УДК 621.4

Математическая модель процесса подготовки к применению системы комплексного геоинформационного мониторинга окружающего пространства

Mathematical model of the preparation process to the application of the system of integrated geoinformation monitoring of the surrounding space

Привалов / Privalov A.
Андрей Андреевич
(aprivalov@inbox.ru)
доктор военных наук, профессор.
ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» (ВАС им. С. М. Буденного) МО РФ,
профессор кафедры применения войск связи.
г. Санкт-Петербург

Колесов / Kolesov V.
Вадим Александрович
(z01z1@mail.ru)
кандидат военных наук, доцент.
ВАС им. С. М. Буденного,
преподаватель кафедры организации информационно-аналитической работы.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: математическая модель – mathematical model; окружающее пространство – surrounding space; стохастическая сеть – stochastic network; эквивалентная функция – equivalent function; геоинформационный мониторинг – geoinformation monitoring.

В статье предложена математическая модель процесса подготовки к применению системы комплексного геоинформационного мониторинга окружающего пространства. Модель использует метод топологического преобразования стохастической сети. Особенностью используемого решения поставленной задачи является поэтапное укрупнение стохастической сети, позволяющее существенно упростить формальную запись ее эквивалентной функции и последующую процедуру определения функции распределения времени реализации моделируемого процесса. В основу разработанной модели положено функционирование системы комплексного геоинформационного мониторинга окружающего пространства. На основании проведенного анализа получены количественные оценки готовности системы при различных исходных данных. Результаты моделирования могут быть использованы в практической деятельности специалистами в области систем геоинформационного мониторинга.

The article offers a mathematical model of the process of preparation for the use of a system of integrated geoinformation monitoring of the surrounding space. The model uses the method of topological transformation of a stochastic network. The peculiarity of the solution used for the task is the gradual enlargement of the stochastic network, which significantly simplifies the formal recording of its equivalent function and the subsequent procedure for determining the time distribution function of the implementation of the simulated process. The developed model is based on the functioning of a system of integrated geoinformation monitoring of the surrounding space. Based on the analysis, quantitative estimates of the system readiness were obtained for various initial data. The simulation results can be used in practical activities by specialists in the field of geoinformation monitoring systems.

Введение

Термин «мониторинг» происходит от английского monitoring в его смысловом значении как «контрольное наблюдение». Первое понятие мониторинга окружающей среды относят к 1972 г. Понятие трактовалось как «система повторных наблюдений одного и более элементов окружающей природной среды в пространстве и времени с определенными целями с заранее составленной программой» [9]. В дальнейшем произошла дифференциация видов мониторинга. В частности, в 80–90 годах сформировалось понятие литомониторинга как подсистемы мониторинга геологической среды. Одним из важных понятий литомониторинга является понятие геотехнической системы. Комплексный геоинформационный мониторинг является объединением различных видов геоинформационного мониторинга. Он использует интегрированную модель данных, полученных от различных систем геоинформационного мониторинга. Комплексный геоин-

формационный мониторинг предполагает совместную обработку полученных данных на различных уровнях. Это повышает достоверность и точность измерений и мониторинга. Комплексный геоинформационный мониторинг окружающего пространства является наиболее полным мониторингом, поскольку выполняет все функции мониторинга: поиск, обнаружение, наблюдение, анализ, прогнозирование и управление [2, 4, 5].

Анализ развития ГИС и принятие грамотных и своевременных управленческих решений затрудняются сложностью оценки их основных факторов и эффективности принимаемых решений. Руководящим органам обычно приходится действовать в условиях острого дефицита времени, ограниченной точности и достоверности информации. Это может привести к принятию нерациональных и даже ошибочных решений, а следовательно, и к большим финансовым потерям. Поэтому совершенствование систем информационного обеспечения, ориентированных на прогноз и поддержку принятия решения, имеет особенно большое значение [11].

Математическая модель процесса подготовки к применению системы комплексного геоинформационного мониторинга окружающего пространства

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. Конечной целью функционирования КГИМ является формирование обобщающего представления об окружающем пространстве. Под окружающим пространством при этом будем понимать воздушное, наземное, водное, а иногда и подповерхностное пространства или любую 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. [2].

Важнейшую роль в КГИМ окружающего пространства играют информационные датчики, тактико-технические характеристики которых определяют возможности высокоэффективного функционирования КГИМ.

К датчикам, обеспечивающим получение информации об окружающем пространстве, относятся [10, 12, 13]:

– системы, получающие информацию на основе анализа электромагнитного поля в различных диапазонах длин волн: оптические датчики, инфракрасные датчики, системы активной локации, системы пассивной радиолокации, радиометрические датчики;

– магнитометрические датчики;

– сейсмические датчики;

– акустические и гидроакустические датчики и др.

