

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА**

*В.Г. Бурлов, Н.Н. Попов, Х.А. Гарсия Эскалона*

Российский государственный гидрометеорологический университет, nnporow@gmail.com

Управление процессом применения космической геоинформационной системы в интересах обеспечения экологической безопасности региона требует формировать процессы с наперед заданными свойствами. Однако для управления обычно используются модели, основанные на базе анализа. Это требует решения прямой задачи управления, а ее решение не позволяет удовлетворять в полной мере сформулированным требованиям. В работе представлена концепция управления, основанная на синтезе, которая позволяет более полно удовлетворять этим требованиям. Новый подход основан на решении обратной задачи управления. Показано, что основа управления процессом применения космической геоинформационной системы — это решение человека.

*Ключевые слова:* синтез, модель, управление, система, решение, экологическая безопасность, геоинформационная система.

**MANAGING THE PROCESS OF APPLICATION  
OF SPACE-BASED GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM  
TO ENSURE ENVIRONMENTAL SECURITY IN A REGION**

*V.G. Burlov, N.N. Popov, J.A. Garcia Escalona*

Russian State Hydrometeorological University

Managing the process of space-based geographic information system to ensure environmental safety in a region requires forming processes with predetermined properties. However, models based on analysis are used for management. This requires the solving of the direct management problem, but its solution cannot fully satisfy the established requirements. This work presents the control concept based on synthesis, which allows fully satisfy these requirements. A new approach is based on the solution of inverse problem of control. It is shown, that the foundation of the control of the process of using the space geographic information system is a human decision.

*Keywords:* Synthesis, model, management, system, solution, environmental security, geo-information system.

**Введение**

Система космического мониторинга (КМ) является важным средством обеспечения экологической безопасности (ЭБ). Она базируется на дистанционном зондировании и опирается на сеть наземных наблюдений [3].

Структура КМ представляет собой распределенную систему. Эта система включает независимые, но связанные между собой хранилища данных, систему контроля, систему динамических оценок и прогнозирования, систему управления, а также информационную систему (ИС) обработки данных мониторинга.

В качестве такой ИС целесообразно выбирать геоинформационную систему (ГИС) [2]. ИС мониторинга относится к проблемно-ориентированным системам [14]. Эти информационные системы включают специализированные базы моделей. Все системы мониторинга используют специальные типовые наборы моделей, которые на основе агрегации [15] позволяют строить сложные предметные модели. Особенностью КМ является необходимость координатного обеспечения этого мониторинга [2, 8].

В результате выработки управляющего решения осуществляется воздействие на объект мониторинга. Результаты управления и данные об окружающей среде поступают в подсистему наблюдения. Система геоинформационного мониторинга образует замкнутую самоорганизующуюся систему. Интеграция КМ и геоинформационного мониторинга привела к созданию геоинформационного космического мониторинга (ГИКМ). Деятельность системы ГИКМ должна обеспечивать получение гарантированного результата. Основа деятельности — решение лица, принимающего решения (ЛПР) [15]; поэтому самостоятельный научно-практический интерес представляет адекватная математическая модель решения ЛПР. Решению задачи синтеза адекватной математической модели решения ЛПР и посвящена настоящая статья.

### **Постановка задачи**

Управление процессом обеспечения экологической безопасности требует формировать процессы с наперед заданными свойствами. В работе представлена концепция управления, основанная на синтезе, которая позволяет удовлетворять этим требованиям. Обеспечение экологической безопасности для территориально разнесенных объектов строится на базе использования данных от геоинформационных систем. Получение и обработка данных для ГИС — наиболее важный и трудоемкий этап создания подобных информационных систем [10, 11]. В настоящее время самым перспективным и экономически целесообразным считается метод получения данных об объектах на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Традиционно к данным дистанционного зондирования относят только те методы, которые позволяют получить из космоса или с воздуха изображение земной поверхности в каких-либо участках электромагнитного спектра. Данные ГИС могут быть использованы для формирования решения уполномоченным лицом. При этом возникает проблема установления связи между данными ГИС и моделью решения ЛПР в интересах гарантированного достижения цели деятельности по обеспечению экологической безопасности. Не располагая методологическими основами решения задач управления экологической безопасностью в форме условия существования процесса, мы не можем гарантировать достижения цели деятельности.

