

УДК 355.45

О.М. Загорка<sup>1</sup>, В.В. Коваль<sup>2</sup>, І.О. Загорка<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського, Київ<sup>2</sup> Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

## МЕТОДИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ОЦІНКИ ЖИВУЧОСТІ ЗЕНІТНОЇ РАКЕТНОЇ СИСТЕМИ ВІД ДІЇ ПО ЇЇ ЕЛЕМЕНТАХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ ПРОТИВНИКА

*Запропоновані методичні положення оцінки живучості зенітної ракетної системи та її елементів на підставі використання методу моделювання за схемою марковських випадкових процесів.*

**Ключові слова:** показник живучості, етапи застосування елементів зенітної ракетної системи, імовірності станів, система диференціальних рівнів Колмогорова.

### Вступ

**Постановка завдання у загальному вигляді та його зв'язок із практичними заходами.** Найважливішою властивістю будь – якої системи озброєння є збереження її живучості під час ведення бойових дій. У зв'язку з безперервним розвитком високоточних засобів ураження збереження живучості систем озброєння, зокрема зенітних ракетних систем (ЗРС), набуває першорядного значення. Живучість системи озброєння залежить не тільки від уразливості її елементів, а й від особливостей її застосування під час ведення бойових дій, а саме від тривалості знаходження на певних етапах бойового застосування (очікування до виконання бойового завдання, виконання завдання за призначенням, переміщення та ін.) Тому для підвищення живучості ЗРС повинні бути передбачені не тільки заходи, які знижують уразливість її елементів, а й визначена доцільна тривалість перебування елементів ЗРС на етапах застосування, що обумовлює зв'язок завдання щодо підвищення живучості ЗРС з практичними заходами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання оцінювання живучості систем озброєння звичайно зв'язують з оцінкою ефективності знищення або придушення їх елементів засобами вогневого ураження противника. Для цього широко використовуються відомі методики оцінювання ефективності бойового застосування авіації, ракетних військ і артилерії, крилатих ракет [1–5], які в основному спрямовані на визначення можливостей противника щодо викриття систем озброєння засобами розвідки і безпосереднього їх ураження вогневими засобами. Слід відзначити методику [6], яка дає можливість оцінити живучість системи озброєння з урахуванням часу перебування її на позиції і часу, який витрачається на переміщення. Однак, ця методика не зовсім коректно ураховує динаміку застосування елементів (засобів) системи озброєння та інтенсивність можливих ударів засобів ураження противника, що не

дозволяє використати її у повній мірі для оцінювання живучості ЗРС. Тому мета статті полягає в розробці методичних положень оцінки живучості ЗРС під час ведення бойових дій з урахуванням динаміки застосування її елементів (засобів).

### Виклад основного матеріалу

Зенітні ракетні системи мають у своєму складі зенітні ракетні комплекси (ЗРК), які можуть виконувати завдання як за даними цілевказівок з командного пункту ЗРС, так і автономно. Прикладом такої системи є ЗРС С – 300 ПС, структура побудови якої наведена на рис. 1 [7].

Ураховуючи принципи застосування ЗРС, просторове розміщення позицій її елементів, можна вважати, що цілями для засобів вогневого ураження противника будуть з'являтися командний пункт ЗРС (зенітної ракетної бригади, полку) і ЗРК (зенітні ракетні дивізіони). Переміщення командного пункту і ЗРК на інші позиції, як правило, буде здійснюватися по окремих маршрутах.

Це дозволяє оцінювати окремо живучість кожного елементу ЗРС з подальшим переходом до оцінювання живучості ЗРС у цілому під час ведення бойових дій. При цьому повинне ураховуватися: розвіданість противником елементів ЗРС; можливості противника щодо завдання по них ударів; уразливість та важливість елементів ЗРС при виконанні завдань за призначенням, динаміка застосування ЗРС та її складових.

