

УДК 623.765:681.513.6

М.А. Павленко, В.М. Руденко, С.В. Сериченко, С.І. Сімонов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА MATLAB ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРА АСУ

В статті розглянуто питання можливості використання пакетів *Silverrun*, *Rational Rose* та *MATLAB* для моделювання діяльності оператора АСУ. Наведено приклади моделювання вершин графової моделі, загальна структура моделі діяльності оператора при вирішенні задачі оцінки повітряної обстановки в середовищі *MATLAB* з розширенням *SIMULINK* та результати її аналізу.

**Ключові слова:** моделювання, оператор, графові моделі, *MATLAB*.

### Вступ

В сучасному світі існує тенденція все більшого впровадження засобів автоматизації та автоматизованих систем управління (АСУ) в усі сфери людського життя від сфери виробництва до транспортної галузі, та від медицини до домашнього господарства.

Впровадження засобів автоматизації на ряду з вирішенням технічних задач потребують також вирішення задач математичного та програмного забезпечення для повноцінного узгодження технічних можливостей з можливостями людини. Узгодження проходить на декількох рівнях: рівень розподілу задач між людиною та технікою та рівні «зручності» використання технічних засобів людиною. Найбільш досконалим методом перевірки узгодженості технічної та людської складових є проведення натурних випробувань. Проте, використання при створенні систем «людина – машина» натурних випробувань економічно недоцільно, адже це потребує залучення значних коштів, досить великої групи людей та необхідності залучення значної кількості дослідників. В літературі [1 – 3] описано декілька підходів для вирішення такої задачі. Найбільш привабливим шляхом є проведення попереднього моделювання діяльності оператора. На сьогоднішній день існує досить багато спеціалізованих систем моделювання діяльності оператора [4, 5], які є власністю компаній розробників, які або не розповсюджуються або коштують досить дорого.

Особливості діяльності оператора АСУ показують, що оптимальним способом дослідження їх діяльності є моделювання. Тому актуальною є задача пошуку досяжних засобів моделювання їх діяльності, які б дозволили проводити моделювання та одночасний аналіз отриманих даних.

**Аналіз літератури.** Відомі методи і моделі, що дозволяють вирішувати задачі моделювання діяльності оператора прийнято поділяти на такі групи: імітаційні, аналітичні, комбіновані, стохас-

тичного аналізу, штучного інтелекту, а також комбінації цих методів (моделей) [6].

На сьогоднішній день існує кілька спеціалізованих програмних пакетів, питання щодо застосування яких при моделюванні діяльності оператора АСУ є відкритим.

CASE-Засіб *Silverrun* американської фірми *Computer Systems Advisers, Inc.* використовується для аналізу й проектування інформаційних систем бізнес-класу, процесів, а також моделювання діяльності операторів різних сфер діяльності [7]. Воно застосовується для підтримки будь-якої методології, заснованої на роздільній побудові функціональної й інформаційної моделей (діаграм потоків даних і діаграм «сутність-зв'язок»). Настроювання на конкретну методологію забезпечуються вибором необхідної графічної нотації моделей і набору правил перевірки проектних специфікацій. Аналіз функціональних можливостей пакету свідчить про доцільність його використання для моделювання інформаційної складової забезпечення діяльності оператора.

*Rational Rose* – CASE-засіб фірми *Rational Software Corporation* (США) - призначено для автоматизації етапів аналізу й проектування ПЗ, моделювання діяльності оператора, менеджера, а також для генерації кодів на різних мовах і випуску проектної документації [7]. *Rational Rose* використовує синтез-методологію об'єктно-орієнтованого аналізу й проектування, засновану на підходах трьох провідних спеціалістів у даній області: Буча, Рамбо й Джекобсона. Розроблена ними універсальна нотація для моделювання об'єктів (*UML* – *Unified Modeling Language*) претендує на роль стандарту в області об'єктно-орієнтованого аналізу й проектування. Дане середовище також можна використовувати для моделювання діяльності оператора, проте для побудови повної моделі, яка буде включати в себе кілька десятків діаграм необхідно дуже багато часу та зусиль, а запустити систему в динаміці взагалі можливо, хоча й дуже важко. Але зробити необхідну кількість прогонів для набору статистичних даних все – таки неможливо.