В основе деятельности лежит решение человека. Человек осуществляет свою деятельность на основе модели [1]. Поэтому для осуществления деятельности, соответствующей экологической обстановке, необходимо располагать адекватной математической моделью решения человека. В публикациях по данной теме

утверждается, что построение математической модели решения человека является сложной или даже невыполнимой задачей. Стоит отметить, что в публикациях представлены только результаты обоснования решения, но не модель самого решения. Без математической модели решения весьма сложно гарантировать достижение цели управления экологической безопасностью. Такая же ситуация складывается и с построением системы обеспечения экологической безопасности, так как отсутствует критерий синтеза правильно построенной системы. Данная совокупность факторов определяет актуальность настоящей работы. Целью же являются выбор и обоснование условия гарантированного достижения цели управления экологической безопасностью на основе синтеза математической модели решения. Только условие существования процесса управления экологической безопасностью позволит связать в единое целое данные ГИС, полученные на основе дистанционного зондирования, с элементами математической модели решения ЛПР. Получение условия существования процесса управления экологической безопасностью позволяет построить конструктивную технологию. Технология управления процессом обеспечения ЭБ — это преобразования информационных и деятельностных ресурсов ЛПР в интересах достижения цели деятельности.

#### **Естественнонаучный подход к синтезу модели решения человека**

В процессе деятельности по организации и управлению процессом обеспечения ЭБ зачастую возникают ситуации, когда результаты принимаемых решений не оправдывают ожидания человека. Неудовлетворительный результат управления обоснован противоречивыми выводами. Для их исключения следует использовать аксиоматический метод, который позволяет исключить необоснованность рассуждений. Аксиоматический метод предполагает существование следующих элементов:

- 1) основные допущения и предположения;
- 2) базовые понятия, ключевые слова, аксиомы.

Для объективного использования данного метода необходимо отметить, что в процессе деятельности участвуют:

- 1) человек, его сознание;
- 2) окружающий мир (объект);
- 3) нечто, что дано природой и позволяет осуществлять познание (всеобщая связь).

Для формирования условий, гарантирующих достижение цели деятельности, используется естественнонаучный подход (ЕНП) к управлению ИБ. ЕНП определяется интеграцией свойств мышления человека, окружающего мира и познания [4—6]. Этот подход реализуется научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления» [13]. Трехкомпонентность отражается в трех принципах.

1. Принцип трехкомпонентности познания:

— компонент А — абстрактное представление (условие существования, методология);

— компонент В — абстрактно-конкретное представление (причинно-следственные связи, методы);

— компонент С — конкретное представление (технологии, алгоритмы).

2. Принцип целостности Мира. Это устойчивая, объективная, повторяющаяся связь свойств объекта и действия при фиксированном предназначении.

3. Принцип познаваемости Мира. Реализуется следующими методами: декомпозиция, абстрагирование, агрегирование.

*Принцип трехкомпонентности познания* состоит в том, что человек, осознанно или нет, осуществляет выработку решения на трех уровнях представления обстановки: 1) абстрактный уровень (формируется условие существования процесса); 2) абстрактно-конкретный уровень (формируются причинно-следственные связи); 3) конкретный уровень (формируются условия реализации причинно-следственных связей).

В процессе деятельности человек оперирует категориями «система», «модель» и «предназначение»; поэтому особенно корректно необходимо рассматривать и использовать эти категории.