Процес застосування кожного  $j$ -го елементу ЗРС ( $j = \overline{1, n}$ ) можна поділити на  $m$  етапів ( $i = \overline{0, m-1}$ ), на кожному з яких по цьому елементу можуть завдаватися або не завдаватися удари вогневих засобів противника. За показник живучості  $j$ -го елементу ЗРС приймається імовірність його виживання (неураження), яку можна визначити за формулою

$$P_{жj} = \prod_i (1 - P_{розв.ij} \cdot P_{впл.ij} \cdot W_{ур.ij}), \quad (1)$$

де  $P_{розв.ij}$  – імовірність розвідки противником  $j$ -го елемента ЗРС на  $i$ -му етапі його застосування;  
 $P_{впл.ij}$  – імовірність впливу засобів ураження противника на  $j$ -й елемент ЗРС на  $i$ -му етапі його

застосування;

$W_{ур.ij}$  – імовірність ураження  $j$ -го елемента ЗРС на  $i$ -му етапі його застосування.

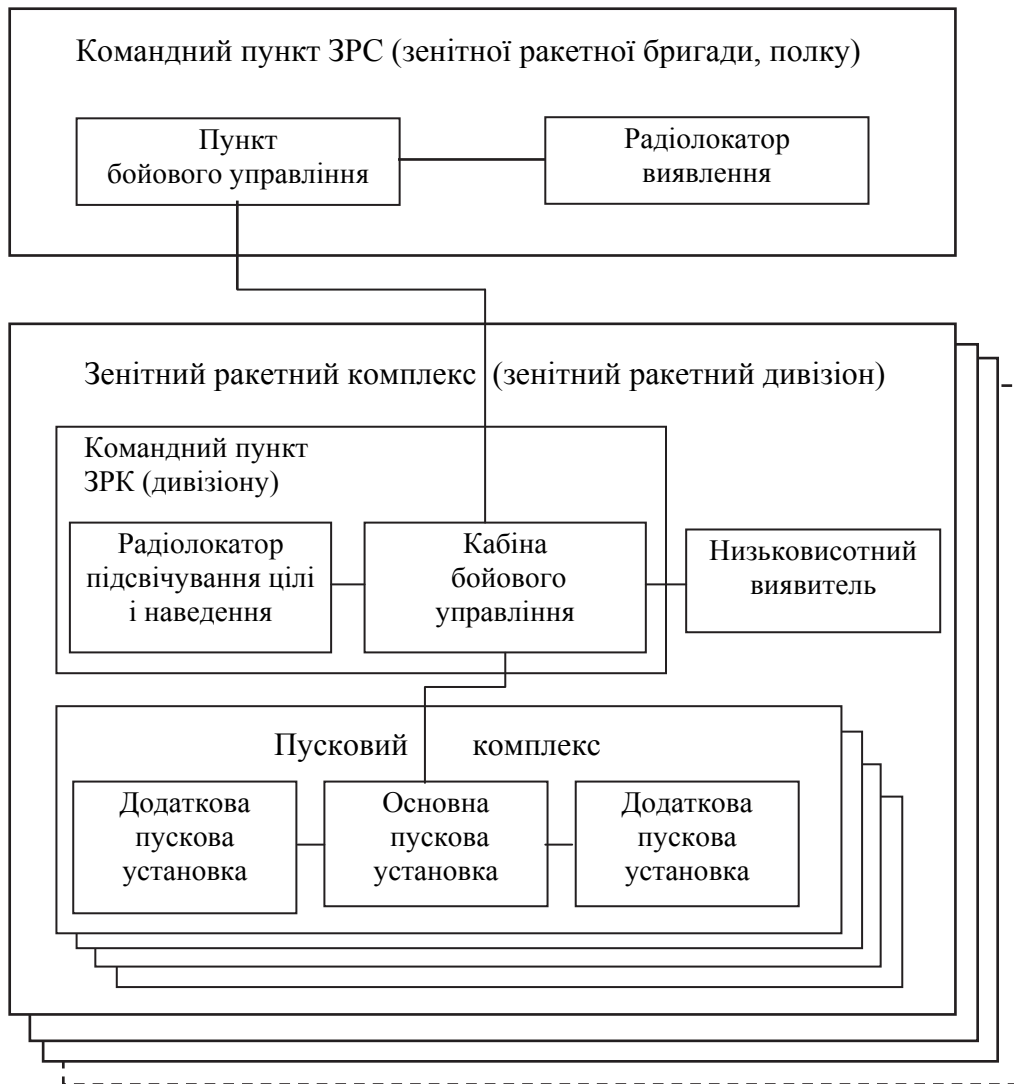


Рис. 1. Структура побудови ЗРС

Показник живучості ЗРС визначається за формулою

$$P_{ж} = \sum_j P_{жj} \omega_j; \sum_j \omega_j = 1, \quad (2)$$

де  $\omega_j$  – коефіцієнт важливості  $j$ -го елемента ЗРС при виконанні завдань.

Для визначення імовірностей  $P_{впл.ij}$  можна використати метод моделювання за схемою марковських випадкових процесів. З метою коректного застосування цього методу приймається, що  $j$ -й елемент ЗРС може перебувати у шести станах:

$A_{0j}$  –  $j$ -й елемент ЗРС (командний пункт або ЗРК) перебуває у стані очікування до виконання бойового завдання (удари противником не завдаються);

$A_{1j}$  – стан очікування в умовах завдання ударів противником;

