

## СИТУАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА ЕРГАТИЧНИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА МОБИЛНИ ОБЕКТИ

**Зоя Хубенова**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: zhubenova@space.bas.bg*

**Ключови думи:** ергатични системи, човешки фактор, ситуационен анализ, управление

**Резюме:** В статията се разглеждат проблемите, свързани със автоматизацията на ергатичните системи (ЕС), които се основават на оптималното разпределение на функциите между човека-оператор и автоматиката. Анализирани е йерархията на функционалните задачи на ЕС и възможностите за тяхната декомпозиция въз основа на концепцията за ситуационно-целево управление. Ситуационното управление се базира на ситуационните модели, даващи формално описание на света с помощта на ситуации, в които се предполага, че работи дадената ЕС. В тези модели се отчитат фактори, които най-силно влияят на различните ситуации, като пример е предложено ситуационно моделиране на база мрежите на Петри.

## SITUATION ANALYSIS OF ERGATIC SYSTEMS FOR MANAGEMENT OF MOBILE OBJECTS

**Zoya Hubenova**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: zhubenova@space.bas.bg*

**Keywords:** Ergadic System, Human Factor, Situation Analysis, Control

**Abstract:** The paper discusses problems related to the automation of ergatic systems (ES), based on the optimal distribution of functions between the operator and the automation. The hierarchy of ES functional tasks is analyzed, so are possibilities of their decomposition based on the concept of situational and target control. Situation control is based on situational models that give a formal description of the world through situations which the ES is supposed to work in. As an example, a situational modeling based on Petri's networks is proposed.

### **Въведение**

В съвременното техногенно общество важна роля играят ергатичните системи (ЕС) за управление на мобилни обекти, или т.н. системи «човек–машина–среда» [1]. В такъв род системи човекът-оператор (ЧО) си взаимодейства с техническите средства и изпълнява целенасочени функции за управление на движещи се обекти в ръчен и полуавтоматичен или супервайзорен режими. Такива са автоматизираните системи са управляемите от човек автомобили, железопътни, водни и въздушни транспортни средства, а също системите за дистанционно управление, манипулационните роботи, радиолокационните станции, системите за телеуправление и пр.

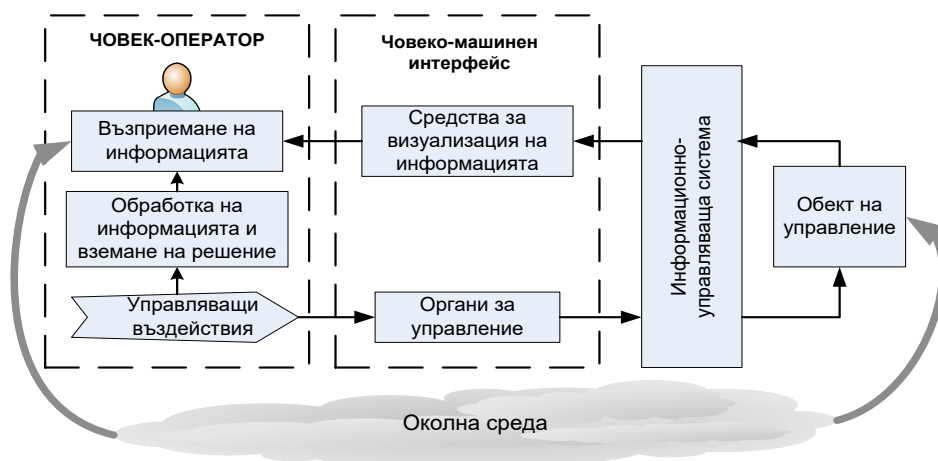
Общата тенденция за развитие на ЕС се характеризира с различни фактори, като: нарастване на степента на сложност на задачите за управление, повишаване степента на потенциална опасност на външната/околната среда, голям обем на обработвана информация, съкращаване времето за вземане на решения, нарастване цената на грешките, правилни и качествено взети оперативни решения и др. Работата на оператора в тези условия изисква повишени сензорни, емоционални и интелектуални натоварвания [2, 3]. В статията се

разглеждат проблемите, свързани със автоматизацията на ЕС, които се основават на оптималното разпределение на функциите между човека-оператор и автоматиката.