Известны всего два направления разработки системы (модели) — разработка на основе анализа и разработка на основе синтеза. Такой подход известен из монографии по системотехнике [7]. П.К. Анохин указывал и экспериментально подтвердил, что для синтеза системы необходимо выявить «основную закономерность» общей теории функциональных систем [1]. Он обращался к ведущим специалистам в области создания и исследования (например, к М. Месаровичу и др. [17]) с вопросом о разработке формализованного критерия построения системы. Данный вопрос не получил ответа в известных публикациях, но разрабатывается научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления» в форме закона сохранения целостности объекта [11]. Поэтому в настоящей работе для синтеза модели решения используется закон сохранения целостности объекта (ЗСЦО) [4—6].

Также следует рассмотреть особенность синтеза модели объекта (процесса). Ключевым моментом является условие ее адекватности. Наиболее приемлемым подходом для оценивания адекватности является «полнота учета основных закономерностей предметной области» [4].

Если в области естественных наук для адекватности разрабатываемой модели используются законы физики и химии, то в области сложных (социальных, экономических, технико-технологических и пр.) систем предлагается использовать закон сохранения целостности [4—6].

### **Общий подход к синтезу модели решения при управлении экологической безопасностью**

В основе деятельности по управлению ЭБ всегда лежит решение ЛПР. Человек принимает решение на основе модели. Под моделью объекта будем понимать описание или представление объекта, соответствующее объекту и позволяющее получать характеристики об этом объекте. В таком случае решение — модель процесса,

с которым работает человек. Процесс — это объект в действии при фиксированном предназначении. Для синтеза применяем ЕНП, базирующийся на ЗСЦО.

Закон сохранения целостности объекта — устойчивая, повторяющаяся связь свойств объекта и свойств действия при фиксированном предназначении. ЗСЦО проявляется во взаимной трансформации свойств объекта и свойств его действия при фиксированном предназначении.

В соответствии с разработанным ЕНП каждый процесс должен быть представлен тремя компонентами, соответствующими свойствам «объективность», «целостность» и «изменчивость» (или понятиям «объект», «предназначение» и «действие» соответственно). Эти три компонента располагаются по горизонтали. Они могут интерпретироваться в трех различных уровнях познания мира (абстрактном, абстрактно-конкретном, конкретном). Такой подход определяет наличие трех уровней по вертикали. На рис. 1 представлена структурная схема развертывания содержания понятия «Решение».

Введем ряд определений.

*Управленческое решение* — условие реализации предназначения объекта, которым он управляет, в соответствующей обстановке в интересах достижения цели управления.

*Обстановка* — совокупность факторов и условий, в которых осуществляется деятельность.

*Информационно-аналитическая работа* — непрерывное добывание, сбор, изучение, отображение и анализ данных об обстановке.

Разложив понятие «управленческое решение» на три базовых элемента — «обстановка», «информационно-аналитическая работа» и «решение», необходимо перейти к синтезу модели решения. На рис. 2 представлена структурная схема синтеза модели.

Как было отмечено, из системотехники известно [7], что возможны только два подхода к построению модели: разработка на основе анализа и на основе синтеза. Аналитический подход обладает существенным недостатком: он не позволяет формировать процессы с наперед заданными свойствами, что особенно важно в условиях обеспечения экологической безопасности. Подход, основанный на синтезе, позволяет получать гарантию достижения цели и лишен основного недостатка аналитического подхода, что и предопределило необходимость применения синтеза модели управления процессом обеспечения ЭБ в данной работе.

Руководствуясь принципами трехкомпонентности познания, целостности и познаваемости, осуществим синтез модели. На первом уровне, применяя метод декомпозиции, расчленим решение на три элемента («обстановка», «решение» и «информационно-аналитическая работа»), которые соответствуют «объекту», «предназначению» и «действию». Применяя на втором уровне метод абстрагирования, мы отождествляем «объект» («обстановка») с периодичностью проявления проблемы перед человеком ( $\Delta t_{\text{ПП}}$ ). «Предназначение» («Решение») отождествляем с периодичностью нейтрализации проблемы (средним временем адекватного реагирования на проблему) человеком ( $\Delta t_{\text{ПП}}$ ). «Действие» («информационно-аналитическая работа») отождествляем с периодичностью идентификации проблемы



Рис. 1. Структурная схема развертывания содержания категории «решение» как процесса.

