

# Система поддержки принятия решений при комплексном геоинформационном мониторинге окружающего пространства

А. А. Привалов<sup>1</sup>, В. А. Колесов<sup>1</sup>, В. И. Веремьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Военная академия связи

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

vervladiv@gmail.com

**Аннотация.** В настоящее время все большее распространение получают системы поддержки принятия решений. Одним из направлений развития этих систем является их интеграция с системами мониторинга окружающего пространства. В ходе проведенного системного анализа процессов функционирования средств мониторинга различного целевого назначения, были получены исходные данные, которые впоследствии были заложены в модели их функционирования. Полученные результаты могут служить в качестве исходных данных для лиц, принимающих решение на применение средств мониторинга.

**Ключевые слова:** системы поддержки принятия решений; средства мониторинга различного целевого назначения; модели; процесс функционирования

## I. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ К ПРИМЕНЕНИЮ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

На данных момент существует несколько способов классификации СППР: По области применения: бизнес, менеджмент, инжиниринг, финансы, медицина, окружающая среда [7, 8, 10]. По соотношению данные/модели:

- системы предоставления доступа к нужным данным;
- системы для быстрого манипулирования данными;
- системы доступа к данным по типу необходимого решения;
- системы расчёта финансовых последствий;
- системы моделирования;
- системы, решающие задачи оптимизации;
- системы построения логических выводов на основе заложенных правил.

По типу используемого инструментария:

- на основе классических моделей (линейные модели, модели управления запасами, транспортные, финансовые и т. п.);
- на основе полученных исторических данных;

- системы на основе группового принятия решений экспертами (системы фасилитации обмена мнениями и подсчета средних экспертных значений);
- базы данных или, по сути, проиндексированное (часто – многомерное) хранилище документов.

Система поддержки принятия решений при комплексном геоинформационном мониторинге окружающего пространства использует моделирование на основе классических моделей теории распознавания, теории сетей и теории графов [1, 2, 6].

Под комплексным геоинформационным мониторингом (КГИМ) окружающего пространства понимают совокупность совместно функционирующих систем поиска, наблюдения, распознавания (датчиков), средств связи, вычислительных и программных средств, средств управления и индикации, предназначенных для получения информации о различного рода объектах, объединения поступающей информации от датчиков и отображения результирующей информации [5, 7]. Конечной целью функционирования КГИМ является формирование обобщающего представления об окружающем пространстве в интересах лиц, принимающих решения (ЛПР). Под окружающим пространством при этом будем понимать воздушное, наземное, водное, а иногда и подповерхностное пространства или любая их совокупность, а под объектами – любые сущности материального мира, в том числе, одиночные малоразмерные объекты, групповые объекты, распределенные (площадные и объемные) объекты и т. д. [9, 10].

Важнейшую роль в КГИМ окружающего пространства играют информационные датчики, тактико-технические характеристики которых определяют возможности высокоэффективного функционирования КГИМ. Интегрированная совместная обработка информации, получаемой от нескольких датчиков, позволяет сформировать сводные обобщающие сведения об окружающем пространстве и выдавать прогнозную информацию о возможном его изменении. Комплексный геоинформационный мониторинг окружающего пространства – это комплекс согласованных организационно-технических мероприятий, основанных на реализации технологий мониторинга через геоинформационные системы с необходимой интегрированной обработкой данных и их пространственным размещением [5]. Практическая

реализация КГИМ окружающего пространства осуществляется через функционирование ГИС различного назначения, сопряженных сетью передачи данных. При этом происходит упорядочение получаемой информации, ее поэтапная многоуровневая обработка, накопление, хранение, обновление и предоставление необходимым структурам для систем поддержки принятия решения. В системе КГИМ окружающего пространства источниками данных являются системы дистанционного зондирования земли различного базирования в сочетании с различными датчиками и видеосистемами, установленными стационарно либо подвижными [1, 5].

Предлагаемый ниже подход поможет формализовать и автоматизировать процессы принятия решений в условиях геоинформационного комплексного мониторинга. Он поможет выбирать способы реализации принимаемых решений и оценивать их эффективность. Все модели принятия решений, алгоритмы прогноза и анализа полученных данных дадут положительный результат только в том случае, когда они будут использованы в системе информационного обеспечения.