$A_{2j}$  – стан виконання бойового завдання;

$A_{3j}$  – перебування під вогневим впливом противником у період виконання бойового завдання;

$A_{4j}$  – переміщення на нову позицію при відсутності ударів противника;

$A_{5j}$  – переміщення у період завдання ударів противником.

Граф станів  $j$ -го елемента ЗРС показаний на рис. 2 [6]. Через  $\lambda$  позначені інтенсивності переходів елемента ЗРС з одного стану в інший. Для спрощення на рис. 2 індекс  $j$  опущений.

Наведений граф станів елемента ЗРС описується системою диференціальних рівнянь Колмогорова [8]:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda_{01}P_0(t) - \lambda_{02}P_0(t) + \lambda_{40}P_4(t) + \lambda_{50}P_5(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\lambda_{12}P_1(t) + \lambda_{01}P_0(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= -\lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{24}P_2(t) + \lambda_{02}P_0(t) + \lambda_{12}P_1(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= -\lambda_{34}P_3(t) + \lambda_{23}P_2(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= -\lambda_{40}P_4(t) - \lambda_{45}P_4(t) + \lambda_{24}P_2(t) + \lambda_{34}P_3(t); \\ \frac{dP_5(t)}{dt} &= -\lambda_{50}P_5(t) + \lambda_{45}P_4(t), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $P_i(t)$  – імовірність перебування елемента ЗРС у стані  $A_i (i=0, m-1)$ .

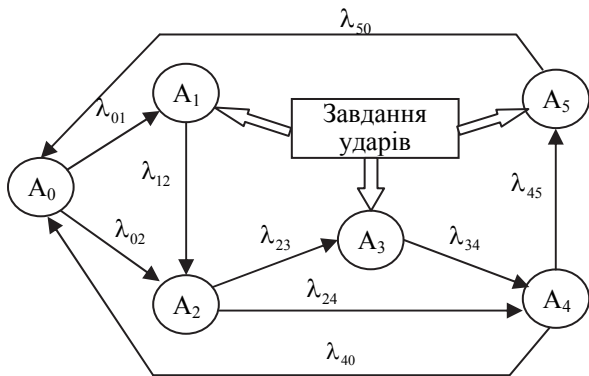


Рис. 2. Граф станів елемента ЗРС

Для стаціонарного процесу застосування елемента ЗРС диференціальні рівняння (3) перетворюються на лінійні алгебраїчні:

