

## Методические аспекты интеграции информационных ресурсов космических средств мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций

О. А. Алексеев<sup>1</sup>, Е. И. Цадиковский

<sup>1</sup>д. т. н., профессор,

АО «Российские космические системы»

e-mail: spacetop@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются методические основы интеграции информационных ресурсов космических средств в интересах решения задач краткосрочного прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера. Целью такой интеграции является повышение оправдываемости, точности и оперативности прогнозов ЧС при ограничениях на затраты, связанные с совершенствованием системы мониторинга и прогнозирования ЧС и ее элементов. Объект исследований — система мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера. Предмет исследований — виды интеграции информационных ресурсов в системе, обусловленные интеграцией данных, знаний и этапов обработки мониторинговой информации. Особенности каждого из видов интеграции информационных ресурсов проиллюстрированы с использованием сетей Петри. Для отбора возможных многочисленных вариантов интеграции ресурсов, определяемых видами интеграции, числом элементов системы и числом оцениваемых параметров, предложен механизм выбора, логика которого отражает тенденции развития системы и возможности реализации ее интегрированных вариантов. Отмечено, что интеграцию информационных ресурсов системы мониторинга и прогнозирования ЧС целесообразно начинать с интеграции данных и знаний на завершающем этапе обработки информации, переходя к интеграции данных и знаний на предшествующих этапах обработки. Потенциально достижимым является результат, характеризующийся малозвенной системой мониторинга и прогнозирования ЧС, интегрирующей в себе все этапы обработки мониторинговой информации.

**Ключевые слова:** интеграция данных, интеграция знаний, интеграция этапов обработки информации, сети Петри

## Methodological Aspects of Information Resources Integration in Space-Based Facilities for Emergency Monitoring and Forecasting

O. A. Alekseev<sup>1</sup>, E. I. Tsadikovskiy

<sup>1</sup>doctor of engineering science, professor,

Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: spacetop@mail.ru

**Abstract.** The article reviews the methodology of integrating space information resources for short-term forecasting of natural and anthropogenic emergencies. The purpose of such integrating is to increase the success rate, accuracy and timeliness of emergency forecasts with limited expenses connected with the improvement of the monitoring system for emergency forecasting. The target of the research is a system for monitoring and forecasting of natural and man-caused emergencies. The scope of the research covers integration types of information resources in a system that are determined by integration of data, knowledge and the stages of monitoring information processing. Particularities of each integration type are illustrated with Petri nets. A selection mechanism is suggested for possible multiple variants of resources integration, determined by the integration types, the number of system elements and the number of estimated parameters. The logic of the mechanism is reflective of development possibilities of the system and of the realization of its integrated variants. It is emphasized that the integration of information resources of the emergency monitoring and forecasting system should be started with integration of data and knowledge on the previous processing stages. Potential result is a monitoring and forecasting system with few branches that includes all stages of processing of the monitoring information.

**Keywords:** data integration, knowledge integration, integration stages of information processing, Petri nets

## Введение

Эффективность создаваемой системы мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера, элементы которой принадлежат различным ведомствам и организациям [1], во многом определяется результатами интеграции информационных ресурсов ее подсистем и средств. Ведущая роль в получении информации о предшественниках ЧС природного и техногенного характера принадлежит космическим средствам наблюдения ввиду их глобального характера действия и оперативности доставки информации о предшественниках ЧС потребителям [2]. Поэтому интеграция информационных ресурсов космических средств наблюдения, непосредственно предназначенных для решения задач мониторинга и прогнозирования ЧС (оптические и радиолокационные средства ДЗЗ, средства измерения плотности электронной концентрации в ионосфере и других параметров на поверхности Земли и в околоземном космическом пространстве), а также космических средств ДЗЗ другого назначения, космических средств навигации и связи решающим образом влияет на рост эффективности рассматриваемой системы.

## Методические основы интеграции информационных ресурсов космических средств в интересах решения задач прогнозирования ЧС

Получение и обработка информации в космических системах в интересах решения задач прогнозирования ЧС природного и техногенного характера осуществляется поэтапно. В связи с этим выделим следующие три вида интеграции информационных ресурсов системы мониторинга и прогнозирования ЧС:

- интеграция данных (синтаксический уровень) в системе на отдельном этапе обработки мониторинговой информации;
- интеграция знаний (семантический уровень) в системе на отдельном этапе обработки (интеграция алгоритмов обработки однородной и разнородной информации от разных источников);
- интеграция этапов, задач (прагматический уровень) обработки мониторинговой информации.