Для разработки предложенной модели процесса подготовки системы КГИМ окружающего пространства при подготовке ее к применению воспользуемся методом топологического преобразования стохастических сетей, описанным в [4, 6]. Достоинством метода является возможность представления процессов с различной степенью глубины детализации набором вложенных моделей. Это, с одной стороны, позволяет более точно получать исходные данные для моделей более высокого уровня, а с другой – останавливаться (сосредотачиваться) на необходимом уровне детализации. Кроме того, метод отличается ясным физическим смыслом при постановке задачи, а также высокой степенью формализации остальных этапов, что позволяет контролировать адекватность модели физическому процессу на всех этапах ее реализации.

Постановка задачи. Пусть согласно данным поступившего среднесрочного прогноза примерно через семь суток прогнозируется развитие региональной кризисной ситуации (КС), которое может повлиять на функционирование инфраструктуры региона [3, 5]. Система КГИМ окружающего пространства является составной частью информационно-телекоммуникационной системы региона и выполняет задачи по своему предназначению в интересах различных структур и ведомств, в том числе для мониторинга кризисных ситуаций различного характера. Для минимизации времени ликвидации возможного ущерба, который может быть нанесен инфраструктуре региона и обеспечение ее устойчивого функционирования необходимо задействовать системы КГИМ окружающего пространства различного назначения.

Система КГИМ включает в свой состав элементы ГИМ, которые в свою очередь, являются разновидностями мониторинга в интересах ЛПР.

Подготовка к задействованию системы КГИМ в случае угрозы возникновения КС предусматривает, как правило, проведение ряда мероприятий. [5]

Требуется определить функцию распределения времени успешной подготовки системы КГИМ к использованию в КС в интересах ЛПР.

Решение. Стохастическая сеть, отображающая последовательность событий по подготовке системы КГИМ к задействованию в случае угрозы возникновения КС, представлена на рис. 1. Данная стохастическая сеть является достаточно сложной. Поэтому с целью определения эквивалентной функции стохастической сети произведено ее последовательное укрупнение с введением новых параметров.

Проведенные расчеты процесса задействования системы КГИМ и оценки уровня ее готовности к определенному времени в интересах ЛПР, с момента получения прогноза о возможности развития КС, результаты которых представлены в виде графиков на рис. 2.

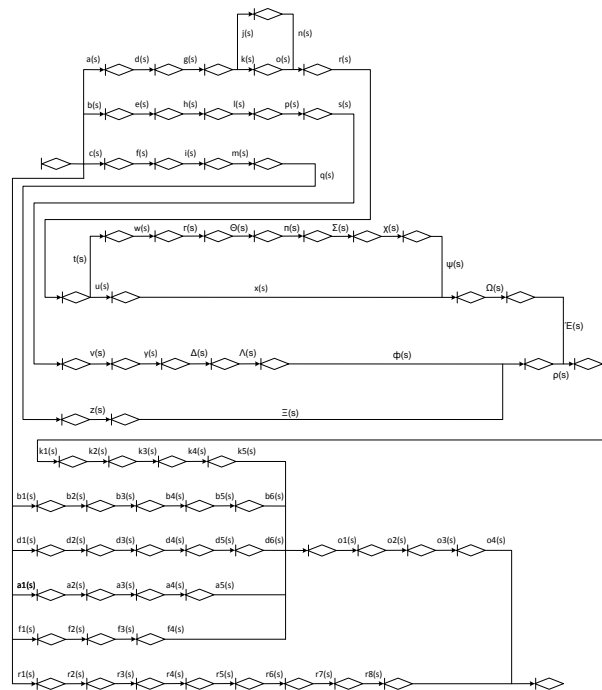


Рис. 1. Стохастическая сеть, отображающая последовательность событий по подготовке системы КГИМ к задействованию в случае угрозы возникновения КС

При проведении расчетов полагалось, что среднее время подготовки системы КГИМ к задействованию при минимальных значениях исходных данных составляет 158,403 часа (6,6 суток), а среднее время совершения сложного события при максимальных значениях исходных данных составляет 203,144 часа (8,464 суток). Эти временные величины были получены на основе исходных данных промежуточного моделирования, анализа ведомственной принадлежности и особенностей применения системы КГИМ при угрозе возникновения КС.