MATLAB – це одна із найбільш досконалих, ретельно опрацьованих та перевічених часом систем автоматизації математичних розрахунків, побудована на розширеному представленні і використанні матричних операцій. Однією з найважливіших задач системи завжди було представлення користувачам потужної мови програмування, орієнтованої на технічні та математичні розрахунки і здатного перевершити можливості традиційних мов програмування. При цьому особлива увага приділялась як підвищенню швидкості обчислень, так і адаптації системи до рішення найрізноманітніших задач користувачів [8]. Важливою перевагою системи MATLAB є її відкритість та розширяємість. Система MATLAB поставляється сумісно з основним розширенням SIMULINK, яке забезпечує візуально – орієнтовану підготовку імітаційних моделей систем різноманітного призначення. Модель може мати ієрархічну структуру, тобто складатися з моделей більш низького рівня, при чому число рівнів ієрархії практично необмежено. В порівнянні з іншими параметрами моделювання, користувач може задавати спосіб зміни модельного часу (з постійним або перемінним кроком), а також умови закінчення моделювання. В ході моделювання мається можливість спостерігати за процесами, що протікають в системі. Характеристики, які цікавлять користувача можуть бути представлені як в числовій, так і в графічній формі. Крім того, існує можливість включення до складу моделі засобів анімації [8].

Таким чином, за допомогою розширення пакету MATLAB, а саме SIMULINK, можна сформувати імітаційну модель діяльності оператора АСУ. Основними перевагами даного середовища можна вважати наступні:

- можливість аналізу моделі в реальному масштабі часу, з постійним або дискретним кроком моделювання;
- зручний та не дуже складний інтерфейс додатку для роботи з елементами моделі та з моделлю в цілому;
- наявність широкої палітри інструментів та конструктивних блоків для побудови та дослідження моделі;
- досить простий спосіб конструювання моделі шляхом перетягування компонентів в робочу область;
- можливість побудови моделі з використанням методу Монте – Карло, тобто реакцій на впливи випадкового характеру;
- забезпечення зручного та наглядного візуального контролю за поведінкою, створеної користувачем віртуальної системи;
- можливість формування «вкладеності» вершин, тобто представлення їх незалежними підсистемами [8].

**Мета статті.** Дослідити можливості сучасних програмних засобів для моделювання процесів пов'язаних з діяльністю операторів АСУ, та можливість їх використання при вирішенні задач ергономічного проектування середовища роботи оператора.

## Основна частина

Зростаюча складність і відповідальність задач, що розв'язуються за допомогою засобів автоматизації та з використанням автоматизованих систем управління у всіх галузях людської діяльності зробила необхідним глибоке попереднє дослідження і обґрунтування рішень по організації роботи оператора. Чим складніше питання, яке підлягає аналізу, тим глибше повинно бути і його дослідження, ширше проводиться охоплення можливих наслідків, точнішими проведені розрахунки. Внаслідок цього витрати на обґрунтування рішень мають тенденцію до зростання.

Потреба дослідження очікуваного ходу та результатів діяльності оператора АСУ веде до необхідності мати специфічну модель – модель діяльності оператора, під якою розуміється фізичний, уявний або комбінований аналог діяльності, що віддзеркалює закономірності вирішуваних задач, а також основні фізичні та інформаційні зв'язки між ними. Використання таких моделей дозволяє прогнозувати результати діяльності оператора, оцінювати вплив на нього різноманітних факторів, порівнювати ефективність варіантів рішень та планів, приймати обґрунтовані рішення [6].

Модель діяльності оператора АСУ при рішенні задач управління та оцінки інформації може бути представлена наступним графом (рис. 1) [2, 3].