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 [13]. Практическая реализация КГИМ окружающего пространства осуществляется через функционирования 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 видеокамерами, установленными стационарно либо подвижными [2].

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 математические 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 математической модели процесса подготовки системы КГИМ окружающего пространства при подготовке ее к применению воспользуемся методом топологического преобразования стохастических сетей, описанным в [8]. 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 [6, 7]. 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 обеспечения ее устойчивого функционирования необходимо задействовать системы КГИМ окружающего пространства различного назначения.

Особенностями применения системы КГИМ окружающего пространства при подготовке их к задействованию в случае угрозы возникновения кризисной ситуации являются [2, 3, 4, 7]:

– перечень задач, решаемых в настоящее время системой КГИМ с учетом времени, региона, выполнения поставленных задач, мест нахождения приемников информации (камер видеонаблюдения, датчиков измерения температуры и скорости ветра, датчиков измерения загазованности атмосферы и тд.) и приемопередающих комплексов;

– время, необходимое для принятия управленческих решений и разработки документов, на уровне от руководства региона до подразделения управления системой КГИМ;

– учет степени загруженности подразделений управления системы КГИМ и решаемыми ими задачами;

– состояние целевой аппаратуры и других систем КГИМ;

– районы нахождения систем КГИМ и расположение комплексов управления и обработки информации.

Система КГИМ включает в свой состав элементы ГИМ, которые, в свою очередь, являются разновидностями мониторинга. Составные элементы КГИМ приведены в таблице1.

Подготовка к задействованию системы КГИМ в случае угрозы возникновения КС предусматривает, как правило, проведение ряда мероприятий. В качестве примера приведены мероприятия по задействованию космической системы, являющейся составной частью системы КГИМ. В целях преобразования исходных данных для представления их в качестве сети использована принятая стандартная классификация терминов при задействовании космических систем [2, 3]. Мероприятия перечислены в таблице 2, а их последовательность показана на рисунке [6].

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

Решение. Стохастическая сеть, отображающая последовательность событий по подготовке системы КГИМ к задействованию в случае угрозы возникновения КС, представлена на рисунке 1. Данная стохастическая сеть является достаточно сложной. Поэтому с целью определения эквивалентной функции стохастической сети произведем ее последовательное укрупнение с введением новых параметров. В качестве примера рассмотрим преобразование трех верхних ветвей сети. Результатом первичного укрупнения ветвей $a(s)$, $b(s)$, $c(s)$ является стохастическая сеть, представленная на рисунке 2. Остальные ветви сети преобразуются аналогичным порядком.

Преобразования Лапласа функций распределения времени реализации композиционных частных процессов, имеющих следующие параметры распределений:

Таблица 1

Составные элементы КГИМ

№	Вид мониторинга	Условное обозначение
1.	Космический мониторинг	k
2.	Воздушный мониторинг	b
3.	Наземный мобильный мониторинг	d
4.	Датчиковый наземный мониторинг	a
5.	Наземный радиолокационный мониторинг	f
6.	Наземный автомобильный мониторинг	r

Таблица 2

Перечень мероприятий, проводимых при подготовке к задействованию космической системы КГИМ