$$\begin{aligned} a_0 P_0 &= \lambda_{40} P_4 + \lambda_{50} P_5; & a_0 &= \lambda_{01} + \lambda_{02}; \\ \lambda_{12} P_1 &= \lambda_{01} P_0; & a_2 &= \lambda_{23} + \lambda_{24}; \\ a_2 P_2 &= \lambda_{02} P_0 + \lambda_{12} P_1; & a_4 &= \lambda_{40} + \lambda_{45}. \\ \lambda_{34} P_3 &= \lambda_{23} P_2; \\ a_4 P_4 &= \lambda_{24} P_2 + \lambda_{34} P_3; \\ \lambda_{50} P_5 &= \lambda_{45} P_4; \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 &= 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Залежності для визначення імовірностей станів елемента ЗРС мають вигляд:

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{\lambda_{40}}{a_0} P_4 + \frac{\lambda_{50}}{a_0} P_5; & b &= \frac{\lambda_{02} \lambda_{40}}{a_0 a_2} + \frac{\lambda_{01} \lambda_{40}}{a_0 a_2}; \\ P_1 &= \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} \left( \frac{\lambda_{40}}{a_0} P_4 + \frac{\lambda_{50}}{a_0} P_5 \right); & c &= \frac{\lambda_{02} \lambda_{50}}{a_0 a_2} + \frac{\lambda_{01} \lambda_{50}}{a_0 a_2}; \\ P_2 &= b P_4 + c P_5; & d &= \frac{\lambda_{24}}{a_4} + \frac{\lambda_{23}}{a_4}. \\ P_3 &= \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{34}} (b P_4 + c P_5); \\ P_4 &= \frac{cd}{1 - bd} P_5. \end{aligned} \quad (5)$$

Для визначення інтенсивностей переходу  $j$ -го елемента ЗРС з одного стану в інший необхідно задати такі дані:

середні значення часів перебування його у режимі очікування  $t_{оч.}$ ; виконання бойового завдання  $t_{вик.}$ ; переміщення  $t_{пер.}$ ;

прогнозовані інтенсивності ударів засобів ураження противника під час перебування елемента ЗРС у стані очікування  $\lambda_{01}$ , виконання бойового завдання  $\lambda_{23}$ , переміщення  $\lambda_{45}$  (рис. 2);

тривалості завдання ударів під час перебування елемента ЗРС у стані очікування  $t_{уд.0}$ , виконання бойового завдання  $t_{уд.2}$ , переміщення  $t_{уд.4}$ .

Інтенсивності переходів визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \lambda_{02} &= \frac{1}{t_{оч.}}; & \lambda_{12} &= \frac{1}{t_{оч.} - t_{уд.0}}; \\ \lambda_{24} &= \frac{1}{t_{вик.}}; & \lambda_{34} &= \frac{1}{t_{вик.} - t_{уд.2}}; \\ \lambda_{40} &= \frac{1}{t_{пер.}}; & \lambda_{50} &= \frac{1}{t_{пер.} - t_{уд.4}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Як приклад, розглянемо оцінку живучості ЗРС у складі трьох ЗРК.

Вхідні дані і результати розрахунку імовірностей станів елементів ЗРС наведені у табл. 1–2.

Таблиця 1

Вхідні дані для розрахунку імовірностей станів елементів ЗРС

Позначення вхідних даних	Елементи ЗРС			
	Командний пункт	ЗРК-1	ЗРК-2	ЗРК-3
1	2	3	4	5
$t_{оч.}$ , ГОД.	0,80	0,50	0,50	0,50
$t_{вик.}$ , ГОД.	3,00	0,50	1,00	2,00
$t_{пер.}$ , ГОД.	1,00	1,00	1,00	1,00
$\lambda_{01}$ , 1/ГОД.	0,20	0,50	0,50	0,50

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
$\lambda_{23}$ , 1/год.	0,33	0,50	0,50	0,50
$\lambda_{45}$ , 1/год.	0,50	0,50	0,50	0,50
$t_{вд.0}$ , ГОД.	0,50	0,30	0,30	0,30
$t_{вд.2}$ , ГОД.	0,40	0,30	0,30	0,30
$t_{вд.4}$ , ГОД.	0,30	0,30	0,30	0,30