Выделим следующие сложившиеся основные этапы получения и преобразования информации при мониторинге и прогнозировании ЧС:

- этап измерений на борту КА:
  - а) получение на борту КА снимков поверхности Земли, ее облачного покрова в видимом оптическом и инфракрасном диапазонах в панхроматическом, многозональном и гиперспектральном режимах;
  - б) преобразование аналоговых сигналов с выходов приемника радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) в цифровую форму для формирования упакованной радиолокационной информации (радиоголограммы);
  - в) измерение параметров электромагнитных излучений, вариаций электрических и магнитных полей, интенсивности потоков радиации различного происхождения, интенсивности свечения верхней атмосферы и подстилающей поверхности Земли;
  - г) измерение задержек электромагнитных сигналов в ионосфере;
  - д) измерение текущих навигационных параметров КА с использованием средств наземного комплекса управления (НКУ), а также проведение измерений угловых координат и угловых скоростей с использованием средств бортового комплекса управления (БКУ) КА;
  - е) прием и обработка на борту КА сигналов с наземных средств контроля состояния критически важных объектов;
- этап формирования на борту КА массива измерительной информации (целевой, баллистической, формата данных и др.) и передача его на наземные пункты приема информации (ППИ) непосредственно с КА или через КА-ретранслятор;
- этап приема и форматирования в ППИ полученных с КА данных, их передача в центры приема и обработки данных;
- этап обработки снимков, измерительной информации в центрах приема и обработки данных, включая различные виды коррекции измерений и снимков, их привязку к географическим координатам и преобразование к картографическим проекциям;
- этап тематической обработки скорректированной и геопривязанной измерительной информации с целью получения оценок параметров

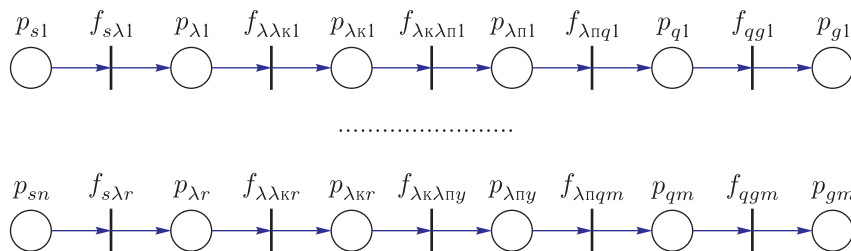


Рис. 1. Структура неинтегрированной системы мониторинга и прогнозирования ЧС

предвестников ЧС (например, вариации электронной концентрации в ионосфере, температуры подстилающей поверхности сейсмоопасных районов, уровня концентрации радона в нижней атмосфере, уровня влажности лесных массивов, уровня воды в реках и т. п.);

– этап обработки оценок параметров предвестников ЧС с целью получения оценок параметров ЧС (например, магнитуды, времени и координат эпицентра прогнозируемого землетрясения; интенсивности, площади, времени и координат прогнозируемого природного пожара; площади, времени и координат прогнозируемого затопления).

Отообразим перечисленные этапы преобразования информации в системе следующей формальной схемой:

$$\tilde{S} \rightarrow \tilde{\Lambda} \rightarrow \tilde{\Lambda}_{КА} \rightarrow \tilde{\Lambda}_{ППИ} \rightarrow \tilde{\Lambda}_{Ц} \rightarrow \tilde{Q} \rightarrow \tilde{G}, \quad (1)$$

где  $\tilde{S}$  — вектор сигналов, искаженных помехами, поступающих к группировке КА от природно-технологических объектов (ПТО);

$\tilde{\Lambda}$  — вектор оценок измеренных параметров сигналов в бортовых устройствах КА;

$\tilde{\Lambda}_{КА}$  — вектор сформированных в бортовых комплексах КА массивов измерительной информации;

$\tilde{\Lambda}_{ППИ}$  — вектор массивов измерительной информации, сформированных в комплексах ППИ;

$\tilde{\Lambda}_{Ц}$  — вектор массивов обработанной и геопривязанной измерительной информации, сформированных в центрах;

$\tilde{Q}$  — вектор оценок параметров предвестников ЧС, сформированных в центрах;

$\tilde{G}$  — вектор оценок параметров прогнозируемых ЧС, сформированных в центрах.

Эффективность прогнозов ЧС определяется набором показателей эффективности  $\mathcal{E}$ , основными

среди которых являются оправдываемость, точность, оперативность прогнозов ЧС и стоимость создания и развития системы мониторинга и прогнозирования ЧС.