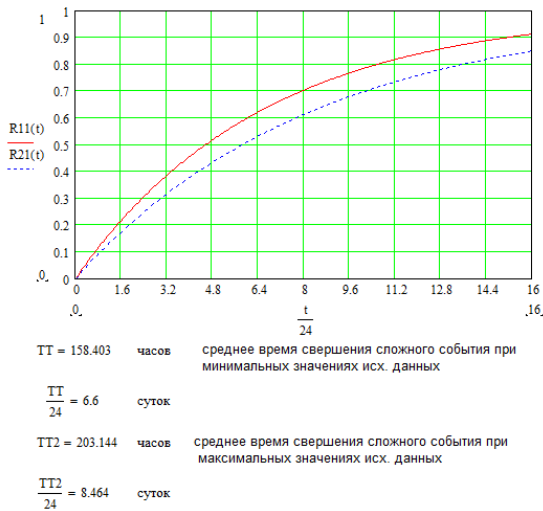


Рис. 2. Результаты моделирования возможности задействования системы КГИМ и оценки уровня ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития КС

Исследования полученного графика функции распределения показали:

1. Функция является непрерывной, неотрицательной, возрастающей.
2. Поскольку функция является непрерывной, то предел функции равен ее значению в конкретной точке.
3. Наибольшее возрастание значений функции (эталонной) при одинаковом интервале дискретизации происходит при значениях аргумента на временном интервале 0–6 суток при значениях функции равных 0,01–0,1 для минимального времени реализации процесса (предельного перехода) при угле наклона графика, равном  $55^{\circ}$ . Наибольшее возрастание значений функции (эталонной) при одинаковом временном интервале дискретизации, по наибольшему времени реализации процесса, происходит при значениях аргумента на временном интервале 0–8 суток при значениях функции равных 0,01–0,1 для максимального времени реализации процесса (воздействии мешающих факторов) при угле наклона графика, равном  $45^{\circ}$ .
4. Дисперсия функции распределения имеет минимальное значение на временном интервале 1,6–3,2 суток при значениях ее функции равных 0,01 для максимального времени реализации процесса (идет проведение команд управления и докладов о готовности систем). Дисперсия функции распределения имеет максимальное значение на временных интервалах 4,8–6,4 и 4,8–6,4 суток при значениях ее функции равных 0,02 для максимального времени реализации процесса (идет подготовка и проведение совещаний, выдача указаний, подготовка документов и мероприятий).

Анализ полученных в ходе моделирования показал, что разработанная модель является работоспособной, чувствительной к изменению используемых исходных данных, адекватно отображает события задействования

системы КГИМ различного назначения и позволяет определить вероятностно-временные характеристики моделируемого события; для сокращения времени на подготовку к задействованию системы КГИМ в условиях возможного развития КС необходимо сократить временной интервал принятия решений от момента получения прогноза на развитие КС до начала непосредственной подготовки к задействованию системы КГИМ; для исключения времени ожидания входа космического аппарата в зону радиовидимости необходимо задействовать ретрансляторы.

Результаты моделирования возможности задействования системы КГИМ и оценки уровня ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития КС при сокращении временных затрат приведены на рис. 3.

При проведении расчетов полагалось, что среднее время подготовки системы КГИМ к задействованию при минимальных значениях исходных данных составляет 7,889 часа, а среднее время совершения сложного события при максимальных значениях исходных данных составляет 11,647 часа.

Исследования полученного графика функции распределения показали:

- наибольшее возрастание значений функции (эталонной) при одинаковом интервале дискретизации происходит при значениях аргумента на временном интервале 0–4,2 часа при значениях функции равных 0,01–0,38 для минимального времени реализации процесса (предельного перехода) при угле наклона графика, равном  $76^{\circ}$ ;

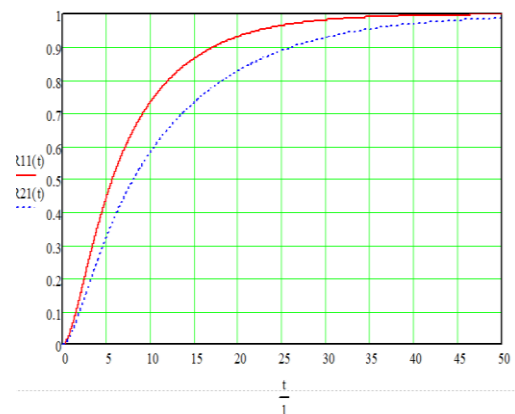


Рис. 3. Результаты моделирования возможности задействования системы КГИМ и оценки уровня ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития КС при сокращении временных затрат

- наибольшее возрастание значений функции (эталонной) при одинаковом временном интервале дискретизации, максимальном времени реализации процесса, происходит при значениях аргумента на временном интервале 0–8,6 часов при значениях функции равных 0,01–0,43 для максимального времени реализации процесса (воздействии мешающих факторов) при угле наклона графика, равном  $68^{\circ}$ .