Таблиця 2

Результати розрахунків імовірностей станів

Позначення станів	Елементи ЗРС			
	Командний пункт	ЗРК-1	ЗРК-2	ЗРК-3
$A_0$	0,15	0,20	0,16	0,12
$A_1$	0,01	0,03	0,02	0,01
$A_2$	0,33	0,20	0,27	0,29
$A_3$	0,28	0,02	0,10	0,25
$A_4$	0,14	0,33	0,27	0,20
$A_5$	0,09	0,22	0,18	0,13

З аналізу наведених результатів випливає, що імовірності станів нелінійно і суттєво залежать від тривалості перебування елементів ЗРС у цих станах. Так, при збільшенні часу виконання завдань ЗРК за призначенням з 0,5 до 2,0 годин (табл. 1) імовірність його перебування під вогнеvim впливом противника (стан  $A_3$ ) збільшується більше чим у 10 разів (табл. 2).

За фізичним сенсом гранична або фінальна імовірність стану елементу ЗРС характеризує відносний час перебування цього елементу у даному стані. Для визначення імовірностей  $P_{впл.ij}$  доцільно імовірності станів, у яких  $j$ -й елемент ЗРС перебуває під вогнеvim впливом противника, пронормувати за формулою

$$P_{впл.ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_i P_{ij}}, \quad i=1, 3, 5. \quad (7)$$

Імовірності розвідки  $P_{розв.ij}$  та імовірності ураження  $j$ -го елементу ЗРС  $W_{ур.ij}$  визначаються за окремими методиками, у залежності від часу перебування елементу ЗРС у відповідних станах. При цьому імовірності розвідки визначаються з врахуванням тривалості перебування елементу ЗРС у станах, які перебувають вогневому впливу противника. Є очевидним, що при переміщенні на заздалегідь

підготовлену позицію може бути забезпечена більша прихованість елементу ЗРС від засобів розвідки противника. При визначенні показника живучості  $P_{ж.j}$  для станів, у яких не здійснюється вогневий вплив противника на елемент ЗРС ( $A_0, A_2, A_4$ ), приймається  $W_{ij}=0$ .

Важливість елементів ЗРС (командного пункту, ЗРК) визначаються не тільки за їх значущістю у функціонуванні ЗРС, а й з урахуванням важливості об'єктів, що прикриваються від ударів з повітря ЗРК. Коефіцієнти важливості елементів ЗРС  $\omega_j$  визначаються експертним шляхом, зокрема для цього може використовуватися метод аналізу ієрархій.

Для прикладу, що розглядається, орієнтовані значення імовірностей розвідки та ураження противником елементів ЗРС  $P_{розв.ij}$ ,  $W_{ур.ij}$ ,  $i=1, 3, 5$  отримані шляхом аналізу та узагальнення попередніх досліджень.

Результати розрахунків показників живучості ЗРС та її елементів наведені у табл. 3.

Отримані результати (табл. 3) кількісно відображають залежність живучості елементів ЗРС (командного пункту, ЗРК) від тривалості етапів їх застосування, що може бути використано під час планування бойових дій.

Таблиця 3

Значення показників живучості ЗРС та її елементів

Елементи ЗРС	Показники											
	розвідки			ураження			вогневого впливу			$P_{ж.j}$	$\omega_j$	$P_{ж}$
	$P_{розв.1}$	$P_{розв.3}$	$P_{розв.5}$	$W_{ур.1}$	$W_{ур.3}$	$W_{ур.5}$	$P_{впл.1}$	$P_{впл.3}$	$P_{впл.5}$			
Командний пункт	0,5	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8	0,03	0,74	0,23	0,58	0,40	0,57
ЗРК-1	0,5	0,3	0,5	0,6	0,4	0,7	0,11	0,08	0,81	0,69	0,19	
ЗРК-2	0,5	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,07	0,33	0,60	0,60	0,26	
ЗРК-3	0,5	0,9	0,8	0,6	0,9	0,7	0,03	0,64	0,33	0,39	0,15	

