

УДК 681.327.12.001.362

А.И. Кузьмич<sup>1</sup>, В.В. Краснопрошин<sup>2</sup>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЫ И МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА

*Рассматривается вариант формализации проблемы мониторинга на основе теории принятия решений. Предлагаются модели гетерогенной среды и мобильного гетерогенного объекта как структурно-информационной основы для решения типовых задач мониторинга, включая идентификацию, наблюдение, оценивание, синтез управляющих решений и прогноз. Модели ориентированы на практическое применение и реализацию на любом современном объектно-ориентированном языке программирования.*

### Введение

За последние десятилетия под влиянием процессов глобализации экономики и информатизации общества существенно изменились условия решения многих традиционных задач [1]. В их число входит проблема мониторинга мобильных гетерогенных объектов (МГО) [2, 3]. К МГО относятся: железнодорожные составы, автоколонны, караваны судов, цистерны с горюче-смазочными материалами, радиоактивными и другими токсичными отходами. Деструкция МГО или перевозимого ими груза является потенциальной причиной возникновения крупномасштабных чрезвычайных ситуаций, поэтому разработка методов мониторинга такого рода объектов входит в число важнейших научно-практических задач.

Процесс мониторинга МГО сложен и многогранен, так как включает решение ряда взаимосвязанных теоретических и технологических задач, относящихся к различным научным дисциплинам (теории систем, организации, управлению, искусственному интеллекту и др.), и требует применения современной вычислительной и коммуникационной техники. Несмотря на достигнутые успехи, многие вопросы мониторинга остаются нерешенными. В данной статье рассматриваются важные с теоретической и практической точек зрения, но недостаточно исследованные задачи построения моделей среды проведения мониторинга и мобильного объекта наблюдения. В совокупности эти модели можно рассматривать как структурно-информационную основу для решения типовых задач мониторинга с учетом специфики МГО.

Понятие «мониторинг» впервые было сформулировано Р. Манном на Стокгольмской конференции по окружающей среде в 1972 г. как «система повторных наблюдений одного и более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой». Большой вклад в теорию и практику мониторинга внесли В.Д. Федоров, К.С. Бурдин, С. Харт, Ю.С. Малышев, Д. Мур и др. В 1974 г. Ю.С. Израэль предложил рассматривать мониторинг более широко: как «систему наблюдений, оценки и прогноза антропогенных изменений состояния окружающей природной среды». Позднее этот термин стал применяться в авиации и космонавтике как «комплекс задач наблюдения за мобильными техногенными объектами и земной поверхностью с целью управления их состоянием» [4] и в мониторинг были включены механизмы синтеза управляющих решений. С начала 1990-х гг. термин «мониторинг» стали применять при исследовании крупномасштабных экономических, социальных и информационно-технических объектов, включая глобальные телефонные, компьютерные и социальные сети [5, 6].

В настоящее время мониторинг представляет собой неоднозначное междисциплинарное явление, для которого характерны масштабность, сложность и высокая стоимость. Поэтому системы мониторинга разрабатывают, как правило, крупные организации, способные решать связанные с ними дорогостоящие и достаточно сложные организационные, теоретические и технологические проблемы.

Несмотря на разнообразие приложений, методов и технологий, процессы мониторинга были в значительной мере стандартизированы и сведены к выполнению следующих шагов:

- 1) определение целей и программы наблюдений;

- 2) выбор и идентификация объекта наблюдения;
- 3) определение множества возможных состояний объекта;
- 4) определение диагностических показателей;
- 5) выбор периода наблюдения;
- 6) выбор технических средств для фиксации значений показателей;
- 7) наблюдение и фиксация значений диагностических показателей;
- 8) оценка состояния объекта наблюдений;
- 9) синтез управляющего решения, адекватного состоянию объекта;
- 10) прогноз состояния объекта.

Пункты 1–7 соответствуют узкому взгляду на мониторинг, пункты 1–10 – широкому.