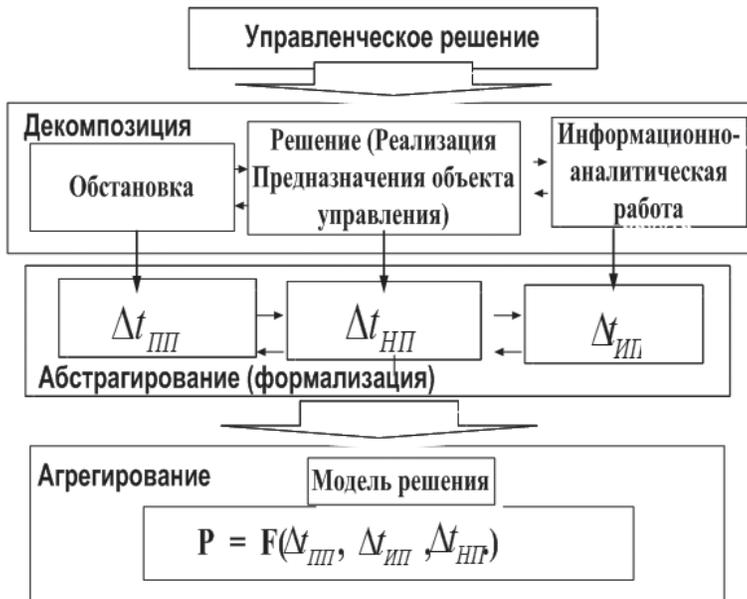


Рис. 2. Структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения.

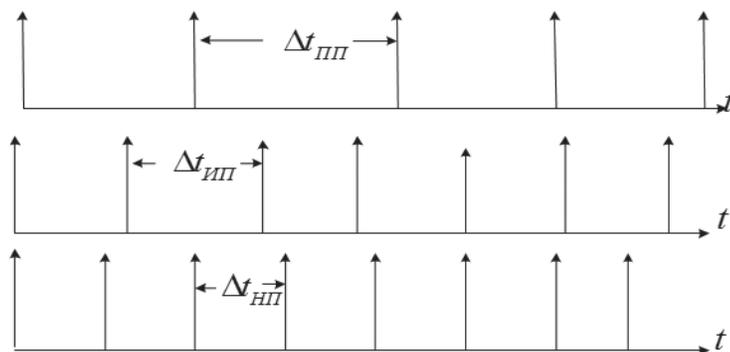


Рис. 3. Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения.

(средним временем распознавания ситуации) ( $\Delta t_{\text{ИП}}$ ). Временные характеристики основаны тем, что только временные ресурсы для человека невосполнимы.

Отметим, что результаты исследования в теории функциональных систем академика АН СССР П.К. Анохина показали, что решение человека формируется в схеме «возбуждение», «распознавание», «реакция на обстановку» [1]. Поэтому в настоящей работе используется диаграмма изменения базовых компонентов формирования модели решения, представленная на рис. 3.

### Синтез модели управления экологической безопасностью

В результате применения методов декомпозиции, абстрагирования и агрегирования мы преобразовали понятие «управленческое решение» в агрегат — математическую модель управленческого решения следующего вида:

$$P = F(\Delta t_{\text{ПП}}, \Delta t_{\text{ИП}}, \Delta t_{\text{НП}}). \quad (1)$$

Это есть условие существования процесса управления ЭБ. В силу того что базовая модель управленческого решения имеет три элемента, представим структурную схему управления в виде, показанном на рис. 4.

ЛПР при управлении ЭБ может выполнять в различных сочетаниях две функции:

- идентифицировать (распознавать) проблему,
- нейтрализовывать (задействовать ресурсы обеспечения ЭБ) проблему.