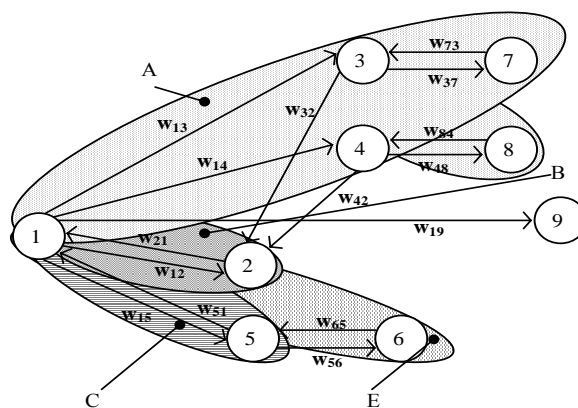


Рис. 1. Модель діяльності оператора при оцінці повітряної обстановки

У представленому графі вершини відповідають подіям, наприклад, «інформація, представлена на великому екрані, сприйнята», «введення команд в ЕОМ здійснена», у той час як ребрам відповідають імовірності переходу від однієї події до іншої, а також час затрачуваний на такий перехід.

При розгляді моделі діяльності оператора можна виділити фрагменти, що відповідають різній діяльності оператора: А – робота оператора з другими операторами, В – робота оператора із засобами відображення інформації колективного користування, С – робота оператора із засобами відображення інформації автоматизованих робочих місць, Е – дії оператора, пов'язані з уведенням команд в ЕОМ (представлені на рис 1 відповідними заштрихованими областями).

Таке виділення фрагментів моделі діяльності дозволить провести її більше повне й всебічне дослідження з урахуванням особливостей діяльності оператора при виробці рішень.

Розглянута модель діяльності оператора формально може бути задана в такий спосіб:

$$P = |p_{ij}|; \quad (1)$$

$$T = |t_{ij}|, \quad (2)$$

де  $P$  – матриця ймовірностей переходів між подіями  $i$  і  $j$ ;  $T$  – матриця часу, затрачуваного на роботу при переході від події  $i$  до події  $j$ ;  $p_{ij}$  – ймовірність переходу від події  $i$  до події  $j$ ;  $t_{ij}$  – час, затрачуваний на перехід від події  $i$  до події  $j$ ;  $i = j = N$  – відповідають кількості станів, у яких може перебувати оператор.

На рис. 1 значення  $p_{ij}$  й  $t_{ij}$  задані як  $w_{ij}$ , де  $w_{ij}(p_{ij}, t_{ij})$

Для дослідження моделі, представленої на рис. 1, необхідно трансформувати її у проект SIMULINK, що вимагає розробки процедури переведення елементів графу до стандартних блоків SIMULINK. Сформована модель повинна бути точним відображенням графу, зображеному на рис. 1 зі збереженням структури та логіки переходів.

Основними елементами моделі, зображеної на рис. 1 є вершини та переходи між ними. Для відображення вершини в середовищі MATLAB використана наступна сукупність елементів:

1. «To Workspace» – блок записує дані, які поступають на його вхід до робочої області MATLAB. В даному випадку здійснюється запис послідовності чисел з генератора випадкових чисел (ГВЧ) розподілених по усіченому  $\beta$  – розподілу.

2. Підсистема «Enabled Subsystem» – активізується при наявності позитивного сигналу на управляючому вході.

3. Блок «Matlab Function» – задає вираз в стилі мови програмування MATLAB. В даному випадку це є ГВЧ для генерації послідовності випадкових чисел.

Для відображення переходів у середовищі MATLAB використовуються наступні елементи:

1. Блок «Terminator» – здійснює «запирання» не підключених виходів підсистем.

2. Блок «S-Function Builder» – за допомогою даного блоку створюються функції SIMULINK. В даному випадку блок використовується як маршрутизатор, логікою роботи якого є пропускання позитивного сигналу на відповідний вихід. Керується маршрутизатор за допомогою низки рівнянь, кількість яких залежить від кількості виходів. Позитивний сигнал поступає на вихід, коли відповідне йому рівняння є ненульовим. На решту виходів подається нульовий сигнал. За один крок сигнал з входу поступає лише на один із виходів.

3. «З'єднувальні лінії» – в моделі вони слугують для з'єднання її елементів та являються шляхами, по яким рухається сигнал.

Проілюструємо процес моделювання вершин графу. Наприклад, перелік елементів, що входять до складу моделі вершини графу, яка моделюється за допомогою підсистеми «Enabled Subsystem», зображено на рис. 2.