Методы реализации шагов зависят от особенностей конкретной задачи. В случае МГО к ним можно отнести динамику среды, высокий уровень неопределенности, распределенность, мобильность и сложность структуры объектов наблюдения [7]. Среда, в которых функционируют МГО, могут отличаться специфическими климатическими, ландшафтными, коммуникационными и другими свойствами. В таких условиях традиционные методы мониторинга [3, 6, 7], рассчитанные на стационарные локальные объекты, теряют эффективность и возрастает вероятность экологических, экономических и социальных катастроф. К основным теоретическим проблемам, затрудняющим мониторинг МГО, относится следующее:

- не построен общепризнанный понятийный каркас, в силу чего одни и те же термины по-разному понимаются в различных прикладных областях. Соответственно не сформулирована типовая задача мониторинга МГО, ориентированная на решение в информационно-коммуникационной среде;

- недостаточно исследованы модели среды проведения мониторинга, учитывающие факторы, которые влияют на жизненный цикл МГО;

- не разработана универсальная модель МГО, учитывающая разнородность структуры МГО и изначально ориентированная на применение в компьютерных системах мониторинга.

Целью данной работы является решение перечисленных выше проблем в рамках теории принятия решений, которую предлагается рассматривать в качестве единой методологии для моделирования и автоматизации мониторинга МГО.

## 1. Основные понятия и определения

Известное выражение Эммануила Канта «*Anschauung ohne Begriff ist blind; Begriff ohne Anschauung ist leer*» – «Наблюдения без понятий слепы; понятия без наблюдений пусты» остается актуальным для мониторинга по причине наличия полисемии, т. е. различного понимания одних и тех же терминов в различных прикладных областях [8]. Для устранения полисемии предлагается вариант понятийного базиса мониторинга, соответствующего специфике МГО и свойствам среды, где он реализуется.

**О п р е д е л е н и е 1.** МГО – мобильные технически сложные объекты, структура которых включает разнородные элементы.

**О п р е д е л е н и е 2.** Жизненный цикл МГО – процессы создания, использования и расформирования МГО, относящиеся к реализации определенного проекта.

**О п р е д е л е н и е 3.** Среда – совокупность природных и искусственных условий, в которых реализуется жизненный цикл МГО.

**О п р е д е л е н и е 4.** Сцена – группа одушевленных и искусственных участников (актеров) мониторинга и каналы связи для обмена информацией между ними в процессе реализации проекта.

**О п р е д е л е н и е 5.** Траектория – совокупность точек в средах, по которым движется МГО.

**О п р е д е л е н и е 6.** Контрольные точки – точки на траектории, в которых измеряются значения диагностических показателей.

**О п р е д е л е н и е 7.** Диагностические показатели – множество переменных, значения которых характеризуют различные свойства МГО и могут фиксироваться регистратором.

**О п р е д е л е н и е 8.** Регистратор – устройство, обеспечивающее фиксацию и передачу по каналам связи значений диагностических показателей.

**О п р е д е л е н и е 9.** Состояние объекта – лингвистическая переменная, зависящая от значений диагностических показателей и характеризующая возможность объекта реализовать проект в данный момент времени.

**О п р е д е л е н и е 10.** Управляющее решение – лингвистическая переменная, соответствующая состоянию и содержащая описание действий для поддержки гомеостаза объекта.

Предложенный понятийный базис учитывает специфику мониторинга МГО и дает основание для введения системы аксиом, определяющих принципиальную возможность решения задач мониторинга.

**Аксиома 1.** Центр имеет информацию для формирования диагностических показателей.

**Аксиома 2.** Между центром и МГО имеется канал прямой и обратной связи.

**Аксиома 3.** МГО имеет ресурсы для регистрации и обработки значений диагностических показателей.

**Аксиома 4.** МГО заинтересован в передаче центру значений диагностических показателей.

**Аксиома 5.** Центр имеет интеллектуальные ресурсы для синтеза эффективных управляющих решений для МГО.

**Аксиома 6.** МГО заинтересован в выполнении управляющих решений.

На основе введенных определений и аксиом сформулируем задачу мониторинга МГО.