В соответствии с изложенным модель решения ЛПР характеризует четыре базовых состояния:

- $A_{00}$  — ЛПР не идентифицирует и не нейтрализует проблему,
- $A_{10}$  — ЛПР идентифицирует и не нейтрализует проблему,
- $A_{01}$  — ЛПР не идентифицирует и нейтрализует проблему,
- $A_{11}$  — ЛПР идентифицирует и нейтрализует проблему.

В соответствии с описанной особенностью управленческого решения необходимо ввести вероятности нахождения нашей системы управления в этих четырех

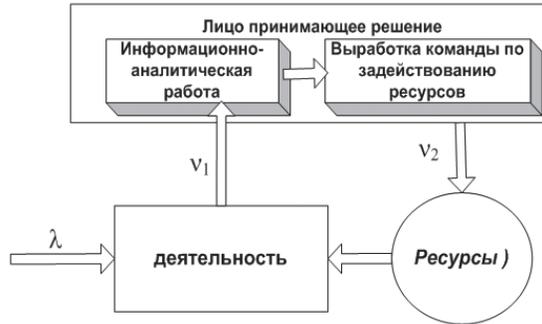


Рис. 4. Структурная схема управления процессом обеспечения безопасности.

$\lambda$  — величина, обратная среднему времени проявления проблемы;  
 $v_1$  — величина, обратная среднему времени идентификации проблемы;  
 $v_2$  — величина, обратная среднему времени нейтрализации проблемы.

состояниях. Соответственно получаем вероятности  $P_{00}$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{01}$ ,  $P_{11}$  нахождения системы в состояниях  $A_{00}$ ,  $A_{10}$ ,  $A_{01}$ ,  $A_{11}$ .

Процесс формирования решения можно рассмотреть как цепь Маркова [16]. В связи с тем что такой подход не позволяет в достаточной мере учитывать динамику процесса, в настоящей работе целесообразно использовать непрерывные цепи Маркова. Для реализации такого подхода необходимо составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова — Чепмена. Характеристику переходов системы представим на рис. 5.

Допустим, что система находится в начальном состоянии  $A_{00}$ . При появлении проблемы под воздействием интенсивности  $\lambda$  она переходит в состояние  $A_{10}$ , т.е. в состояние распознавания проблемы. Из этого состояния система под воздействием интенсивности  $v_1$  осуществляет переход в состояние  $A_{01}$ , в котором система

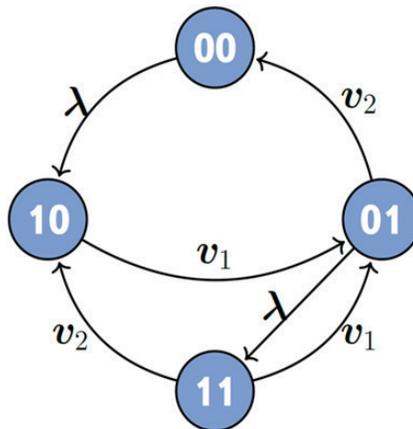


Рис. 5. Граф состояний процесса формирования управленческого решения.

начинает процесс нейтрализации проблемы с интенсивностью  $v_2$  и переводит систему в состояние  $A_{00}$ . Эта ситуация возможна, если проблема нейтрализована, а очередная проблема еще не образовалась. Если образовалась, под воздействием интенсивности  $\lambda$  система переходит в состояние  $A_{11}$ . Находясь в состоянии  $A_{11}$ , под воздействием интенсивности  $v_1$  система переходит в состояние  $A_{01}$ , если проблема распознана, и переходит в состояние  $A_{10}$  под воздействием интенсивности  $v_1$ , если одна проблема нейтрализована. Далее на вход поступает очередная проблема, и ее надо распознавать. Процесс повторяется.

Для описания процесса изменения состояний на графе необходимо сделать следующие допущения и предположения.

1. Рассматривается схема формирования решения человека в форме информационно-управляющей системы. На основе решения формируется процесс обеспечения ЭБ.

2. Промежутки времени между моментами обнаружения фактов проявления проблем являются величинами случайными.

