

Методика анализа процесса применения космической системы при прогнозировании развития региональной чрезвычайной ситуации природного характера

А. А. Привалов
ПГУПС
aprivalov@inbox.ru

В. А. Колесов
ВАС им. С.М. Буденного
z01z1@mail.ru

В. И. Веремьев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)
vervladiv@gmail.com

Аннотация. В статье предложена методика анализа процесса подготовки космических систем различного назначения к применению в интересах обеспечения функционирования информационной системы субъекта РФ при угрозе возникновения ЧС регионального характера. Она основана на использовании метода топологического преобразования стохастической сети. Особенностью полученного решения является поэтапное укрупнение стохастической сети, позволяющее существенно упростить формальную запись ее эквивалентной функции и последующую процедуру определения функции распределения времени реализации моделируемого процесса подготовки космической системы к применению при прогнозировании развития чрезвычайной ситуации природного характера. В основу разработанной методики положена модель взаимодействия основных параметров функционирования космических систем (КС). На основе методики анализа получены количественные оценки длительности интервала подготовки КС к применению при угрозе развития чрезвычайной ситуации природного характера.

Ключевые слова: методика; математическая модель; космическая система; стохастическая сеть; эквивалентная функция; чрезвычайная ситуация

I. ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с федеральным законом «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» под чрезвычайной ситуацией (ЧС) природного и техногенного характера понимается обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или

окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушения условий жизнедеятельности людей [6, 7].

Обсуждаемый ниже подход поможет формализовать и автоматизировать процессы принятия решений в условиях ЧС. Все математические модели возникновения бедствий и катастроф, алгоритмы прогноза и анализа полученных данных дадут положительный результат только в том случае, когда они будут использованы в системе информационного обеспечения.

II. МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

Методика предназначена для получения данных в систему поддержки принятия решения на основе анализа процесса применения космической системы при прогнозировании развития региональной чрезвычайной ситуации природного характера.

Целью разработки методики является определение возможности применения космической системы при прогнозировании развития региональной чрезвычайной ситуации природного характера.

Методика предполагает использование следующих исходных данных:

- множество возможных районов возникновения ЧС;
- множество временных эталонов длительности отдельных событий;
- множество времен наступления наблюдаемых событий.

Для разработки методики анализа процесса применения космической системы при прогнозировании развития региональной чрезвычайной ситуации природного характера 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. В целях преобразования исходных данных для представления их в качестве сети использована принятая стандартная классификация терминов при задействовании космических систем.

Постановка задачи. Пусть согласно данным поступившего среднесрочного метеорологического прогноза примерно через семь суток прогнозируется развитие региональной чрезвычайной ситуации природного характера, которое может повлиять на функционирование информационно-телекоммуникационной системы региона [9]. КС является составной частью информационно-телекоммуникационной системы региона и выполняет задачи по своему предназначению в интересах различных структур и ведомств, в том числе для мониторинга чрезвычайных ситуаций различного характера. Для минимизации возможного ущерба, который может быть нанесен информационно-телекоммуникационной системе региона и обеспечение ее устойчивого функционирования необходимо задействовать космические системы различного назначения.

Особенностями применения космических систем при подготовке их к задействованию в случае угрозы возникновения ЧС являются [1,2,3,4,5,7]:

Перечень задач, решаемых в настоящее время космической системой с учетом времени, региона, выполнения поставленных задач, мест нахождения приемо-передающих комплексов.

Временем, необходимым для принятия управленческих решений и разработки документов, на уровне от руководства страны до подразделения управления космическими аппаратами.

Учет степени загруженности подразделений управления космическими аппаратами и решаемыми задачами.

Состояние целевой аппаратуры и других систем космических аппаратов.

Параметрами орбит космических аппаратов и расположением комплексов управления космическими аппаратами.

Подготовка к задействованию космической системы в случае угрозы возникновения ЧС предусматривает, как правило, проведение большого количества необходимых мероприятий.

Требуется определить функцию распределения времени успешной подготовки космической системы к использованию в ЧС.

Решение. Стохастическая сеть, отображающая последовательность событий по подготовке КС к задействованию в случае угрозы возникновения ЧС представлена на рис. 1.