## 2. Постановка задачи

В литературе представлено достаточно много вариантов постановки задачи мониторинга [2–6]. В целом их можно разделить на три группы. К первой группе относятся постановки общего плана, содержащие в основном требования к решению; вторая группа сфокусирована на решении частных, как правило теоретических, задач; в третьей группе основное внимание уделяется устройствам регистрации и передачи сигналов и другим техническим аспектам.

К сожалению, в доступной литературе не удалось найти примеры постановки, дающие полное и понятное разработчику и заказчику описание задачи мониторинга, изначально рассчитанное на автоматизированное решение. В данной работе предлагается вариант постановки, устраняющий этот недостаток на основе онтологического подхода.

Онтология в информатике понимается как структура, описывающая предметную область задачи в удобной для восприятия человеком форме [8]. С прагматической точки зрения онтология определяется как «общая, разделяемая коллективом субъектов концептуальная информационная модель предметной области, в освоение которой они вовлечены. Для этих субъектов онтология действует как средство коммуникации и обладает нормативной ролью» [8]. Основное преимущество онтологии заключается в возможности последовательного описания решения задачи в виде комплекса онтологических моделей (далее – моделей) от представления концепции до программного кода [9]. В данной работе онтологический подход будет использоваться при постановке задачи, что позволит сформировать цельный взгляд на мониторинг МГО уже на начальной стадии рассмотрения проблемы.

**Постановка задачи.** Пусть имеется глобальная среда (**A**), состоящая из совокупности  $n$  локальных сред, отличающихся климатическими, политическими, социальными, коммуникационными и другими свойствами:

$$\mathbf{A} = (A_{q1}^1, A_{q2}^2, \dots, A_{qn}^n),$$

где  $A_{qi}^i$  –  $i$ -я локальная среда, обладающая свойствами  $q$ .

В среде **A** некоторая организационная система реализует бизнес-проекты (далее – проекты) с целью получения плановой прибыли ( $\Delta$ ) за время ( $t$ ). В сцене (Scene) выполнения проекта участвуют центр (C) и мобильный гетерогенный объект (MGO), состоящий из  $M$  гомогенных элементов ( $mgo$ ). Информационное взаимодействие между центром и объектом осуществляется с помощью коммуникаций (Com) и регистратора диагностических показателей (Unit) в рамках сцены, которую формирует алгоритм  $f_1$ :

$Scene = \mathbf{f}_1 (C, MGO, Com, Unit) = (C, mgo_1, mgo_2, \dots, mgo_M, Com, Unit), Scene \in A.$

MGO характеризуется конечным множеством диагностических показателей ( $X_{MGO}$ ), значения которых фиксируются регистратором и преобразуются в числовую форму алгоритмом  $\mathbf{f}_2$ :

$$X_{MGO} = \mathbf{f}_2 (Unit) = (X_{mgo1}, X_{mgo2}, \dots, X_{mgoM}).$$

В зависимости от значений показателей  $X_{mgo}$  элементы MGO в каждый момент времени могут находиться в одном из  $m$  возможных состояний ( $V$ ), которое определяется с помощью алгоритма  $\mathbf{f}_3$ :

$$V_{mgoi} = \mathbf{f}_3 (X_{mgoi}) = (V^1_{mgoi} \text{ or } V^2_{mgoi} \dots \text{ or } V^m_{mgoi}).$$

Каждому состоянию  $V_{mgoi}$  соответствует управляющее решение ( $U$ ), которое определяется с помощью алгоритма  $\mathbf{f}_4$ :

$$U_{mgoi} = \mathbf{f}_4 (V_{mgoi}) = (U^1_{mgoi} \text{ or } U^2_{mgoi} \dots \text{ or } U^m_{mgoi}).$$

Состояние MGO в целом зависит от состояния его элементов и определяется с помощью алгоритма  $\mathbf{f}_5$ :

$$V_{MGO} = \mathbf{f}_5 (V_{mgo1} \text{ and } V_{mgo2} \dots \text{ and } V_{mgoM}).$$

Управление для MGO зависит от его состояния и определяется с помощью алгоритма  $\mathbf{f}_6$ :

$$U_{MGO} = \mathbf{f}_6 (V_{mgo1} \text{ and } V_{mgo2} \dots \text{ and } V_{mgoM}).$$