№, п/п	Наименование мероприятия	Средняя длительность реализации мероприятия	Обозначение функции времени реализации и функции распределения
1.	Подготовка и проведение заседания правительства по возможной чрезвычайной ситуации.	145-183,9 ч. (6-8 суток)	$\overline{t}_A$, $\overline{t}_B$, $\overline{t}_C$, $A(t), B(t), C(t)$
2.	Подготовка документов в министерствах и ведомствах (МЧС, Министерство связи).	8-12 ч.	$\overline{t}_D$, $\overline{t}_E$, $\overline{t}_F$, $D(t), E(t), F(t)$
3.	Подготовка документов в ООО «Газпром» для «Газпром Космические Системы», ФГУП «Космическая связь», Роскосмос.	2-4 ч.	$\overline{t}_G, \overline{t}_H, \overline{t}_I$, $G(t), H(t), I(t)$
4.	Передача распоряжений в ЦУП на разработку программ управления Космическими аппаратами Ресурс-П.	2-3 ч.	$\overline{t}_J$, $J(t)$
5.	Передача распоряжений в ЦУП на разработку программ управления Космическими аппаратами Канопус-В.	1 ч.	$\overline{t}_K$, $K(t)$
6.	Разработка программ для КА Ресурс-П, Канопус-В в баллистическом и специальном информационном центре.	1-2 ч.	$\overline{t}_N, \overline{t}_O$, $N(t), O(t)$
7.	Передача разработанных программ из ЦУП в НАКУ орбитальными средствами.	0,5 ч.	$\overline{t}_R$, $R(t)$
8.	Вход КА Ресурс-П и Канопус-В в зону видимости НАКУ.	2,5-4 ч.	$\overline{t}_T, \overline{t}_U$, $T(t), U(t)$
9.	Закладка рабочей программы на борт КА Ресурс-П и Канопус-В.	0,1 ч.	$\overline{t}_X, \overline{t}_W$, $X(t), W(t)$
10.	Доклад о закладке программы из НАКУ в ЦУП.	1 ч.	$\overline{t}_\Gamma$, $\Gamma(t)$
11.	Доклад о закладке программы из ЦУП в Роскосмос.	1 ч.	$\overline{t}_\Theta$, $\Theta(t)$
12.	Подготовка мобильного пункта приема информации (МППИ).	0,5 ч.	$\overline{t}_\Pi$, $\Pi(t)$
13.	Выход МППИ в назначенный район.	0,5 ч.	$\overline{t}_\Sigma$, $\Sigma(t)$
14.	Развертывание МППИ и проверка каналов приема информации.	2 ч.	$\overline{t}_\chi$, $\chi(t)$
15.	Доклад начальнику регионального управления МЧС о готовности к работе МППИ.	0,5 ч.	$\overline{t}_\psi$, $\psi(t)$
16.	Доклад начальника регионального управления МЧС министру МЧС.	0,5 ч.	$\overline{t}_\Omega$, $\Omega(t)$

Продолжение таблицы 2...

17.	Доклад министра МЧС председателю Правительства.	0,5 ч.	$\overline{t}_E$, $E(t)$
18.	Согласование применения КА «Метеор-3» между МЧС и Росгидрометом.	2-3 ч.	$\overline{t}_L$, $L(t)$
19.	Разработка рабочей программы для КА «Метеор-3» в баллистическом и специальном информационном центре.	1-2 ч.	$\overline{t}_P$, $P(t)$
20.	Передача разработанной программы в НАКУ орбитальными средствами.	0,5 ч.	$\overline{t}_S$, $S(t)$
21.	Вход КА в зону видимости НАКУ.	2,5-4 ч.	$\overline{t}_V$, $V(t)$
22.	Закладка рабочей программы на борт КА.	1 ч.	$\overline{t}_Y$, $Y(t)$
23.	Коммутация каналов передачи информации.	1 ч.	$\overline{t}_\Delta$, $\Delta(t)$
24.	Проверка каналов передачи информации	1 ч.	$\overline{t}_\Lambda$, $\Lambda(t)$
25.	Доклад в ГУ ЧС о готовности информационной телекоммуникационной системы.	0,5 ч.	$\overline{t}_\Phi$, $\Phi(t)$
26.	Доклад министра МЧС председателю Правительства РФ.	0,5 ч.	$\overline{t}_\rho$, $\rho(t)$
27.	Заключение контракта на предоставление услуг связи между МЧС и оператором спутниковой связи «Inmarsat», (Лондон).	2-3 ч.	$\overline{t}_M$, $M(t)$
28.	Перевод денежных средств на счета оператора спутниковой связи «Inmarsat», (Лондон).	1-2 ч.	$\overline{t}_Q$, $Q(t)$
29.	Коммутация каналов оператора спутниковой связи «Inmarsat», (Лондон).	0,5 ч.	$\overline{t}_Z$, $Z(t)$
30.	Проверка каналов оператора спутниковой связи «Inmarsat», (Лондон) в интересах МЧС.	1 ч.	$\overline{t}_\Xi$,