### Структура, режими и организация на ЕС за управление на мобилни обекти

Информационното описание на ЕС се провежда в три направления: състав, структура и свойства. Аналогична диференциация може да се направи и в друг аспект: подсистеми; информационни възли (генератори и потребители на информация) и канали за връзка (хора, машини, алгоритми). Под информационен състав се разбира съставът на йерархията на целите, типа цели, а също качествените форми на проява на информацията и формите на нейното преобразуване. Към информационната структура се отнасят структурите за предаване, преработка и преобразуване на информацията в цялата система, вътре във възлите за управление и структурата на алгоритъма на отделния преобразовател на информацията, а също различните форми на отношения между подсистемите и вътре в подсистемите, включвайки и отношенията между членовете на колектива, влизаш във възлите на управление, и отношенията между човека и машината. Към информационните свойства се отнасят: оценки, като неорганизираност на функционирането на системата по отношение на зададените цели; ценност на информацията, циркулираща в системата; преобразуващите свойства на алгоритмите, използвани в преобразуващата информация; динамичните характеристики на процесите на преобразуване на информацията

Схематично функционалната структура на ЕС за управление на мобилни обекти е представена на фиг. 1, където информационно-управляващата система (ИУС) реализира процеса за обработка на информацията, контрола и управлението. ЧО възприема и преработва информацията за околната среда, получена от апаратурата (дисплеи, индикатори и сензори и пр.), както и сензорната информация (получена от рецепторите на органите на чувства). Човеко-машинния интерфейс (ЧМИ), образуван от системата за визуализиране на информацията (СВИ) и органите за управление (ОУ), осигуряват взаимодействието на оператора и автоматиката. При своята дейност ЧО изпълнява следните функции: сензорни – приемане на информацията, интелектуални – възприемане, оценка и преработка на информацията, волеви – вземане на решение, ефекторни – реализация на взетите решения. Психиката и психическите процеси са регулатори на дейността, посредством които операторът направлява, контролира и коригира своите действия в съответствие с поставената цел.



Фиг. 1. Функционалната структура на ЕС за управление

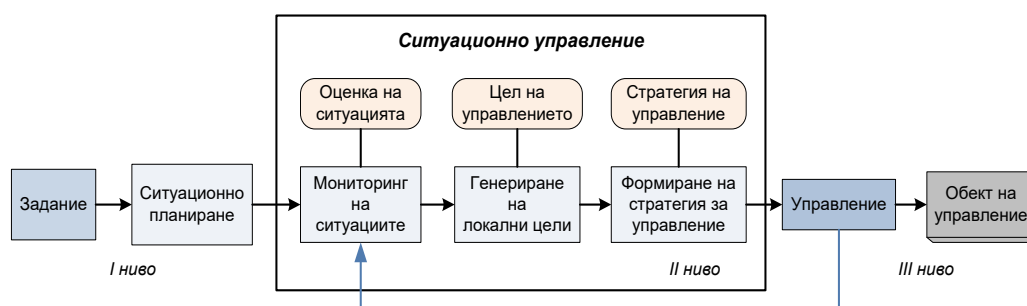
Важно свойство на такъв род ЕС е многорежимността. В зависимост от степента на автоматизация са възможни различни режими на управление на движението: ръчно (осъществявано непосредствено от оператора), полуавтоматично (осъществявано от автоматиката с участието на оператора), автоматично (осъществявано от автоматиката без участието на оператора). В условията на компютъризацията на ЕС е необходимо и да се отчитат и другите два способа на участие на ЧО в процеса на автоматизираното управление - диалогов (интерактивен) и супервайзорен режими: в първият случай се осъществява непосредствено взаимодействие на оператора и автоматиката, а във второто - операторът осъществява наблюдение на работата на автоматиката и се ограничава само с оперативно вмешателство с цел корекции.

## Функционални задачи в ЕС за управление и особености на ситуационното управление (СУ)

По определение ЕС се отнасят към класа на сложните системи, които представляват съвкупност от голям брой йерархично зависими сложни подсистеми, обхващащи колективи от хора и технически средства, притежаващи определена степен на организираност и автономност, обединени помежду си в съответствие с действащата йерархия на целите чрез средствата за организация. В общия случай това са енергийни материални и информационни връзки, които осигуряват целенасочено функциониране на цялата система като единно цяло.

На фиг. 2 е представена структура на ЕС за управление на три нива [5, 6]. На първото ниво се планира сценария за изпълнение на заданието, на средното ниво се осъществяват функциите на ситуационно-целевото управление, а на третото – са конкретните управляващи въздействия на обекта.

