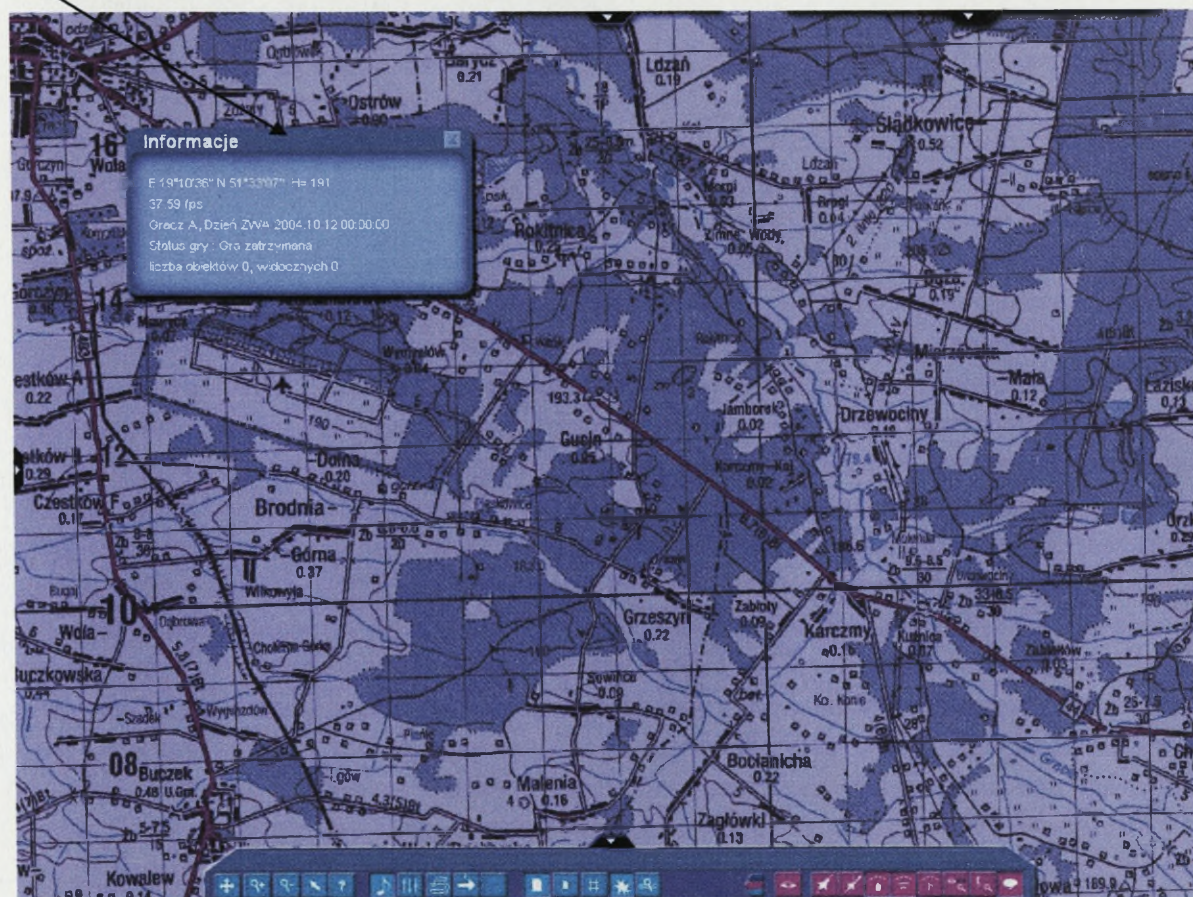
Zmienne wejściowe - wielkości za pomocą których środowisko oddziałuje na dany proces.

Zmienne wyjściowe - opisane wektorem wyjść wielkości, za pomocą, których proces oddziałuje na środowisko.