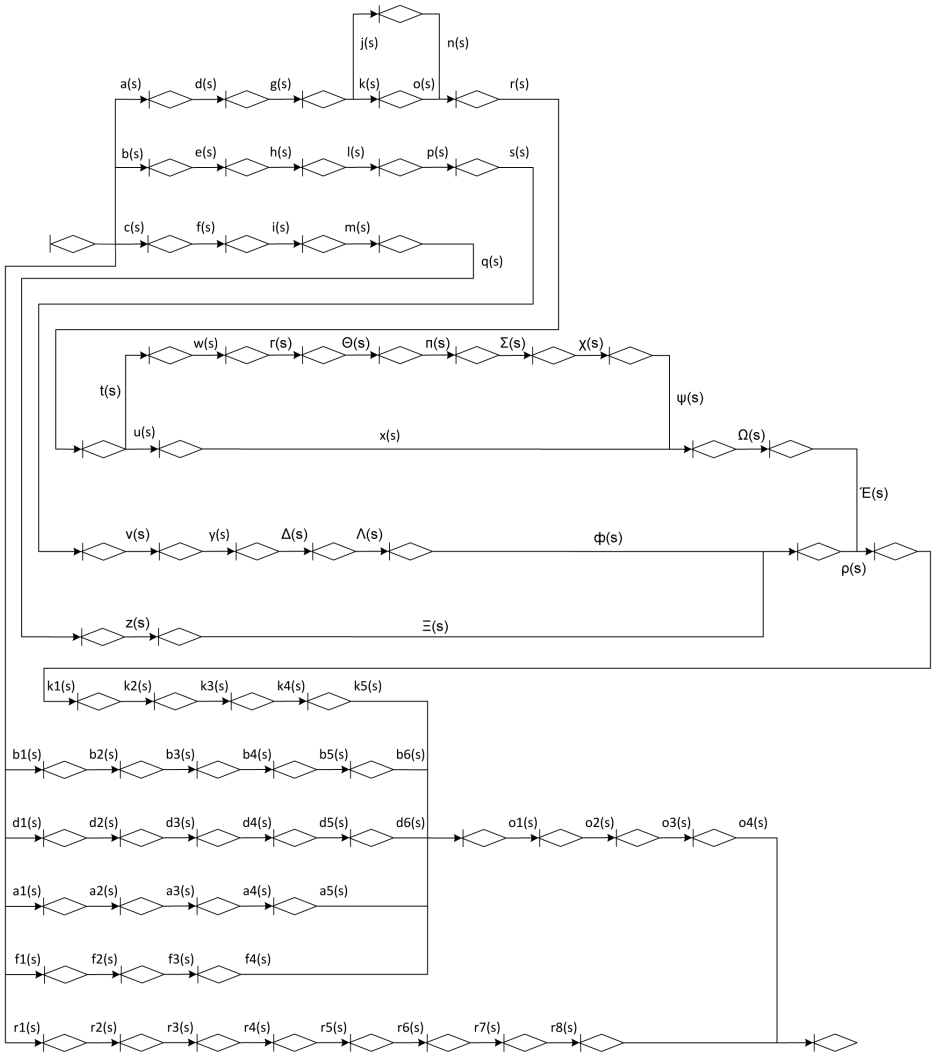


Рис. 1. Исходная стохастическая сеть, отображающая последовательность событий по подготовке системы КГИМ к задействованию в случае угрозы возникновения КС

На рисунке 2 обозначено:

$$a1 := (A + D + G)^{-1};$$

$$b1 := (B + E + H + L + P + S + V + Y + \Delta + \Lambda + \Phi)^{-1};$$

$$c1 := (C + F + I + M + Q + Z + \Xi)^{-1};$$

$$d1 := (W + T + \Gamma + \Theta + \Pi + \Sigma + X + \Psi)^{-1};$$

$$f1 := (\Omega + E)^{-1}; \quad k1 := (\mathrm{K} + \mathrm{O})^{-1}; g1 := (J + N)^{-1};$$

$$m1 := (U + X)^{-1};$$

$$A = \frac{1}{\bar{t}_a};\ D = \frac{1}{\bar{t}_d};\ G = \frac{1}{\bar{t}_g};\ B = \frac{1}{\bar{t}_b};$$

$$E = \frac{1}{\bar{t}_e};\ H = \frac{1}{\bar{t}_h};\ L = \frac{1}{\bar{t}_l};\ P = \frac{1}{\bar{t}_p};\ S = \frac{1}{\bar{t}_s};$$

$$V = \frac{1}{\bar{t}_v};\ Y = \frac{1}{\bar{t}_y};\ \Delta = \frac{1}{\bar{t}_\Delta};\ \Lambda = \frac{1}{\bar{t}_\Lambda};\ \Phi = \frac{1}{\bar{t}_\Phi}.$$

$$a_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \cdot d\left[A(t)\right] = \frac{a_1}{a_1 + s};$$

$$b_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \cdot d\left[B(t)\right] = \frac{b_1}{b_1 + s};$$

$$c_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \cdot d\left[C(t)\right] = \frac{c_1}{c_1 + s};$$

$$d_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \cdot d\left[D(t)\right] = \frac{d_1}{d_1 + s};$$

$$f_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \cdot d\left[F(t)\right] = \frac{f_1}{f_1 + s};$$

$$g_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \cdot d\left[G(t)\right] = \frac{g_1}{g_1 + s};$$

$$k_1(s)=\int_0^\infty e^{-st}\cdot d\left[K(t)\right]=\frac{k_1}{k_1+s};$$

$$m_1(s)=\int_0^\infty e^{-st}\cdot d\left[M(t)\right]=\frac{m_1}{m_1+s}.$$

На втором этапе укрупнения стохастической сети получим сеть, показанную на рис. 3.