Интегрирование информационных ресурсов отечественных мониторинговых, телекоммуникационных и навигационных космических средств направлено на повышение оправдываемости, точности и оперативности прогнозов ЧС при ограничениях на затраты, связанные с совершенствованием системы мониторинга и прогнозирования ЧС и ее элементов.

Зададим преобразование (1) графом. Поскольку в основе этапов данного преобразования лежат функциональные зависимости, целесообразно для описания схемы (1) использовать такую разновидность графа как сеть Петри. Сеть Петри называется двудольный ориентированный мультиграф  $R = (P, F, U)$ , где  $P = (p_1, \dots, p_m)$  — множество вершин, называемых позициями (местами),  $F = (f_1, \dots, f_n)$  — множество вершин, называемых переходами,  $U$  — множество дуг [3]. Множества  $P$  и  $F$  не пересекаются, а дуги соединяют вершины только разноименных множеств  $P$  и  $F$ . Множество дуг  $U$  задается двумя матрицами инцидентности, элементами которых являются кратности дуг.

Неинтегрированная система мониторинга и прогнозирования ЧС на рис. 1 представлена сетью Петри, на которой кружочками обозначены позиции, а планками (барьерами) — переходы. Здесь позиции отражают:

–  $p_{s1}$  и  $p_{sn}$  — подмножества данных о сигналах соответствующих групп объектов мониторинга, где  $n$  — число групп наблюдаемых объектов;

–  $p_{\lambda 1}$  и  $p_{\lambda r}$  — подмножества данных об оценках параметров сигналов, измеренных в бортовой аппаратуре группировки, состоящей из  $r$  КА;

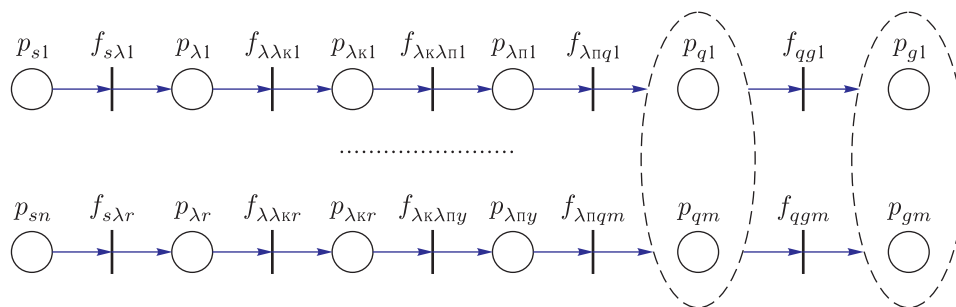


Рис. 2. Пример интеграции информационных ресурсов системы на уровне данных

–  $p_{\lambda k1}$  и  $p_{\lambda kr}$  — подмножества данных массивов измерительной информации, сформированных в бортовых комплексах КА;

–  $p_{\lambda \Pi 1}$  и  $p_{\lambda \Pi y}$  — подмножества данных массивов измерительной информации, сформированных в ППИ, где  $r$  — число пунктов ППИ;

–  $p_{q1}$ ,  $p_{qm}$  и  $p_{g1}$ ,  $p_{gm}$  — соответственно подмножества данных оценок параметров предвестников ЧС и оценок параметров ЧС, сформированных в центрах, где  $m$  — число центров обработки мониторинговой информации.

Каждая из позиций на рис. 1 представляет по своей сути локальную базу данных.

На рис. 1 переходы отражают:

–  $f_{s\lambda 1}$  и  $f_{s\lambda r}$  — функциональные зависимости оценок параметров сигналов, измеренных в бортовой аппаратуре группировки КА, от поступивших на КА сигналов;

– переходы  $f_{\lambda\lambda k1}$  и  $f_{\lambda\lambda kr}$  — функциональные зависимости данных в массивах измерительной информации, сформированной в бортовых комплексах КА, от оценок параметров сигналов, измеренных в бортовой аппаратуре группировки КА;

– переходы  $f_{\lambda k\lambda \Pi 1}$  и  $f_{\lambda k\lambda \Pi r}$  — функциональные зависимости данных в массивах измерительной информации, сформированной в ППИ, от данных в массивах измерительной информации, сформированной в бортовых комплексах КА;

– переходы  $f_{\lambda \Pi q1}$  и  $f_{\lambda \Pi qr}$  — функциональные зависимости оценок параметров предвестников ЧС, сформированных в центрах, от данных массивов измерительной информации, сформированной в ППИ;

– переходы  $f_{qq1}$  и  $f_{qqm}$  — функциональные зависимости сформированных в центрах оценок параметров ЧС от оценок параметров предвестников ЧС.