Принцип дії даного блоку полягає у наступному. При наявності на елементі «Enable» спрацьовують обидва блоки «Matlab Function». Блок під назвою beta генерує випадкове число, розподілене по усіченому  $\beta$  – розподілу на заданому інтервалі. Дане число є часом виконання певної операції, яка відповідає вершині графу, зображеному на рис. 1. Після спрацювання генератора випадкових чисел воно записується і зберігається в робочій області MATLAB. Форма даних, записаних до робочої області, зображена на рис. 3.

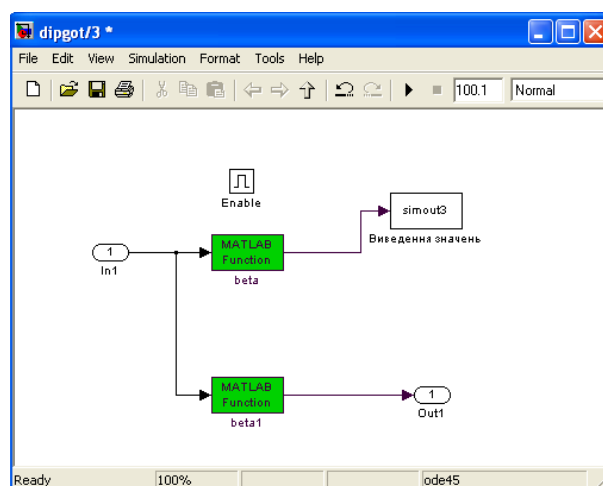


Рис. 2. Перелік елементів, що входять до складу блоку «Enabled Subsystem»

Блок під назвою beta1 генерує випадкове число, яке поступає на блок «S-Function Builder», де в залежності від значення даного числа відбувається перехід до наступної вершини моделі. Робота блоку заснована на підставленні випадкового числа, отриманого від ГВЧ beta1, в кожне з рівнянь. В результаті цього, сигнал поступає на той вихід, де значення рівняння відмінне від нуля. На інші виходи сигнал не

проходить. Це надає можливість моделювання рівноймовірного переходу між вершинами моделі.

Name	Value	Min	Max
simout1	<23x1 double>	16.2621	19.1465
simout11	<51x1 double>	15.8079	19.2266
simout12	<16x1 double>	16.2857	18.4385
simout2	<21x1 double>	15.1327	57.5242
simout21	[39.7045;35.5094;29.5636;32...	15.2303	39.7045
simout22	[40.6482;38.8971;35.5579;44...	26.4403	47.3454
simout3	[13.8234;11.8814;6.7754;11...	6.7754	13.8234
simout31	<50x1 double>	5.2393	14.2601
simout4	<12x1 double>	6.8254	13.8232
simout41	<51x1 double>	4.1996	15.2231
simout5	<12x1 double>	4.4083	12.0413
simout51	<51x1 double>	3.5683	13.3812
simout61	<35x1 double>	3.8995	16.2824
simout7	<43x1 double>	15.8550	19.2020
simout8	<42x1 double>	15.8155	19.3552
simout9	[16.1608;17.1529;17.2054;18...	16.1608	18.4874
tout	<51x1 double>	0	100.1000

Рис. 3. Форма запису даних до робочої області MATLAB

Формування моделі діяльності оператора передбачає можливість функціонування окремих блоків в режимі маршрутизатора. Приклад рівнянь, за допомогою яких блок працює як маршрутизатор представлена на рис. 4.

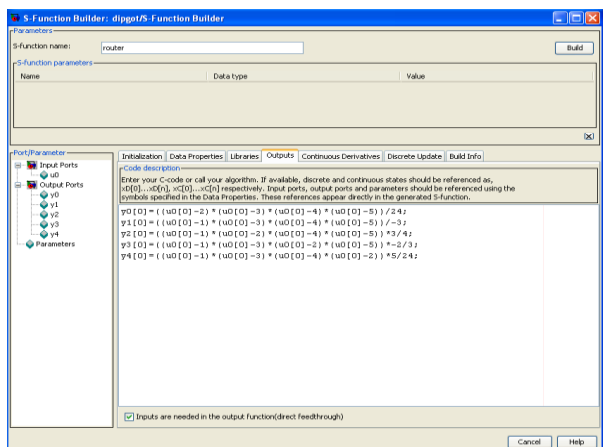


Рис. 4. Приклад рівнянь, за допомогою яких блок працює як маршрутизатор

За такої компоновки даного блоку, генератор випадкових чисел beta1 генерує послідовність цілих випадкових чисел від 1 до 5. Дані числа поступають до блоку і відбувається маршрутизація. Але далі в моделі ще існує необхідність переходу з однієї вершини в дві, а не в п'ять. Тоді кількість рівнянь зменшується до двох і генератор випадкових чисел генерує цілі випадкові числа [1, 2].