На рис. 3 обозначены:

$$q_1(s)=\int_0^\infty e^{-st}\cdot d\left[Q(t)\right]=\frac{q_1}{q_1+s};$$

$$h_1(s)=\int_0^\infty e^{-st}\cdot d\left[H(t)\right]=\frac{h_1}{h_1+s};$$

$$n_1(s)=\int_0^\infty e^{-st}\cdot d\left[N(t)\right]=\frac{n_1}{n_1+s}.$$

преобразование Лапласа функций распределения времени реализации композиционных частных процессов, имеющих следующие параметры распределений:

$$q1:=\frac{g^2+g\cdot k+k^2}{g\cdot k\cdot(g+k)};\ n1:=\frac{d^2+d\cdot m+m^2}{d\cdot m\cdot(d+m)};$$

$$h1:=\frac{b^2+b\cdot c+c^2}{b\cdot c\cdot(b+c)}.$$

Окончательный вид укрупненной стохастической сети представлен на рис. 4, ветви которого характеризуются параметрами:

$$\alpha 1:=\left(a^{-1}+q^{-1}+R^{-1}+n^{-1}+f^{-1}\right)^{-1};$$

$$\beta 1:=\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{P}\right)^{-1},$$

где:

$$\alpha_1(s)=\int_0^\infty e^{-st}\cdot d\left[\alpha(t)\right];\beta_1(s)=\int_0^\infty e^{-st}\cdot d\left[\beta(t)\right].$$

Таким образом, эквивалентная функция стохастической сети (рис. 2) может быть определена по формуле:

$$\xi(s):=\frac{\alpha\cdot\beta\cdot(2\cdot s+\alpha\cdot\beta)}{(s+\alpha)(s+\beta)(s+\alpha+\beta)}.$$

Используя разложение Хевисайда для случая простых полюсов с последующим интегрированием полученного результата с переменным верхним пределом интегрирования, определим искомую функцию распределения:

$$R11(t):=\sum_{i=1}^{3}\beta\cdot\frac{\alpha}{-s_i}\cdot$$

$$\cdot\frac{(2\cdot s_1+\alpha+\beta)\left(1-\exp(s_i\cdot t)\right)}{3\cdot(s_i)^2+2\cdot s_i(2\cdot\beta+2\cdot\alpha)+\left[\beta\cdot(\alpha+\beta)+(2\cdot\beta+\alpha)\cdot\alpha\right]},$$

где

$$s_1:=-\alpha;\quad s_2:=-\beta;\quad s_3:=-(\alpha+\beta).$$

При этом среднее время подготовки космической системы к задействованию в КС равно:

$$TT:=\sum_{i=1}^{3}\beta\cdot\frac{\alpha}{(-s_i)^2}\cdot$$

$$\cdot\frac{(2\cdot s_1+\alpha+\beta)}{3\cdot(s_i)^2+2\cdot s_i(2\cdot\beta+2\cdot\alpha)+\left[\beta\cdot(\alpha+\beta)+(2\cdot\beta+\alpha)\cdot\alpha\right]}.$$