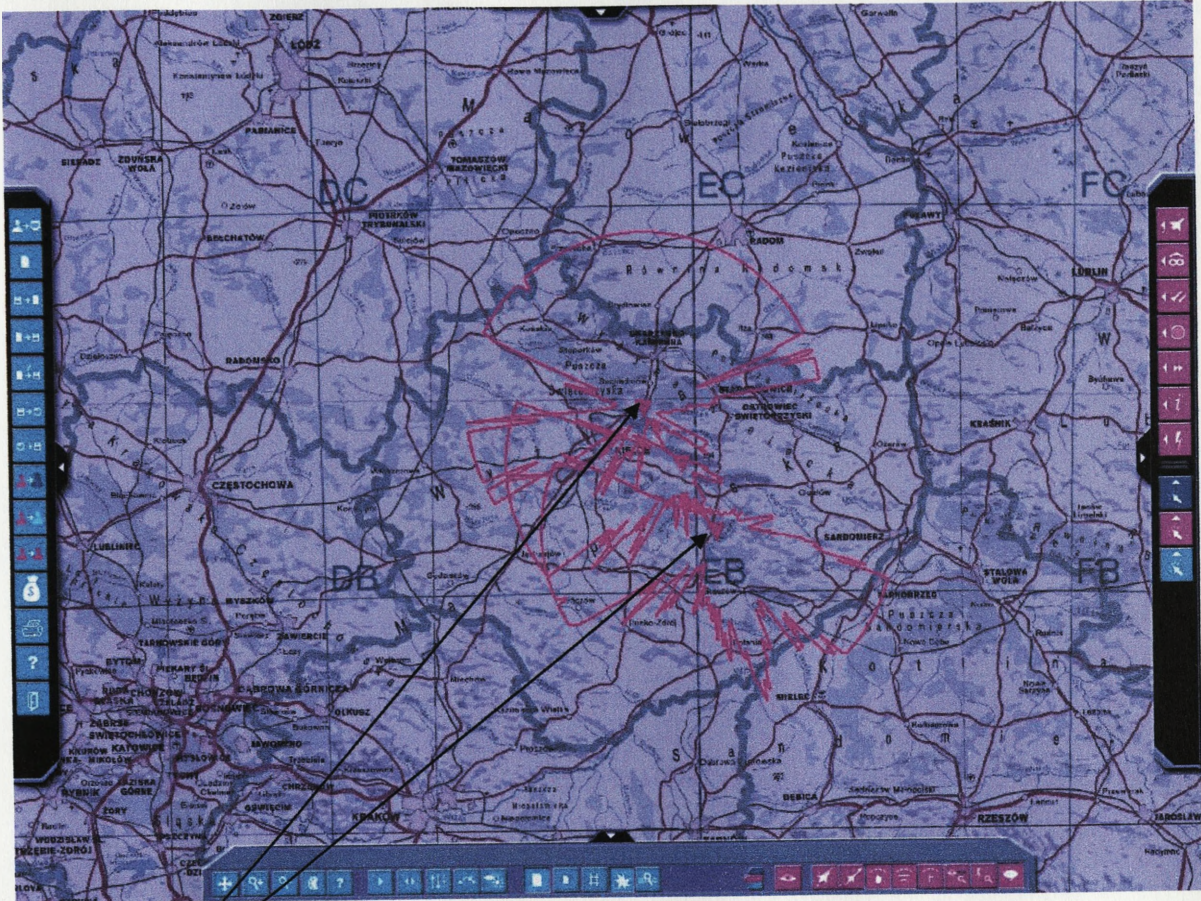


5.2 Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy symulatora podczas posługiwania się edytorem map topograficznych.

Informacje w oknie dotyczą wskazanego punktu w terenie.



5.4 Przykład treści zobrazowanych na monitorze stanowiska pracy podczas modelowania strefy informacji radiolokacyjnej przeciwnika (wyboru pozycji posterunków radiolokacyjnych).



Pozycje stacji radiolokacyjnych

2.8. Przegląd treści rozprawionych na monitorze stanowiska pracy
podczas modelowania systemu ogni przeciwnika (oceny
pozycji PZR)



Pozycje przeciwlotniczych zestawów
rakietowych