3. Обнаруженные факты образуют поток во времени, близкий к потоку Пуассона.

4. Время обработки данных о требуемом признаке является величиной случайной.

5. Данные о признаках распределяются далее между выделенными ресурсами, решающими соответствующие целевые задачи по обеспечению ЭБ.

6. Рассматривается случай, когда время пребывания требуемых признаков (фактов) в области действия системы (человека) весьма ограничено и соизмеримо со временем, которое необходимо для их идентификации, а также обработки данных и принятия адекватных действий по этим признакам.

7. Система подготовлена к решению задач по распознаванию и нейтрализации проблем.

8. Разрабатываемая система (решение человека) предназначена для оценивания потенциальных возможностей системы обеспечения ЭБ в зависимости от обстановки.

Введенные допущения и предположения позволяют использовать систему дифференциальных уравнений Колмогорова — Чепмена [4]. Тогда составим систему ДУ Колмогорова для нашей ситуации. Она будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_{00}(t) &= -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)v_2, \\ \frac{d}{dt} P_{01}(t) &= -P_{01}(t)(\lambda + v_2) + P_{11}(t)v_1 + P_{10}(t)v_1, \\ \frac{d}{dt} P_{10}(t) &= P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)v_1 + P_{11}(t)v_2, \\ \frac{d}{dt} P_{11}(t) &= P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(v_1 + v_2). \end{aligned} \quad (2)$$

Для системы (1) накладывается следующее ограничение:

$$P_{00}(t) + P_{10}(t) + P_{01}(t) + P_{11}(t) = 1. \quad (3)$$

Система (1) решается для заданных начальных условий.

1. В общем случае используем соотношения (4), где правые части — это некоторые константы, вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях:

$$P_{00}(0) = P_{00*}, P_{10}(0) = P_{10*}, P_{01}(0) = P_{10*}, P_{11}(0) = P_{11*}. \quad (4)$$

2. Случай когда система находится в состоянии  $A_{00}$ , т.е. проблема, на которую надо реагировать, отсутствует, не рассматривается и не обрабатывается:

$$P_{00}(0) = 1, P_{10}(0) = 0, P_{01}(0) = 0, P_{11}(0) = 0. \quad (5)$$

Рассмотрев процесс как динамический, перейдем к выявлению возможностей рассмотрения этого процесса как стационарного, не нарушая общности рассуждений.

Если предположить, что мы имеем стационарный процесс, тогда наша исходная система дифференциальных уравнений трансформируется в систему линейных однородных алгебраических уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)v_2 &= 0, \\ -P_{01}(t)(\lambda + v_2) + P_{11}(t)v_1 + P_{10}(t)v_1 &= 0, \\ P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)v_1 + P_{11}(t)v_2 &= 0, \\ P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(v_1 + v_2) &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Это есть система линейных алгебраических уравнений относительно четырех неизвестных:  $P_{00}, P_{10}, P_{01}, P_{11}$ , которые связаны между собой следующим соотношением:  $P_{00} + P_{10} + P_{01} + P_{11} = 1$ .

Искомые вероятности уже не зависят от времени. Решением данной линейной алгебраической системы уравнений являются следующие соотношения:

$$P_{00} = \frac{v_1 v_2}{\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2}, \quad (7)$$

$$P_{10} = \frac{\lambda v_2 (\lambda + v_1 + v_2)}{(v_1 + v_2) [\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2]}, \quad (8)$$

$$P_{01} = \frac{\lambda v_1}{\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2}, \quad (9)$$

$$P_{11} = \frac{\lambda v_1}{(v_1 + v_2) [\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2]}. \quad (10)$$

Получив соотношения, определяющие вероятности нахождения системы в состояниях  $A_{00}$ ,  $A_{10}$ ,  $A_{01}$ ,  $A_{11}$ , мы можем выработать требования к свойствам процесса распознавания проблемы, возникшей в системе, и к свойствам процесса нейтрализации этой проблемы в системе обеспечения ЭБ:

$$P_{00} = P_{\text{инп}} = \frac{v_1 v_2}{\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2}. \quad (11)$$

В этом соотношении связаны три параметра. Таким образом, мы установили аналитическую зависимость обобщенных характеристик обстановки ( $\Delta t_{\text{пп}}$ ), информационно-аналитической деятельности ( $\Delta t_{\text{инп}}$ ) и нейтрализации проблемы ( $\Delta t_{\text{нп}}$ ), возникшей при управлении экологической безопасностью. Следуя работе академика П.К. Анохина [1], мы получили системообразующий фактор создания системы управления ИБ в форме соотношения (11).