Функционирането на ЕС се подчинява на конкретно задание, което определя оперативната цел на системата. При изпълнение на заданието ЧО се ръководи от даден оперативен план за действия, който в случая трябва да се отнесе към *сценарийното планиране* – разработка на алтернативни сценарии на бъдещето и създаването на тяхна основа гъвкави оперативни планове за действие [7]. Под сценарий се разбира подредена последователност от сцени, които се определят от типови/стереотипни ситуации, настъпили вследствие на някакъв набор от събития, както и от действията в дадената ситуация. Сценарий се реализира в процеса на функциониране на системата, като всички алтернативни сценарии се формират на основа изследване на околната среда (например наличие рискови елементи, различни неопределености и техни комбинации). При сценарийното планиране се разглеждат всички сценарии, като еднакво възможни в бъдеще, като при това подпомагат управлението, помагайки да се съкрати времето за реагиране на измененията в ситуациите.



Фиг. 2. Йерархия на функционалните задачи

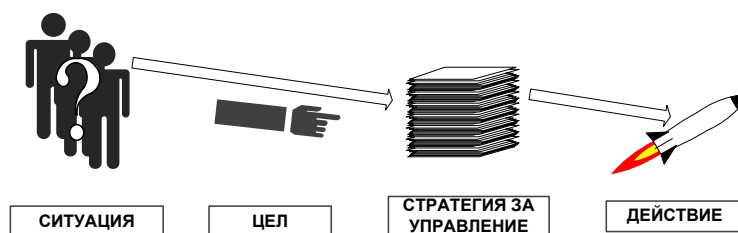
Планът се осъществява на база ситуационно-целевото управление, който се реализира алгоритмично (в резултат човеко-машинното взаимодействие) и се свежда до последователно изпълнение на три функции: мониторинг на ситуациите; генериране на локална цел на управление; формиране на стратегии за управление. Тук базисно е понятието ситуация – конкретен набор от събития, обстоятелства и условия, които влияят на системата в даден момент. Така тези три задачи на СУ довеждат до осъществяване на сценария – решението на задачите са съответствено диагноза за текущата ситуация, нова локална цел за управление (в случай на изменение на ситуацията) и стратегия за управление, насочена към нейното достигане. Нивото за управление на подвижния обект е най-ниското ниво на функционалната йерархия в ЕС и реализира стратегията за управление, сформирана на горните нива, в автоматичен или автоматизиран (диалогов или супервизорен) режим.

Ситуационната методология е ново направление, получило в настояще време широко разпространение в различни научни сфери и области като техника, социология, психология, педагогика и др. Основно значение на ситуационния подход в науката се състои в опита теоретически да се сформират, емпирично да се проверят и накрая практически да се препоръчат различни решения приложени към всяка от типовите ситуации. Диагностиката на ситуацията и нейното решение позволява да се определят алтернативните алгоритми, а отчитането на реалните субективни и обективни фактори, влияещи на ситуацията, дават възможност да се избере оптималния път за решаването ѝ.

Ситуационният подход зависи в голяма степен от точното определение на най-значимите фактори, влияещи на процеса на управление. Класическото ситуационно управление се подчинява на схемата «ситуация– действие», понеже алгоритъмът на управление не се задава явно, а се реализира на база ситуационна мрежа. Под ситуационна

мрежа се разбира ориентиран граф на преходи по еталонна ситуация, определящ изходната и целева ситуации. Дъгата на графа отразява смяната на ситуацията и предизвиканите от нея информационно-управляващи процеси.

За разлика от класическия ситуационен подход с две нива на схемата «ситуация–действие», в случая на разглежданата функционална структура на ергатичната система е удачно нивата да са четири: «ситуация – цел – стратегия за управление – действие» (фиг. 3). Компютърната поддръжка на оператора изисква разработката на формални модели на функционирането на ЕС. В работата си операторът осъзнава целта на своите действия във всяка конкретна ситуация, познава способите за достигане на целите и предвижда резултата. Доколкото всяка ситуация поражда определена локална цел, то глобалната цел на функциониране на ЕС се достига, като се отработват непрекъснато възникващите локални цели. На тази база при СУ е прието да се решава следната последователност от задачи: мониторинг на ситуацията; генерация на локалните цели; формиране на план за действие; изпълнение на планираните действия [8, 9].