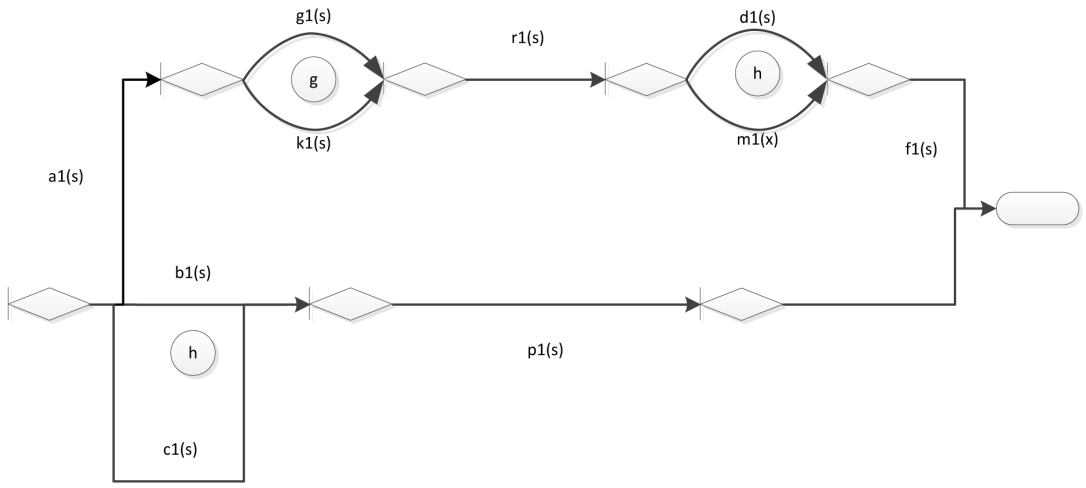


Рис. 2. Результат первичного укрупнения стохастической сети

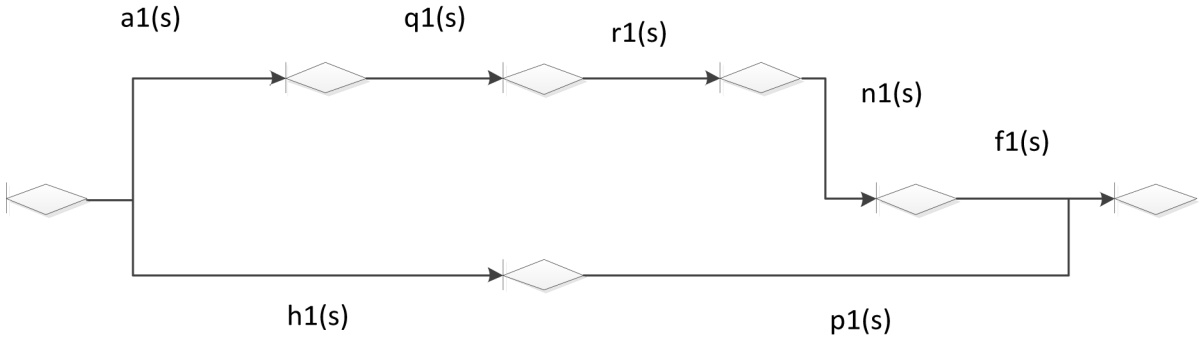


Рис. 3. Результат вторичного укрупнения стохастической сети

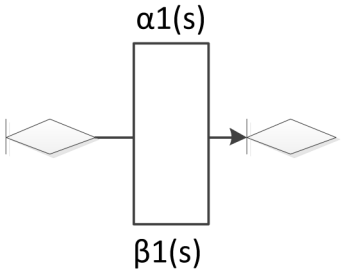


Рис. 4. Результат окончательного преобразования стохастической сети

Результаты моделирования

Проведены расчеты процесса задействования системы КГИМ и оценки уровня ее готовности к определенному времени с момента получения прогноза о возможности развития КС, результаты которых представлены в виде графиков на рисунке 5.

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.

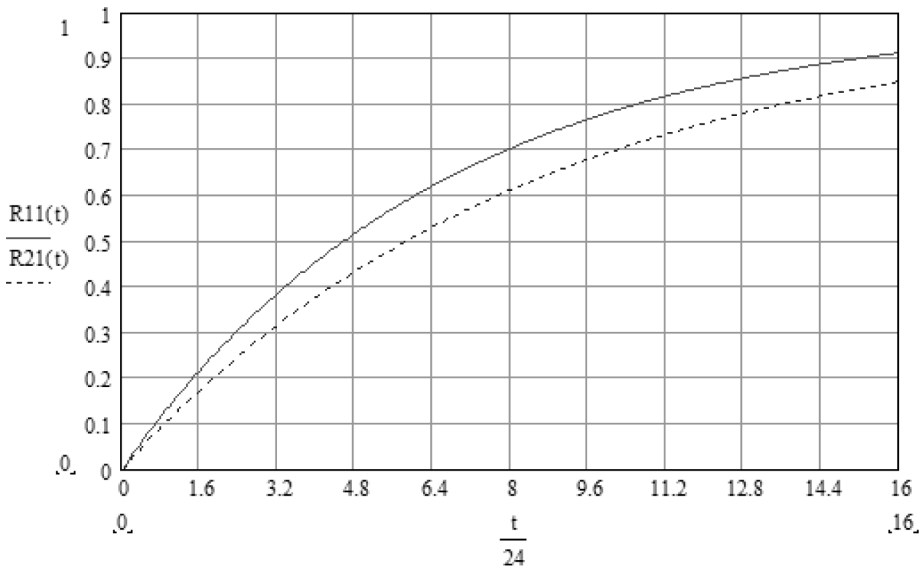
Исследования полученного графика функции распределения показали:

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 550. 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 450.

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 временном интервале 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).