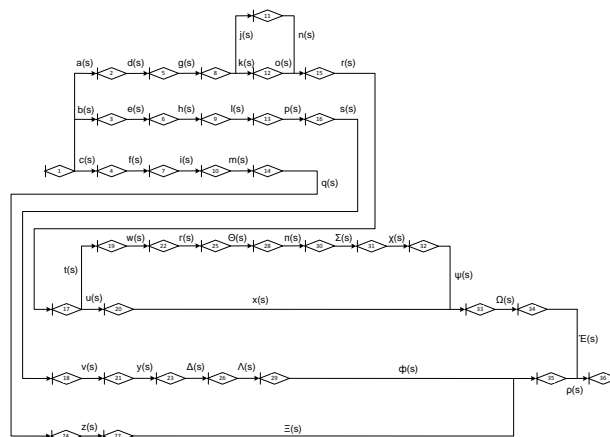


Рис. 1. Исходная стохастическая сеть, отображающая последовательность событий по подготовке КС к задействованию в случае угрозы возникновения ЧС

Данная стохастическая сеть является достаточно сложной. Поэтому с целью определения эквивалентной функции стохастической сети произведем ее последовательное укрупнение с введением новых параметров. Результат первичного укрупнения является стохастическая сеть, представленная на рис. 2.

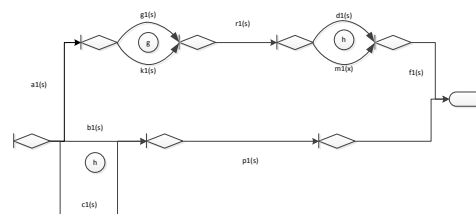


Рис. 2. Результат первичного укрупнения стохастической сети

На рис. 2 обозначено:

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
f_1(s) &= \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot d[F(t)] = \frac{f_1}{f_1 + s}; \\
g_1(s) &= \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot d[G(t)] = \frac{g_1}{g_1 + s}; \\
k_1(s) &= \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot d[K(t)] = \frac{k_1}{k_1 + s}; \\
m_1(s) &= \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot d[M(t)] = \frac{m_1}{m_1 + s}; \quad (1)
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
a1 &:= (A + D + G)^{-1}; \\
b1 &:= (B + E + H + L + P + S + V + Y + \Delta + \Lambda + \Phi)^{-1}; \\
c1 &:= (C + F + I + M + Q + Z + \Xi)^{-1}; \\
d1 &:= (W + T + \Gamma + \Theta + \Pi + \Sigma + X + \Psi)^{-1}; \\
f1 &:= (\Omega + E)^{-1}; \quad k1 := (K + O)^{-1}; \\
g1 &:= (J + N)^{-1}; \quad m1 := (U + X)^{-1}; \\
A &= \frac{1}{t_a}; \quad D = \frac{1}{t_d}; \quad \dots; \quad \Phi = \frac{1}{t_{\Phi}}. \quad (2)
\end{aligned}$$

На втором этапе укрупнения стохастическую сеть (рис. 2) получим сеть, показанную на рис. 3.

На рис. 3 обозначены:

$$\begin{aligned}
q_1(s) &= \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot d[Q(t)] = \frac{q_1}{q_1 + s}; \\
h_1(s) &= \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot d[H(t)] = \frac{h_1}{h_1 + s}; \\
n_1(s) &= \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot d[N(t)] = \frac{n_1}{n_1 + s}; \quad (3)
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
q1 &:= \frac{g^2 + g \cdot k + k^2}{g \cdot k \cdot (g + k)}; \quad n1 := \frac{d^2 + d \cdot m + m^2}{d \cdot m \cdot (d + m)}; \\
h1 &:= \frac{b^2 + b \cdot c + c^2}{b \cdot c \cdot (b + c)}. \quad (4)
\end{aligned}$$

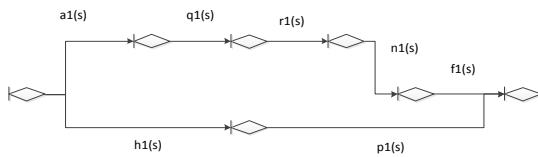


Рис. 3. Результат вторичного укрупнения стохастической сети

Окончательный вид укрупненной стохастической сети представлен на рис. 3, на котором ветви характеризуются параметрами:

$$\alpha_1 := \left(a^{-1} + q^{-1} + R^{-1} + n^{-1} + f^{-1} \right)^{-1}; \quad \beta_1 := \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{p} \right)^{-1}, \quad (5)$$

где:

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

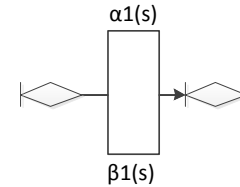


Рис. 4. Результат окончательного преобразования стохастической сети

Таким образом, эквивалентная функция стохастической сети (рис. 1) может быть определена по формуле:

$$\xi(s) := \frac{\alpha \cdot \beta \cdot (2 \cdot s + \alpha \cdot \beta)}{(s + \alpha)(s + \beta)(s + \alpha + \beta)} \quad (6)$$

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

$$R11(t) := \sum_{i=1}^3 \beta \cdot \frac{\alpha}{-s_i} \cdot \frac{(2 \cdot s_i + \alpha + \beta)(1 - \exp(s_i \cdot t))}{3 \cdot (s_i)^2 + 2 \cdot s_i \cdot (2 \cdot \beta + 2 \cdot \alpha) + [\beta \cdot (\alpha + \beta) + (2 \cdot \beta + \alpha) \cdot \alpha]} \quad (7)$$