Каждая из позиций на рис. 1 представляет по своей сути локальную базу знаний (функциональный модуль, реализующий алгоритм преобразования входной информации в выходную).

## Интеграция данных и знаний в интересах решения задач прогнозирования ЧС

Пример интеграции данных системы мониторинга и прогнозирования ЧС на предпоследнем и последнем этапах обработки мониторинговой информации (в центрах обработки на уровне оценок параметров предвестников ЧС и оценок параметров самих ЧС) проиллюстрирован на рис. 2.

Для модуля  $f_{qq1}$  (также как и для модуля  $f_{qqm}$ ) из распределенной базы данных оценок параметров предвестников ЧС (обозначена первым пунктирным овалом от левого края рисунка) доступны однородные данные  $p_{q1}$  и  $p_{qm}$ , формируемые первым и  $m$ -м центрами. Для потребителей из базы данных оценок параметров ЧС (обозначена вторым пунктирным овалом) доступны разнородные данные (оценки параметров всех прогнозируемых ЧС).

На рис. 3 приведен пример интеграции знаний на последнем этапе обработки путем интеграции функциональных модулей  $f_{qq1}$  и  $f_{qqm}$ . Интегрированная распределенная база знаний обозначена на рисунке пунктирным прямоугольником. Эта интеграция позволяет в первом центре решить задачу получения оценок параметров первой группы ЧС  $p_{g1}$ , применяя модуль  $f_{qq1}$ , а с использованием запрошенного из первого центра алгоритма модуля  $f_{qqm}$  решить задачу получения оценок

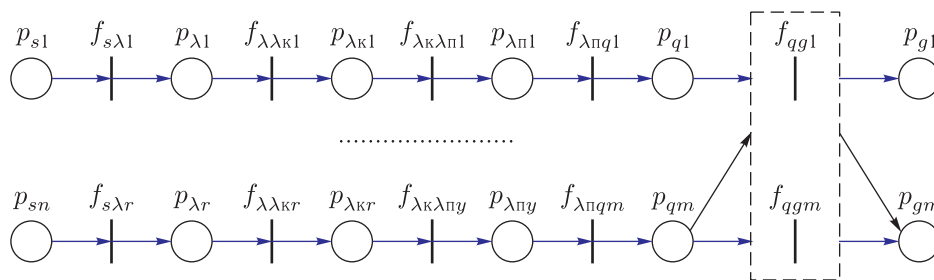


Рис. 3. Пример интеграции знаний на основе интеграции функциональных модулей

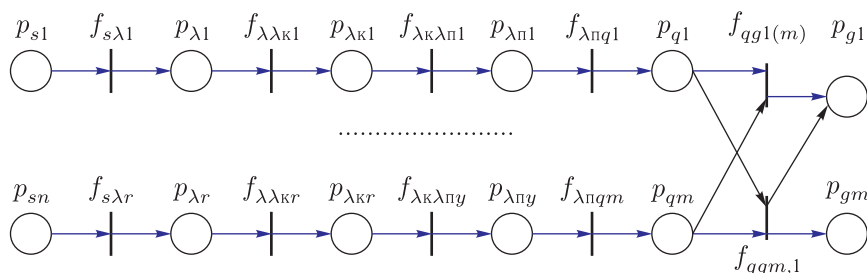


Рис. 4. Пример интеграции знаний на основе совместной обработки в модифицированных модулях однородных по содержанию данных от разных источников

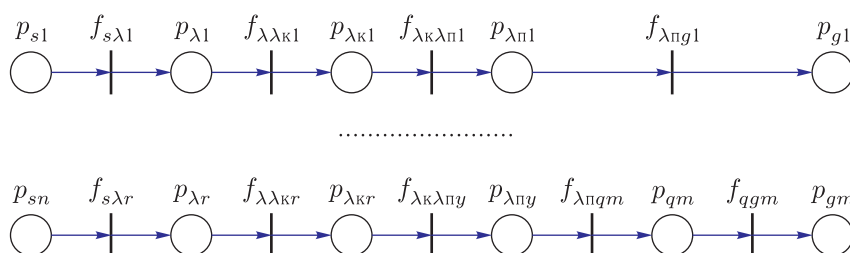


Рис. 5. Пример интеграции информационных ресурсов системы мониторинга и прогнозирования ЧС на основе интеграции этапов обработки мониторинговой информации

параметров  $m$ -й группы ЧС  $p_{gm}$ . Для этого необходима доставка в первый центр информации об оценках параметров предвестников ЧС  $m$ -й группы из  $m$ -го центра.