На рис. 5 зображено вигляд даних блоків з переходами до відповідних вершин.

Таким чином, з використанням описаного способу моделювання окремих вершин графу було отримано загальну модель діяльності оператора в середовищі MATLAB з використанням стандартних блоків SIMULINK. Загальний вигляд структури моделі наведено на рис. 6.

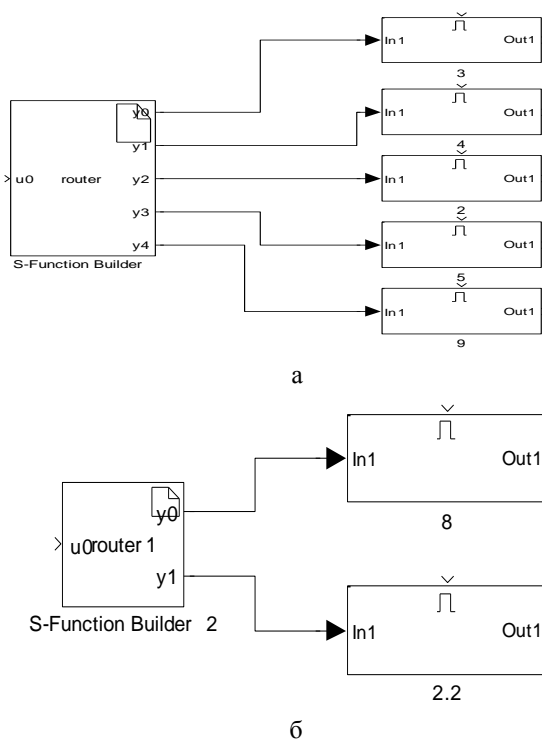


Рис. 5. Приклад реалізації переходів за допомогою стандартних блоків SIMULINK:

а – перехід на 5 виходів;  
б – перехід на 2 виходи

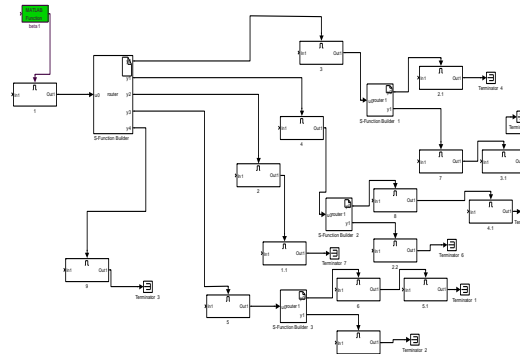


Рис. 6. Структурна схема моделі в середовищі MATLAB

На основі проведених досліджень моделі проведено аналіз розподілу часу, який затрачує оператор на виконання різних операцій. Кругова діаграма, яка відбиває результати отриманих оцінок наведена на рис. 7.

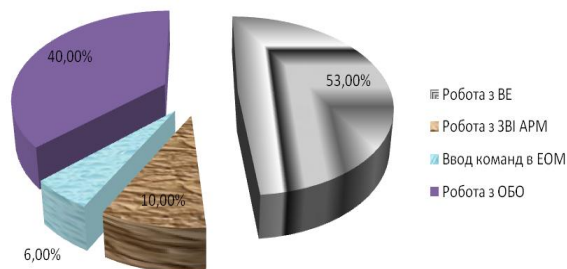


Рис. 7. Розподіл часу, затрачуваного оператором на виконання окремих операцій

Дані, отримані в результаті моделювання не суперечать відомим оцінкам часу на виконання аналогічних операцій, наведеним у відомих джерелах, що може свідчити на користь достовірності роботи сформованої моделі.

Таким чином, проведена робота свідчить про те, що у випадку, якщо об'єкт дослідження та процес його функціонування може бути представлений у вигляді графової моделі, а дослідження потребує імітаційного моделювання, то доцільним є проведення моделювання з використанням середовища MATLAB.