Фиг. 3. Функционална структура от четири нива: <ситуация – цел – план – действие>

Ситуационно-целевото управление се базира на *ситуационния модел*, даващ формално описание на света с помощта на ситуацията, в които трябва да работи ЕС. В модела се отчитат факторите, които действително влияят на развитието на ситуацията. Такива могат да са релеванните характеристики на обекта и в околната среда - пространственото положение, режима и условията на движението на обекта, неговото техническо и динамично състояние.

Ситуацията се разглежда, не като е съвкупност от променливи състояния на обекта и външната среда, а идентифицира някаква област на локализация на динамични променливи (например при малки нарушения в текущия динамичен режим се изменя състоянието на системата, но ситуацията остава същата). Всяка ситуация поражда локална (работна) цел на управление, за достигането, на която се формира стратегия за управление. Могат да се използват класификационни схеми за ситуацията в това число и за определяне на критичните (предаварийни и аварийни) ситуации. На тази основа се осъществява ситуационен мониторинг. Дадената трактовка на ситуацията позволява да се характеризират и анализират динамичните процеси в обекта, като се отчитат различните фактори на неопределеността в динамиката на обекта и свойствата на околната среда.

### Ситуационно моделиране на база мрежи на Петри

Един из възможните варианти за реализиране на ситуационния подход е формализацията на динамичните ситуационни модели посредством мрежите на Петри.

Формално Мрежата на Петри се определя като множество [10]:

$$(1) \quad PN = (P, T, I, O) ,$$

където  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  е подмножество на върховете, наречени преходи (*transitions*);  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  е подмножество на местата (*places*); входната  $I$  и изходна  $O$  функции, които свързват преходите и местата. Входните функции  $I(t_i)$  са множество от всички места, входни за прехода  $t_i$ . Изходните функция  $O(t_i)$  са съответно множество, съдържащо всички места, изходни за прехода  $t_i$ . Графично мрежите се представят като графоподобна структура – ориентиран мултиграф  $G(V, A)$  с множество на върховете  $V = \{P, T\}$  и множество от насочени ребра  $A$ . Ребрата могат да свързват само различни по тип върхове съгласно функциите  $I$  и  $O$ .

Динамичният модел на системата се получава като се интерпретират позициите  $p$  като ситуации, а преходите  $t$  като събития, предизвикващи изменения в ситуацията.

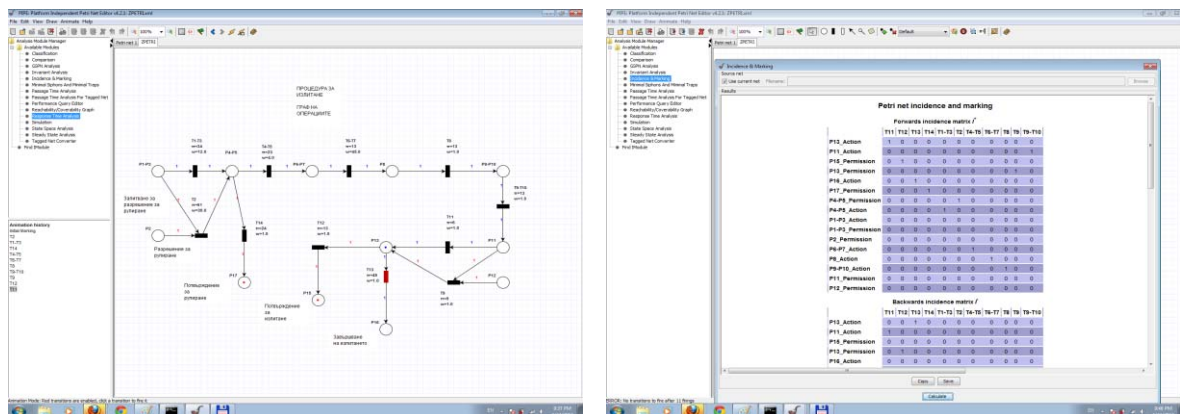
Моделът на операциите включва граф с мрежи на Петри с последователността от действия (операции), извършвани от оператора. На практика разработването на ситуационния модел предхожда разработването на модела за операциите и те се създават независимо един

от друг. Мрежите на Петри дават достатъчно универсални възможности за описание, като позволяват да се отразят различни събития и роли – на оператора (умора, недостиг на времето, необходимо за извършването на дадената операция, намаляването на работоспособността на оператора и пр.), на обекта за управление (технически параметри, аварии), събития в околната среда и т.н.