Результаты моделирования возможности задействования системы КГИМ и оценки уровня ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития КС при сокращении временных затрат при полном задействовании средств космического мониторинга и возможности получения информации хотя бы от одного средства наземного и воздушного мониторинга представлены на рис. 4.

При проведении расчетов полагалось, что среднее время подготовки системы КГИМ к задействованию при минимальных значениях исходных данных составляет 1,5384 часа, а среднее время совершения сложного события при максимальных значениях исходных данных составляет 2,2307 часа.

Исследования полученного графика функции распределения показали:

- наибольшее возрастание значений функции (эталонной) при одинаковом интервале дискретизации происходит при значениях аргумента на временном интервале 0–0,5 часа при значениях функции равных 0,01–0,3 для минимального времени реализации процесса (предельного перехода) при угле наклона графика, равном  $60^{\circ}$ ;
- наибольшее возрастание значений функции (эталонной) при одинаковом временном интервале дискретизации, при максимальном времени реализации процесса, происходит при значениях аргумента на временном интервале 0–0,55 часа при значениях функции равных 0,01–0,2 для максимального времени реализации процесса (воздействии мешающих факторов) при угле наклона графика, равном  $55^{\circ}$ .

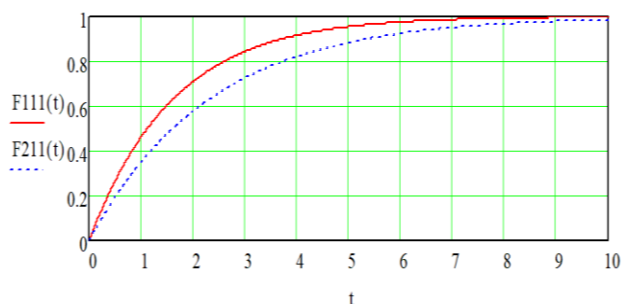


Рис. 4. Результаты моделирования возможности задействования при сокращении временных затрат при полном задействовании средств космического мониторинга и возможности получения информации хотя бы от одного средства наземного и воздушного мониторинга

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проанализированная система комплексного геоинформационного мониторинга, использующая в ходе своего функционирования различные источники информации, может являться составным элементом в СППР в интересах ЛПР.

Полученные в ходе моделирования значения среднего времени подготовки к задействованию системы позволяют лицу, принимающему решение, проводить оценку влияния различных элементов сети на возможность задействования системы и качественно оценить уровень ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития региональной кризисной ситуации.

Состояние готовности системы с уровнем 0,8 наступает во временном интервале 10–13,5 суток при обычном интервале проведения подготовительных мероприятий, 12–18 часов при ускоренном проведении и 2,5–3,8 часов при экстренном проведении мероприятий. Эти временные интервалы необходимо учитывать при принятии управленческих решений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Верба В.С., Меркулов В.И., Миляков Д.А., Чернов В.С. Интегрированные многодатчиковые комплексы мониторинга окружающего пространства // Журнал радиоэлектроника. 2015 №4. С. 33-41.
- [2] Карманов А.Г., Кнышев А.И., Елисеева В.В. Геоинформационные системы территориального управления. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 129 с.
- [3] Карпик А.П. Геоинформационное обеспечение территорий // Геодезия и картография. 2004. №12. С.35-36.
- [4] Колесов В.А., Привалов А.А., Веремьев В.И., Обобщенный алгоритм прогнозирования места, времени и масштаба возможной кризисной ситуации // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям 2022 (SCM-2022): Сб. докл. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», том 1, стр.111-114.
- [5] Колесов В.А., Привалов А.А. Математическая модель процесса подготовки к применению системы комплексного геоинформационного мониторинга окружающего пространства // Информация и космос. 2023 №1. С. 120-125.
- [6] Привалов А.А. Метод ТПСС и его использование для анализа систем связи ВМФ. СПб, ВМА им. Н.Г. Кузнецова, 2001, 168 с.
- [7] Трубиенко О.В., Кузнецов В.И., Кривенцов С.М. Инновационная модульная система интеллектуального комплексного мониторинга динамических объектов и ее роль в мониторинге и защите окружающей среды // Молодой учёный №23 (127) ноябрь 2016 г. С. 96-105.
- [8] Халин В.Г., Чернова Г.В. Системы поддержки принятия решений. Москва: Изд-во Юрайт, 2023. 494 с.
- [9] Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 289 с.
- [10] Цветков В.Я. Геоинформационные исследования при разработке прогнозов // Геодезия и картография. 2001. №7. С.41-44.