TT = 158.403 часов среднее время свершения сложного события при минимальных значениях исх. данных

$\frac{TT}{24} = 6.6$ суток

TT2 = 203.144 часов среднее время свершения сложного события при максимальных значениях исх. данных

$\frac{TT2}{24} = 8.464$ суток

Рис. 5. Результаты моделирования возможности задействования системы КГИМ и оценки уровня ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития КС

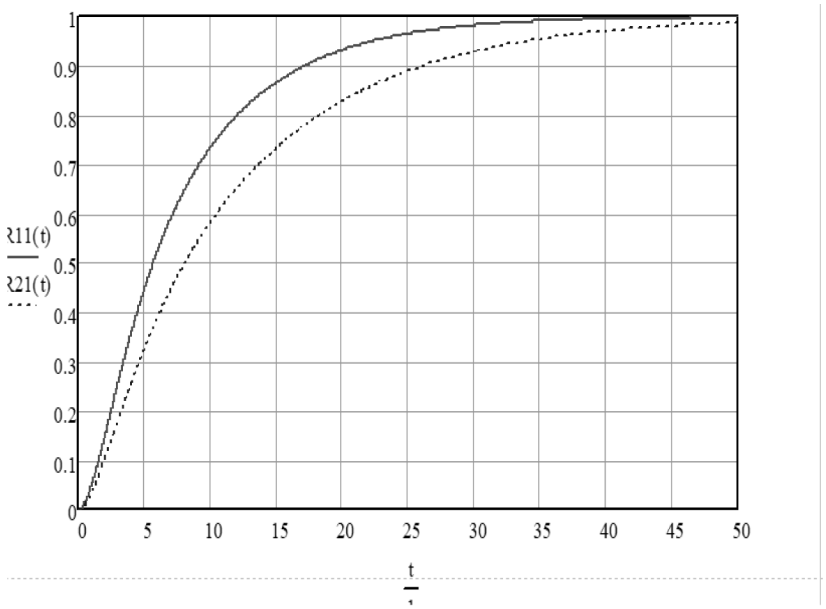


Рис. 6. Результаты моделирования возможности задействования системы КГИМ и оценки уровня ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития КС при сокращении временных затрат

Анализ полученных в ходе моделирования данных 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. 6.

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 760;

– 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 680.

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. 7.

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 600;

– наибольшее возрастание значений функции (эталонной) при одинаковом временном интервале дискретизации при максимальном времени реализации процесса происходит при значениях аргумента

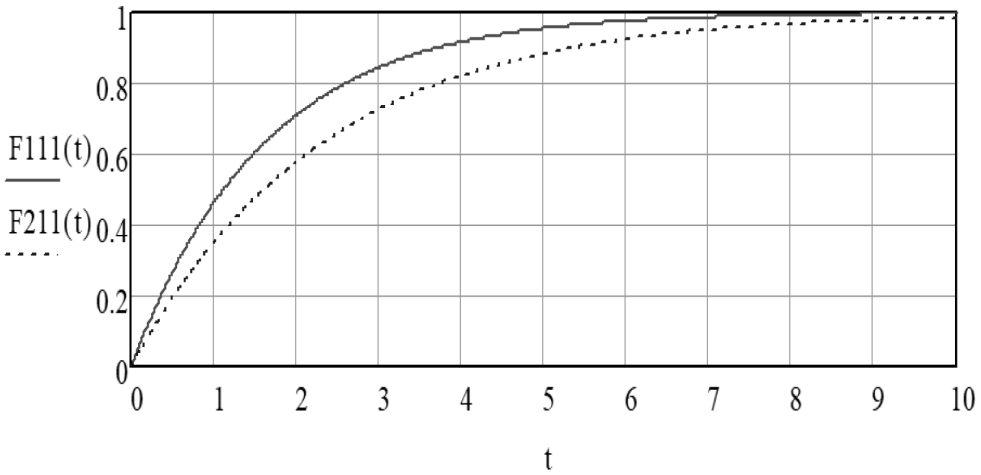


Рис. 7. Результаты моделирования возможности задействования при сокращении временных затрат при полном задействовании средств космического мониторинга и возможности получения информации хотя бы от одного средства наземного и воздушного мониторинга

Таблица 3

Сравнительные результаты моделирования подготовки к задействованию системы КГИМ в различных условиях