Траектория ( $T$ ) движения MGO в процессе реализации проекта проходит по локальным средам с различными свойствами:

$$T \in (A^1_{q1}, A^2_{q2}, \dots, A^n_{qn}).$$

В определенные моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_k$  MGO и центр проводят сеансы связи с целью оценки состояния и синтеза управляющего решения для MGO с использованием коммуникаций, доступных в текущей локальной среде:

$$Com_i \in A^i_{qi}.$$

Цель управляющего решения – поддержка MGO в состоянии, обеспечивающем получение плановой или более высокой прибыли:

$$\Delta_{real} \geq \Delta_{plan}.$$

Требуется:

– разработать общий подход к решению задачи мониторинга MGO, обеспечивающий методологически единое представление разнородных информационных, алгоритмических и технологических элементов решения;

– построить модель среды с учетом факторов, влияющих на жизненный цикл MGO;

– построить модель MGO, которую можно использовать как структурно-информационную базу для автоматизированного решения типовых задач мониторинга (1)–(10) с учетом специфики MGO.

Решение должно обеспечить реализацию моделей на любом современном объектно-ориентированном языке программирования.

Поставленные задачи относятся к разным научным дисциплинам, поэтому в первую очередь необходимо выбрать общую методологию решения.

### 3. Методология решения

Подходы к решению проблем мониторинга отличаются большим разнообразием [2–6]. Мониторинг МГО не является исключением, так как алгоритмы  $f_1$ – $f_6$  относятся к разным научным дисциплинам. Например,  $f_1$  относится к теории организаций,  $f_2$  – к теории нечетких множеств и т. д. Для сглаживания междисциплинарных проблем необходимо выбрать системообразующий подход, которым, по мнению авторов, является теория принятия решений (ТПР).

Под принятием решений понимается процесс выбора одной из ряда возможных альтернатив, которая является лучшей согласно определенному критерию [10]. Автоматизированный вариант этого процесса осуществляют специализированные комплексы программ, известные как системы поддержки принятия решений.

Формально процесс принятия решений можно описать кортежем

$$\{O, X, \{Alt\}, Alg\} \rightarrow Alt^*,$$

где  $O$  – исследуемый объект;  $X$  – характеристики объекта;  $Alt$  – множество возможных альтернатив (например, суждений об объекте);  $Alg$  – алгоритм выбора (правило предпочтения на множестве альтернатив);  $Alt^*$  – выбранная альтернатива.

ТПР является хорошо развитой дисциплиной с мощным теоретическим аппаратом [10, 11], который широко применяется для решения прикладных задач [7, 9]. В частности, разработан широкий спектр алгоритмов выбора на основе теории распознавания образов, включая вероятностно-статистические, экспертные и когнитивные методы с использованием искусственного интеллекта [12]. Методологию и аппарат принятия решений, по мнению авторов, можно использовать для решения широкого класса задач – от мониторинга статических объектов (например, заповедников) до слежения за быстролетающими космическими объектами. В пользу выбора ТПР для мониторинга МГО говорит возможность сопоставления:

- объекта  $O$  и МГО;
- показателей  $X$  и вектора диагностических показателей  $X_{mgo}$ ;
- альтернатив  $Alt$  и состояний  $V$  и управлений  $U$ ;
- алгоритма  $Alg$  и алгоритмов  $f_3$ – $f_6$ ;
- выбранной альтернативы  $Alt^*$  и текущего состояния МГО  $V_j$ .

Определение общей методологии позволяет перейти к этапу рассмотрения среды проведения мониторинга МГО.

### 4. Модель среды

Вопросы моделирования среды проведения мониторинга МГО исследованы недостаточно (за исключением авиакосмической, военной и нефтедобывающей отраслей [4, 13]). Данный недостаток является одной из причин существенных материальных и финансовых потерь при реализации проектов с использованием МГО [2, 3, 11]. Подтверждением этому служат, в частности, проблемы движения танкеров и сухогрузов в Аденском заливе, Индийском океане, акватории Бенина и т. д. Эти факты говорят о том, что построение эффективных систем мониторинга МГО в принципе невозможно без учета свойств среды, где реализуется жизненный цикл МГО.