## Висновки та напрями подальших досліджень

1. Живучість ЗРС запропоновано оцінювати з урахуванням імовірностей перебування її елементів (командного пункту, ЗРК) у визначених станах на етапах застосування. Визначення таких імовірностей доцільно здійснювати з використанням системи диференціальних рівнянь Колмогорова. Розв'язання системи диференціальних рівнянь виконано для стаціонарного процесу, що дозволило отримати достатньо прості аналітичні залежності для обчислювання імовірностей перебування елементів ЗРС у визначених станах.

2. Наведені методичні положення оцінки живучості ЗРС від вогневих ударів противника доцільно використовувати для обґрунтування рекомендацій щодо перебування її елементів на позиціях з урахуванням прогнозованих дій противника.

3. У статті основна увага приділена визначенню імовірностей перебування елементів ЗРС у визначених станах циклу бойового застосування. У подальшому доцільно наведені методичні положення доповнити методиками визначення імовірностей розвідки і ураження елементів ЗРС засобами противника.

## Список літератури

1. Мильграм Ю.Г. *Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций* / Ю.Г. Мильграм,

И.С. Попов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1970. – 500 с.

2. *Вероятностные методы оценки эффективности вооружения* / [Червоный А.А., Шварц В.А., Козловцев А.П., Чобанян В.А.]; под ред. проф. А.А. Червоного. – М.: Воениздат, 1979. – 95 с.

3. *Основы исследования операций в военной технике* / [Чуев Ю.В., Мельников П.М., Петухов С.И. и др.]; под ред. проф. Ю.В. Чуева. – М.: Сов. радио, 1965. – 592 с.

4. Абчук В.А. *Справочник по исследованию операций* / В.А. Абчук, Ф.А. Матвейчук, Л.П. Томашевский; под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.

5. Тарасов В.М. *Розвідувально-ударні, розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови в умовах реалізації концепції мережецентричних війн, оцінка ефективності бойового застосування): моногр.* / В.М. Тарасов, Р.І. Тимошенко, О.М. Загорка; за заг. ред. В.М. Телелима. – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2015. – 184 с.

6. *Оцінка живучості розвідувально-ударних систем (розвідувально-вогневих комплексів)* / О.М. Загорка, І.Б. Чепков, В.А. Перепелиця, А.І. Запліцина, І.О. Загорка // Зб. наук. пр. ЦНДІ ОБТ ЗС України. – 2008. – № 21. – С. 40-46.

7. *Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони): моногр.* / І.С. Романченко, О.М. Загорка, С.Г. Бутенко, О.В. Дейнега]. – Житомир: "Полісся", 2011. – 344 с.

Надійшла до редколегії 23.06.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук ст. наук. співробітник Г.С. Залевський, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ ЗЕНИТНОЙ РАКЕТНОЙ СИСТЕМЫ ОТ ДЕЙСТВИЯ ПО ЕЕ ЭЛЕМЕНТАМ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА

А.Н. Загорка, В.В. Коваль, И.А. Загорка

*Предложены методические положения оценки живучести зенитной ракетной системы и ее элементов на основании использования метода моделирования за схемой марковских случайных процессов.*

**Ключевые слова:** показатель живучести, этапы применения элементов зенитной ракетной системы, вероятности состояний, система дифференциальных уравнений Колмогорова.

## METHODICAL POSITIONS OF ESTIMATION OF VITALITY OF THE ZENITHAL ROCKET SYSTEM FROM OPERATING UNDER ITS ELEMENTS OF FACILITIES OF DEFEAT OF OPPONENT

O. Zagorka, V. Koval', I. Zagorka

*Methodical positions of estimation of vitality of the zenithal rocket system and its elements are offered on the basis of the use of design method after the chart of markovian of casual processes.*

**Keywords:** index of vitality, stages of application of elements of the zenithal rocket system, probabilities of the states, system of differential levels of Kolmogorova.