### Висновки

Аналіз функціональних можливостей прикладних пакетів Silverrun, Rational Rose та дозволяє дійти висновку щодо значно обмежених можливостей в моделюванні діяльності оператора пакетів Silverrun і Rational Rose. Так пакет Silverrun доцільно використовувати для імітації інформаційної складової діяльності оператора (в силу функціональної побудови системи), а використання пакету Rational Rose є досить проблематичним для вирішення такого класу задач, у зв'язку з тим, що значно обмежує моделювання динамічних процесів і не дозволяє здійснювати статистичну оцінку результатів роботи моделі.

Найбільш доцільним з точки зору створення та аналізу моделі діяльності оператора АСУ є використання середовища MATLAB з розширенням SIMULINK.

Набір стандартних функцій SIMULINK дозволяє імітувати роботу основних та специфічних вершин графової моделі. Процес створення моделі скорочується за рахунок того, що практично виключено процес програмування, як такого.

Крім того, проста візуальна інтерпретація значно спрощує осмислення логіки роботи моделі, і як наслідок, пошук та виявлення дефектів.

Середовище має зручний апарат діагностики складових частин моделі завдяки можливості підключення контрольних та вимірювальних приладів до входів та виходів блоків. Все відмічене надає можливість побудови моделей високого рівня інтеграції та багаторівневості.

### Список літератури

1. Біла книга. Оборонна політика України.
2. Павленко М.А. Обоснование структуры информационной модели АРМ оператора АСУ специального назначения / М.А. Павленко, А.В. Александров, П.Г. Бердник, А.В. Першин // Проблемы информатики и моделирования. Мат-ли пятой международной науч.-техн. конф. – Х.: НТУ ХПИ, 2005. – С. 32.
3. Павленко М.А. Метод определения направления удара СВН в границах оперативного направления /
4. М.А. Павленко, А.В. Сисков, А.В. Перепелица, В.Н. Руденко // Моделирование та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ІПМЕ. – 2005. – Вып. 33. – С. 112-121.
5. Павленко М.А. Метод разработки систем информационной поддержки принятия решений при управлении сложными объектами систем / М.А. Павленко, П.Г. Бердник, А.В. Крыжановский, Н.Н. Бесчасный // Друга наука конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба – Х.: ХУПС, 2006. – С. 77.
6. Хрестоматия по инженерной психологии / Сост.: Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, Б.А. Смирнов / под ред. Б.А. Душкова. – М.: Высшая школа, 1991. – 287 с.
7. Зинченко В.П. Основы эргономики / В.П. Зинченко, В.М. Мунипов – М.: Логос, 2001. – 356 с.
8. Новоженев Ю.В. Объектно-ориентированные технологии разработки сложных программных систем / Ю.В. Новоженев. – М., 1996.
9. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + SIMULINK 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала» / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН – Пресс, 2005 – 800 с.

Надійшла до редколегії 10.09.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. О.В. Лемешко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ MATLAB ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА АСУ

М.А. Павленко, В.М. Руденко, С.В. Сериченко, С.И. Симонов

*В статье рассмотрен вопрос возможности использования пакетов Silverrun, Rational Rose и MATLAB для моделирования деятельности оператора АСУ. Приведены примеры моделирования вершин графовой модели, общая структура модели деятельности оператора при решении задачи оценки воздушной обстановки в среде MATLAB с расширением SIMULINK и результаты ее анализа.*

**Ключевые слова:** моделирование, оператор, графовые модели, MATLAB.

### USE OF ENVIRONMENT MATLAB FOR DESIGN OF ACTIVITY OF OPERATOR TO ACE

M.A. Pavlenko, V.M. Rudenko, S.V. Serichenko, S.I. Simonov

*In the article the question of possibility of the use of packages of Silverrun, Rational Rose and MATLAB, is considered for the design of activity of operator to ACE. The examples of design of tops of graph model are resulted, general structure of model of activity of operator at the decision of task of estimation of air situation in the environment of MATLAB with expansion of SIMULINK and results of its analysis.*

**Keywords:** design, operator, graph model, MATLAB.