Модель среды будем строить на основе следующих соображений. Траектория движения МГО может проходить в разнородных средах, свойства которых так или иначе влияют на состояние МГО и возможность успешного выполнения проекта. Первую группу свойств среды обозначим как «административную» ( $Adm$ ). Она определяет принципиальную возможность нахождения и движения объекта по данной территории. Например, на Ближнем Востоке и в Африке количество закрытых административных зон постоянно растет и это необходимо учитывать. Вторую группу свойств можно назвать географической ( $Geo$ ). Она характеризует особенности ландшафта, климата и другие природные условия, которые влияют на возможность выполнения проекта. Третью группу составляют особенности населения ( $Soc$ ), от которых зависит безопасность МГО. В четвертую группу входят свойства траектории ( $Way$ ), включая качество дорожного покрытия, наличие станций технического обслуживания и т. д. К пятой

группе отнесем свойства коммуникационной инфраструктуры (Tech) – наличие сетей беспроводной телефонной связи, Интернета и устройств для их использования.

Объединив эти группы, получим природно-техногенную модель среды (mEnv), которую можно описать кортежем

$$mEnv = \mathbf{A} = (\text{Adm}, \text{Geo}, \text{Soc}, \text{Way}, \text{Tech}, fD, fE), \quad (1)$$

где fD и fE – алгоритмы оцифровки и оценки среды.

Кортеж (1) оставляет открытым вопрос о выборе алгоритмов fD и fE, так как он носит полемический характер и пока далек от разрешения. В данной статье используется подход на основе теории распознавания образов, соответственно показатели среды формируются как группа показателей ( $X_{mEnv}$ ) в общем множестве диагностических показателей. Данный подход к моделированию среды носит открытый характер (позволяет сокращать или увеличивать количество составляющих среды) и обеспечивает свободу выбора алгоритмов для построения траектории, оптимальной по стоимости, безопасности движения, качеству технической поддержки и надежности связи. Кортеж (1) и шаги алгоритма достаточно просто отображаются в класс и методы на любом объектно-ориентированном языке программирования.

Модель среды будем использовать в качестве элемента модели МГО.

### 5. Модель мобильного гетерогенного объекта

В литературе вопросы моделирования МГО акцентированы в основном на построении моделей автоколонн и подвижного железнодорожного состава [2, 3, 7]. Модели представлены, как правило, совокупностью параметров, которые фиксируются регистратором и передаются в центр, где производятся их анализ и синтез соответствующего управляющего решения. Такой подход имеет ряд недостатков, увеличивающих стоимость жизненного цикла МГО [2–7]:

- объект рассматривается в целом, поэтому не всегда удается выявить элемент, где возникли проблемы, отраженные в критических значениях показателей;
- несвоевременное выявление сбойного элемента часто приводит к аварийным ситуациям, так как в МГО часто выход из строя одного элемента (например, двигателя локомотива) может привести к деструкции всего объекта (например, состава цистерн с нефтью);
- выбор управляющих решений в условиях проблемных ситуаций основан, как правило, на анализе большого количества продукций, что требует значительных затрат времени, увеличивает объем трафика данных и может привести к запаздыванию решений;
- отсутствуют механизмы прогноза состояния элементов МГО, что исключает возможность сокращения затрат за счет замены капитального ремонта профилактическим;
- количество сообщений в центр в зависимости от регламента может достигать несколько сотен в день, что существенно затрудняет процесс анализа информации и принятия соответствующих решений диспетчером центра.