За да се моделират целенасочените действия на оператора, изпълнявани по правила и съответстващи на инструкциите (например процедура на излитане и кацане на БЛА), се разглежда модел на дейността на човека или т.нар. модел на действията, което се описва с помощта на различни алгоритми [11]. Отчитайки особеностите на специфичната дейност на ЧО на БЛА като сложна динамика по наблюдения на непрекъснати параметри и логически елементи, може да се каже, че значение преобладават интелектуалните задачи пред перцептивните и моторните. Известно е, че определянето на задачите на оператора в такъв род автоматизирани системи за управление се свежда практически до следното: своевременно да открие неспособността на автоматизираната система да се справи с възникващите нарушения в хода на процеса, да определи причините за неизправността и да компенсира последствията от тях

На фиг. 4 е показана процедура на излитане и кацане с граф на операциите, като има два вида ядра – за фактичното изпълнение и ядра, свързани със искане на разрешение или потвърждение за изпълнение. Методологията за моделиране започва с дефинирането на целите и се състои от следните етапи:

- формиране на целите;
- построяване на формалното графично описание на сценария за достигането на целите;
- преобразуване на сценария в структурен модел на системата с мрежи на Петри и моделиране на процесите в нея.



Фиг. 4. Граф на операциите и анализ на резултатите

Продуктите за моделиране на мрежи на Петри дават възможност и за задаване на стойностите на показателите за всяка процедура при конкретен БЛА. Сумирането на времената за процедурите дава общото време за изпълнение на задачата, което не трябва да превишава предварително зададена максимална стойност. Умората на оператора може да се отрази с рационално число и също се натрупва в хода на изпълнение на процедурите. При обобщена статистика на показателите може да се даде оценка за изпълнение на задачата като цяло. При изпълнение на повече последователни процедури стойностите на показателите за дадена процедура са начални за следващата.

## Заклучение

Ситуационният подход е възникнал през 60-те години на XX в., като в настоящо време получава развитие и в областта на управлението на техническите обекти. Сега системите за ситуационно управление широко се използват в различни сфери на човешката дейност и в частност при вземането на решения в условия на частична или пълна неопределеност.

Ситуационната осведоменост е разбирането на оператора за състоянието на технологичното оборудване в даден момент и се обуславя от неговите професионални качества и когнитивни способности. Правилната ситуационна осведоменост е изключително важна при бързи и правилно взети решения в такива комплексни области, като авиация, транспорт, енергетика и пр. Операторите с добра ситуационна осведоменост са по-успешни при

анализа на информацията, при определянето на критични моменти и предприемане на правилни действия за предотвратяване на нежелателни последствия.

Представеният подход позволява да се реализира управление, основано на краен брой базови ситуации и може да бъде използван в системите за подпомагане вземане на решения, в автоматизираните и роботизирани системи.

#### **Литература:**

1. Deborah, M. Licht and Donald J. Polzella. Human Factors, Ergonomics, and Human Factors Engineering: An Analysis of Definitions, CSERIAC, 2008.
2. Salvendy Gavriel (Editor), Handbook of Human Factors and Ergonomics, Purdue University, 2006, Canada.
3. Попов, В., П. Гецов, Кр. Стоянов. Човекът като управляваща система - системологичен анализ, Юбилейна научна сесия "30 години Институт за космически изследвания", 1999, стр. 256–258.
4. Хубенова, З., В. Гергов, Ф. Илиев, А. Андонов. Моделиране и оптимизация на дейността на оператора при управление на БЛА чрез мрежи на Петри, Годишник ВУТП, том II, 2015, стр. 31.
5. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика. -М.: Наука, 1986.
6. Теряев, Е. Д., Петрин К.В., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Проблема интеллектуальной поддержки оператора в эргатических системах управления / Труды "Проблемы управления и моделирования в сложных системах", 2010, с.18.
7. Lindgren, M., H. Bandhold, Scenario Planning: The Link Between Future and Strategy, Springer, 2003.
8. Albers, S. Using a simulation model to represent the time dependence of human reliability // Proc. 5-th. EuRe Data Conf. -Berlin, 1986. -P.445-453.
9. McCarthy, J. Situations, Actions and Causal Laws // Stanford Artificial Intelligence. Technical report: Memo Stanford University, 1963.
10. Peterson, J. Petri Net Theory and the Modeling of Systems, Prentice Hall, 1981.
11. Хубенова, З., В. Гергов, Ф. Илиев, А. Андонов. Моделиране и оптимизация на дейността на оператора при управление на БЛА чрез мрежи на Петри, Годишник ВУТП, том II, 2015, стр. 31.