где

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

При этом среднее время подготовки космической системы к задействию в ЧС равно:

$$TT := \sum_{i=1}^3 \beta \cdot \frac{\alpha}{(-s_i)^2} \cdot \frac{(2 \cdot s_i + \alpha + \beta)}{3 \cdot (s_i)^2 + 2 \cdot s_i \cdot (2 \cdot \beta + 2 \cdot \alpha) + [\beta \cdot (\alpha + \beta) + (2 \cdot \beta + \alpha) \cdot \alpha]} \quad (8)$$

Результаты разработки методики анализа процесса применения космической системы при прогнозировании развития региональной ЧС природного характера

Проведены расчеты анализа процесса применения КС и оценки уровня ее готовности к определенному времени, с момента получения прогноза о возможности развития региональной чрезвычайной ситуации природного характера, результаты которых представлены в виде графиков на рис. 5. При проведении расчетов полагалось, что среднее время подготовки космической системы к задействию при минимальных значениях исходных данных составляет 158,403 часа или 6,6 суток, а среднее время совершения сложного события при максимальных значениях исходных данных составляет 203,144 часа или

8,464 суток. Эти временные величины были получены на основе исходных данных промежуточного моделирования, анализа ведомственной принадлежности и особенностей применения космических систем при угрозе возникновения и в ходе ликвидации последствий стихийных бедствий.

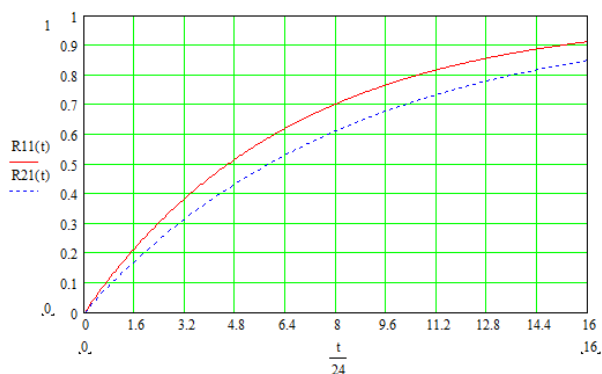


Рис. 5. Результаты моделирования возможности задействования КС и оценки уровня ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития региональной чрезвычайной ситуации природного характера

Анализ результатов:

- анализ полученных в ходе разработки методики показал, что разработанная методика является работоспособной, чувствительной к изменению используемых исходных данных, адекватно отображает события задействования КС различного назначения и позволяет определить вероятностно-временные характеристики анализируемого процесса;
- для сокращения времени на подготовку к задействованию КС в условиях возможного развития региональной ЧС природного характера необходимо сократить временной интервал принятия решений от момента получения прогноза на развитие ЧС до начала непосредственной подготовки к задействованию КС; для исключения

времени ожидания входа КА в зону радиовидимости КИК методика позволяет производить расчеты с задействованием КА-ретрансляторов.

Полученные в ходе разработки методики значения среднего времени подготовки к задействованию КС позволяют проводить оценку влияния различных элементов сети на возможность задействования КС и качественно оценить уровень ее готовности на определенном временном интервале от момента получения прогноза на возможность развития региональной чрезвычайной ситуации природного характера, которое может повлиять на функционирование информационно-телекоммуникационной системы региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Михайлов В.Ф., Мошкин В.Н., Брагин И.В. Космические системы связи. СПб.: ГУАП, 2006. 74 с.
- [2] Бессонов А.А., Мамаев В.Я. Спутниковые навигационные системы. СПб.: ГУАП, 2006. 36 с.
- [3] Верба В., Неронский Н., Осипов И. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. М.: Радиотехника, 2010. 680 с.
- [4] Воробьева А.А. Дистанционное зондирование Земли. СПб.: ИТМО, 2012. 168 с.
- [5] ГОСТ Р 53802-2010 Системы и комплексы космические. Термины и определения М.: Стандартинформ, 2011. 24 с.
- [6] Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2003 г. №304 "О классификации предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера". М., 2003. 11 с.
- [7] Постановление Правительства Российской Федерации от 5 ноября 1995 г. №1113 "О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций". М., 1995. 12 с.
- [8] Привалов А.А. Метод ТПСС и его использование для анализа систем связи ВМФ. СПб, ВМА им. Н.Г Кузнецова, 2001, 168с.
- [9] Руководящий документ РД52.27.724-2009 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения» М.:2009, 61 с.
- [10] Федеральный закон Российской Федерации «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» М., 2006. 16 с.