Для устранения этих недостатков следует построить новую модель, которая будет обеспечивать:

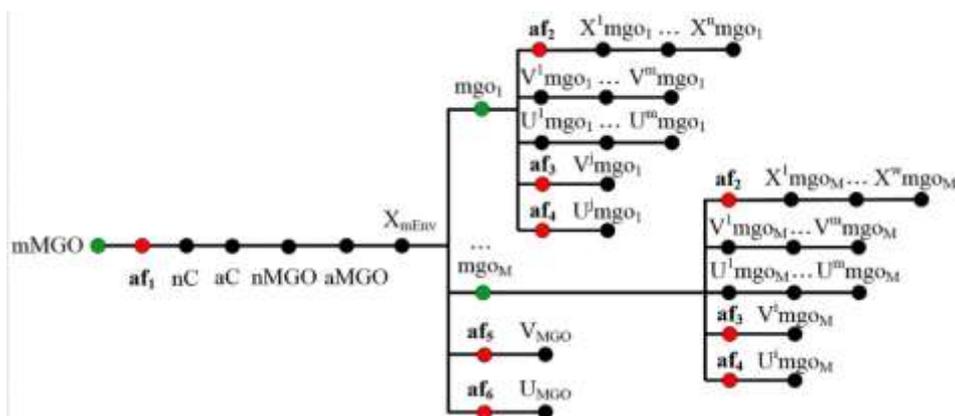
- декомпозицию МГО на элементы;
- определение состояния каждого элемента и МГО в целом;
- синтез управляющего решения для элементов и МГО;
- прогноз состояния элементов и МГО в целом;
- возможность реализации модели на современных языках программирования.

Предлагается модель МГО, состоящая из двух частей:

– полной модели, которая строится экспертом центра после инициализации проекта на уровне центра и включает всю информацию, необходимую для формирования цельного взгляда на проект;

– локальной модели, которая содержит часть полной модели, необходимой для поддержки жизненного цикла МГО.

Полная модель представляет собой граф, вершины которого отражают структуру МГО, терминальные узлы соответствуют алгоритмам, которые выполняются на данном узле, ребра соответствуют коммуникациям (рисунок).



Полная модель мобильного гетерогенного объекта

В данной модели:

– алгоритм построения сцены **af<sub>1</sub>** в диалоге с экспертом задает параметры центра (nC, aC) и МГО (nMGO, aMGO), диагностические показатели для среды ( $X_{mEnv}$ ) и МГО ( $X_{MGO}$ ), множества возможных состояний (V) и управлений (U);

– алгоритм **af<sub>2</sub>** преобразует сигналы датчиков МГО в цифровую форму и формирует  $X_{MGO}$ ;

– алгоритм **af<sub>3</sub>** оценивает состояние  $V_{mgo}$  элементов МГО на основе  $X_{MGO}$ , V, U;

– алгоритм **af<sub>4</sub>** синтезирует управление  $U_{mgo}$ , соответствующее состоянию  $V_{mgo}$ ;

– алгоритм **af<sub>5</sub>** оценивает состояние  $V_{MGO}$  МГО в целом;

– алгоритм **af<sub>6</sub>** синтезирует управление  $U_{MGO}$  для МГО в целом.

В локальной модели на уровне МГО задействованы алгоритмы **af<sub>2</sub> – af<sub>6</sub>**.

Предложенный вариант модели МГО по сравнению с существующими имеет ряд преимуществ:

– учитываются свойства среды, что дает возможность выбора оптимальной по стоимости и безопасности траектории движения;

– оценивается состояние каждого элемента МГО, что позволяет выявить проблемную ситуацию и принять соответствующие меры, не доводя элемент до аварийного состояния;

– модель носит открытый характер, может быстро модифицироваться и настраиваться на любую структуру МГО, обеспеченную регистраторами.

Модель изначально ориентирована на практическое применение и может быть реализована на любом современном объектно-ориентированном языке.

## 6. Применение моделей

Описанные выше модели используются для разработки ряда систем мониторинга подвижного состава. Основной проблемой их практического применения являются отладка и апробирование эффективных унифицированных алгоритмов построения сцен, оценки состояния объектов, синтеза управляющего решения и прогноза. Сложность построения такого рода алгоритмов связана с тем, что источниками информации для них являются множества мобильных одушевленных и искусственных акторов, которые обмениваются информацией в динамической среде с помощью различных комбинаций устройств и коммуникаций. В такой ситуации применение традиционных алгоритмов построения сцен и принятия решений [10–12] без соответствующей адаптации практически невозможно. В процессе адаптации авторами разработаны и реализованы несколько вариантов типовых алгоритмов мониторинга МГО. В настоящее время они проходят апробацию на мобильных объектах (подвижном составе) Латвийской железной дороги и в Витебском локомотивном депо Белорусской железной дороги. Результаты апробации и наиболее эффективные алгоритмы предполагается опубликовать в отдельной статье.