Пример более глубокой интеграции знаний на последнем этапе обработки мониторинговой информации приведен на рис. 4.

В модуле  $f_{qg1(m)}$  происходит совместная обработка однородной по содержанию информации, поступающей из первого и  $m$ -го центров для получения оценок параметров первой группы ЧС  $p_{g1}$ . В модуле  $f_{qgm,1}$  происходит совместная обработка информации, поступающей из первого и  $m$ -го центров для получения оценок параметров первой и  $m$ -й групп ЧС  $p_{g1}, p_{gm}$ .

## Интеграция этапов обработки мониторинговой информации в интересах решения задач прогнозирования ЧС

Высший уровень интеграции в системе мониторинга и прогнозирования ЧС связан с интеграцией этапов обработки мониторинговой информации. Пример такой интеграции приведен на рис. 5.

Для получения оценок параметров первой группы ЧС  $p_{g1}$  четвертый и пятый этапы (рис. 1) здесь объединены в один этап, реализуемый с использованием функционального модуля  $f_{\lambda nq1}$ .



Обработка информации для получения оценок параметров  $m$ -й группы ЧС  $p_{gm}$  в системе на рис. 5 проводится так же, как и в схеме на рис. 1.

Комбинации рассмотренных видов интеграции информационных ресурсов системы мониторинга и прогнозирования ЧС с учетом числа этапов обработки, числа КА в группировке, ППИ и центров, числа видов сигналов и их параметров, числа видов параметров предвестников ЧС и видов параметров ЧС, способны породить очень большое число вариантов интеграции ресурсов системы.

Поэтому в основе механизма генерации вариантов интеграции информационных ресурсов системы мониторинга и прогнозирования ЧС с целью отбора эффективных вариантов по выбранным показателям эффективности должна быть определенная логика, отражающая тенденции развития системы и возможности реализации ее интегрированных вариантов.

Одной из основных тенденций развития космических систем, к которым относится рассматриваемая система, является перенос усилий по обработке информации с наземных средств на космические при сокращении этапов обработки. При этом необходимо учитывать следующее:

- реализация одних и тех же процедур обработки информации в наземных средствах проще, чем на космическом борту, особенно при учете требования уменьшения массы, габаритов и потребляемой энергии КА;

- проведение интеграции данных осуществлять проще, чем интеграцию знаний.

Ограничивающее влияние уменьшения массы, габаритов и потребляемой энергии КА на возможности совершенствования процедур обработки информации на его борту в определенной степени компенсируется факторами, определяемыми тенденцией повышения информационной плотности средств формирования и обработки информации.

## Заключение

Следует ожидать, что интеграция информационных ресурсов системы мониторинга и прогнозирования ЧС будет проводиться в основном в направлении, противоположном направлению распространения информации при ее обработке, а точнее — от завершающих обработку информации звеньев системы (наземных средств) и заключительных этапов обработки (начиная с интеграции данных) к первым звеньям системы (космическим средствам), интегрирующим в себе все этапы обработки.

Информационно-технической основой интеграции информационных ресурсов системы мониторинга и прогнозирования ЧС могут стать аппаратно-программные средства, разрабатываемые в рамках концепций Inter-Grid и облачных вычислений [4].

## Список литературы

1. Жодзишский А.И., Разумов В.В., Дудкин С.А. и др. Перспективы создания пилотной версии проекта «Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга» в России. Под ред. О.А. Алексеева. М.: Тривант, 2014. 200 с.
2. Алексеев О.А., Разумова Н.В., Цадиковский Е.И. и др. Космическая группировка — основа создания интегрированных систем прогнозного мониторинга предупреждения об угрозах стихийных бедствий // Геодезия и картография. Спецвыпуск, 2015. С. 14–19.
3. Чечкин А.В. Математическая информатика. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. 416 с.
4. Фальфушинский В.В., Скарлат Е.С., Тульчинский В.Г. Платформа облачных вычислений в инфраструктуре грид // International Conference «Parallel and Distributed Computing Systems» (Ukraine, Kharkiv, March 13–14, 2013). PDCS 2013. С. 86–90.