№	Наименование параметра	Временной интервал реализации мероприятий		
		Обычный (до восьми суток)	Сокращенный (до 45 часов)	Минимальный (до 10 часов)
1.	Среднее время подготовки системы КГИМ к задействованию при минимальных/максимальных значениях исходных данных	158,403 часа (6,6 суток) / 203,144 часа (8,464 суток)	7,889/11,647 часа	1,5384/2,2307 часа
2.	Угол максимального возрастания значений функции	55^0/**45^0**	76^0/**68^0**	60^0/**55^0**
3.	Интервал наибольшего возрастания значений функции (временной интервал)	0,01-0,1/ 0,01-0,1 (0-6/0-8)	0,01-0,38/ 0,01-0,43 (0-4,2/0-8,6)	0,01-0,3/ 0,01-0,2 (0-0,5/0-0,55)
5.	Угол минимального возрастания значений функции	18^0/18^0	15^0/10^0	0^0/0^0
6.	Интервал наименьшего возрастания значений функции (временной интервал)	0,8-,0,9/ 0,8-0,95	0,99-0,995/ 0,96-0,99	0,99-0,995/ 0,97-0,98
7.	Временной интервал значений аргумента при наибольшем возрастании функции	0-9/ 0-12 часов	0-9/ 0-7 часа	0-0,5/ 0-1,0 часа
8.	Минимальное значение дисперсии значений функций (интервал значений аргумента)	0,01 (1,6-3,2 суток)	0 (30-45 часов)	0 (7-9 часов)
9.	Содержание проводимых мероприятий	Передача команд управления, прием докладов	Получение информации от средств мониторинга, обработка данных	Активное функционирование средств мониторинга
10.	Максимальное значение дисперсии значений функций (интервал значений аргумента)	0,02 (4,8-6,4 суток)	0,04-0,06 (5-10 часов)	0,04-0,05 (1-2 часа)
11.	Содержание проводимых мероприятий	Проведение совещаний, разработка документов	Формирование команд управления, подготовка средств мониторинга	Формирование команд управления, подготовка средств мониторинга

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 550.

Сравнительные результаты моделирования подготовки к задействованию системы КГИМ в различных условиях представлены в таблице 3.

Выводы

Таким образом, проанализирована система комплексного геоинформационного мониторинга, использующая в ходе своего функционирования различные источники информации.

Полученные в ходе моделирования значения среднего времени подготовки к задействованию системы позволяют 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.

Литература

1. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. Верба, Н. Неронский, И. Осипов, В. Турук. – Москва : Радиотехника, 2010. – 680 с.

2. Интегрированные многодатчиковые комплексы мониторинга окружающего пространства / В.С. Верба, В.И. Меркулов, Д.А. Миляков, В.С. Чернов // Журнал радиоэлектроники. – 2015. – № 4. – С. 14.

3. ГОСТ Р 53802–2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 24 с.

4. Карпик, А. П. Геоинформационное обеспечение территорий / А.П. Карпик // Геодезия и картография. – 2004. – № 12. – С. 35–36.

5. Карманов, А. Г. Геоинформационные системы территориального управления / А.Г. Карманов, А.И. Кнышев, В.В. Елисеева. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – 129 с.

6. Колесов, В. А. Математическая модель процесса применения космической системы при прогнозировании развития региональной чрезвычайной ситуации природного характера / В.А. Колесов, А.А. Привалов, Е.В. Скуднева // Информация и Космос. – 2018. – № 2. – С. 133–141.

7. Колесов, В. А. Обобщенный алгоритм прогнозирования места, времени и масштаба возможной кризисной ситуации / В.А. Колесов, А.А. Привалов, В.И. Веремьев // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям 2022 (SCM-2022) : сборник докладов (Санкт-Петербург, 2022). – Санкт-Петербург : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. – Т. 1. – С. 111–114.

8. Привалов, А. А. Метод ТПСС и его использование для анализа систем связи ВМФ / А.А. Привалов. – Санкт-Петербург : ВМА им. Н.Г Кузнецова, 2001. – 168 с.

9. Романов, И. А. Геоинформационный космический мониторинг / И.А. Романов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 2 (10). – С. 131–137.

10. Трубиенко, О. В. Инновационная модульная система интеллектуального комплексного мониторинга динамических объектов и ее роль в мониторинге и защите окружающей среды / О.В. Трубиенко, В.И. Кузнецов, С.М. Кривенцов // Молодой учёный. – 2016. – №23 (127). – С. 96–105.

11. Об информации, информационных технологиях и о защите информации : федеральный закон от 27.07.2006 // Российская газета. – 2006. – 28 июля.

12. Цветков, В. Я. Геоинформационные исследования при разработке прогнозов / В.Я. Цветков, Ф.Н. Лещиков // Геодезия и картография. – 2001. – № 2. – С. 42–44.

13. Цветков, В. Я. Геоинформационные системы и технологии / В.Я. Цветков. – Москва : Финансы и статистика, 1998. – 289 с.