### Заключение

В статье рассмотрены вопросы построения типовых моделей для мониторинга мобильных гетерогенных объектов. Показано, что традиционные подходы к мониторингу противоречат свойствам МГО. С целью разработки нового подхода сформирован понятийный базис, учитывающий специфику МГО и обеспечивающий однозначное понимание основных терминов, сформулирована задача мониторинга МГО на основе онтологического подхода. Разработана модель среды, учитывающая природные и техногенные факторы, которые влияют на жизненный цикл МГО. Разработана модель МГО, формирующая структурно-информационную базу для разработки типовых алгоритмов мониторинга с использованием современных коммуникационных технологий. Выделено семейство алгоритмов на основе теории принятия решений и распознавания образов, которое обеспечивает унификацию мониторинга МГО в рамках предложенных моделей.

### Список литературы

1. Пригожин, И. Конец определенности, время, хаос и новые законы природы / И. Пригожин. – Ижевск : Динамикс, 2000. – 205 с.
2. Соловьев, М. Телематические аспекты в системах мониторинга подвижных и стационарных объектов / М. Соловьев // Беспроводные технологии. – 2006. – № 3. – С. 35–37.
3. Горяинов, А.Н. Построение модели объекта диагностирования на транспорте / А.Н. Горяинов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Вып. 5/3 (53). – С. 15–18.
4. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. В.Г. Бондура. – М. : Научный мир, 2012. – 558 с.
5. Малышев, М.Л. Мониторинг социально-трудовой сферы / М.Л. Малышев. – М. : Перспектива, 2007. – 280 с.
6. Уилсон, Э. Мониторинг и анализ сетей / Э. Уилсон. – М. : Лори, 2002. – 368 с.
7. Kuzmich, A.I. Remote monitoring system for mobile objects / A.I. Kuzmich, G. Shakah, A.N. Valvachev // Proc. of 10-th International Conf. (PRIP'2011), Minsk, May 18–20, 2011. – Minsk, 2011. – P. 427–430.
8. Смирнов, С.В. Онтологическое моделирование в ситуационном управлении / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2012. – № 2 (4). – С. 16–24.
9. Краснопрошин, В.В. Технология оперативного управления распределенными организационными системами / В.В. Краснопрошин, А.Н. Вальвачев // Вестник БГУ. Сер. 1. Физика. Математика. Информатика. – 2009. – № 1. – С. 90–97.
10. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. – М. : Логос, 2002. – 327 с.
11. Triantaphyllou, E. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study / E. Triantaphyllou. – N. Y. : Springer-Verlag, 2010. – 324 p.
12. Murty, M. Pattern Recognition : An Algorithmic Approach / M. Murty. – N. Y. : Springer, 2011. – 275 p.
13. DARPA Urban Challenge Technical Papers. – USA : MD, 2007. – 24 p.
14. Siegfried, G. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic / G. Siegfried. – Vieweg Verlag, 2012. – 224 p.
15. Арнольд, В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М. : Едиториал УРСС, 2012. – 136 с.

Поступила 13.06.2013

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
Минск, П. Бровки, 6  
e-mail: kai57@list.ru

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет,  
Минск, пр. Независимости, 4  
e-mail: krasnoproshin@bsu.by

---

**A.I. Kuzmich, V.V. Krasnoproshin**

**MODELING HETEROGENEOUS ENVIRONMENT AND MOBILE OBJECTS  
SUPERVISION IN MONITORING PROBLEMS**

A variant of monitoring problem formalization on the basis of the decision theory is considered. The models of heterogeneous environment and mobile heterogeneous object are offered as a structural-informative basis for solving typical monitoring tasks, including identification, supervision, evaluation, synthesis of control decisions and prognosis. The models aim at practical application and implementation in any modern object-oriented programming language.