### Выводы

Рассматривая соотношение (11) как условие существования процесса управления ЭБ, задавая показатель уровня ЭБ в виде  $P_{\text{инп}}$  и располагая при этом характеристикой обстановки  $\Delta t_{\text{пп}} = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , можно исходя из условия обеспечения показателя ЭБ сформировать требуемый показатель процесса распознавания ситуации  $\Delta t_{\text{инп}} = f_2(y_1, y_2, \dots, y_m)$  и требуемый показатель результата деятельности по управлению ЭБ  $\Delta t_{\text{нп}} = f_3(z_1, z_2, \dots, z_k)$ . Здесь вектор  $X$  характеризует процесс образования проблемы при управлении ЭБ,  $Y$  — процесс распознавания ситуации, а  $Z$  — процесс нейтрализации проблемы при управлении ИБ. Распознавание трюится на основе использования ГИС.

В целом, в работе предложены основы построения технологии управления ЭБ. Синтез системы управления ЭБ на основе системы дифференциальных уравнений позволил реализовать гарантированный подход к управлению ЭБ. Модель управления, в частности граф состояний, может быть далее усложнена введением дополнительных обратных связей и учетом других условий.

### Список литературы

1. Анохин П.К. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука, 1979. 453 с.
2. Бондур В.Г., Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Проблемы мониторинга и предсказания природных катастроф // Исследования Земли из космоса. 2005. № 1. С. 3—14.
3. Бондур В.Г., Савин А.И. Концепция создания систем мониторинга окружающей среды в экологических и природно-ресурсных целях // Исследование Земли из космоса. 1992. № 6. С. 70—78.
4. Бурлов В.Г. Математические методы моделирования в экономике. Часть 1. СПб: изд-во СПбГПУ, 2007. 330 с.
5. Бурлов В.Г. О концепции гарантированного управления устойчивым развитием арктической зоны на основе решения обратной задачи // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2015. № 2 (16). С. 99—111.
6. Бурлов В.Г. Основы моделирования социально-экономических и политических процессов (методология, методы). СПб: изд-во СПбГПУ, 2007. 265 с.

7. Гуд Г.Х., Макол Р.Э. Системотехника. М.: Советское радио, 1962. 384 с.
8. Егоров В.М., Цветков В.Я. Координатное обеспечение международной аэрокосмической системы глобального мониторинга // Полет. 2012. № 4. С. 34—37.
9. Лупян Е.А. и др. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 26—43.
10. Гордеева С.М., Малинин В.Н. Использование data mining в задаче гидрометеорологического прогнозирования // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 44. С. 30—44.
11. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. — СПб: изд-во РГГМУ, 2008. 408 с.
12. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с.
13. Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга. <http://is.ifmo.ru/aboutus/2013/science-schools.pdf>
14. Цветков В.Я. Разработка проблемно ориентированных систем управления. М.: ГКНТ, 1991. 131 с.
15. Цветков В.Я., Матчин В.Т. Агрегирование информационных моделей // Славянский форум. 2(6). С. 77—81.
16. Burlon, V.G., Volkov, V.F. Method of consecutive expert estimates in control problems for the development of large-scale potentially dangerous systems // Engineering Simulation. 1994. № 12 (1). P. 110—116.
17. Mesarovic M.D., Yasuhiko T. General Systems Theory: Mathematical Foundations. NewYork: Academic Press, 1975. 314 p.