

УДК 004.822

**ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ  
ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ  
НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ**

Проценко Д. А., Симонова Е. В.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

В настоящее время ведутся работы по созданию автоматизированной системы контроля состояния (АСК) космических аппаратов «Прогресс» и «Союз» во время полёта на МКС. Целью системы является повышение надёжности работы как отдельных бортовых систем космического аппарата, так и их взаимодействия в рамках следования программе полёта за счёт оперативного реагирования на изменения текущего состояния корабля в случае нештатных ситуаций. Нештатной называют ситуацию на корабле, при которой одна или несколько систем выходят за границы допустимых значений своих телеметрических показателей. Для каждой известной нештатной ситуации существует свой список рекомендаций по её парированию [1].

Одной из задач для системы контроля является формирование штатной модели поведения значений телеметрических индексов для дальнейшего анализа в режиме реального времени, а также краткосрочного прогнозирования с целью выявления тенденций к нештатным ситуациям на борту корабля. Система АСК спроектирована по модульному принципу, где за каждую крупную функциональность отвечает свой программный модуль. Так, за работу с телеметрией отвечает модуль анализа и распознавания отклонений от штатной работы.

Описание предметной области выполняется с использованием семантических сетей (онтологий), построенных с помощью онтологического базиса Аристотеля. В основе онтологии – модель мира, содержащая не только декларативные, но и процедурные знания вместе со сценариями действий субъектов над объектами мира [2].

Концептуальная модель космического аппарата представлена сетью из понятий, определяющих физические узлы корабля («Грузовой отсек», «Секция КДУ»), программу полёта («Выведение», «Дальнее сближение»), телеметрические показатели («ДШБ», «давление»), нештатные ситуации («Неоткрытие клапана после выведения»), рекомендации по парированию («Прекратить динамическую операцию»), а также множеством отношений между ними («является частью», «влияет на», «измеряемый параметр»).

На протяжении полёта, разбитого на определённые участки, на всех узлах корабля ведётся мониторинг значений различных физических параметров работы (давления, температуры, состояния клапанов и т. п.) в виде сбора т. н. телеметрических кадров. Каждый кадр содержит группу телеметрических индексов, описывающих тот или иной параметр с датчика на узле. Для формирования штатной модели модуль анализа, получив данные телеметрии, помимо занесения фактических значений индексов в базу знаний должен сформировать математическую модель (в случае если индекс описывается количественной характеристикой) поведения каждого индекса в рамках конкретного этапа полёта для краткосрочного прогнозирования и своевременного выявления тенденции к нештатной работе узлов корабля для будущих полётов. Количественными измеряемыми параметрами во время работы бортовых систем являются давление и температура различных узлов, например, давление в шарбаллоне (ДШБ), температура трубопровода окислителя и т. д. На рисунке 1 представлен

ориентировочный график изменения давления в шар-баллоне на протяжении нескольких этапов полёта космического аппарата.

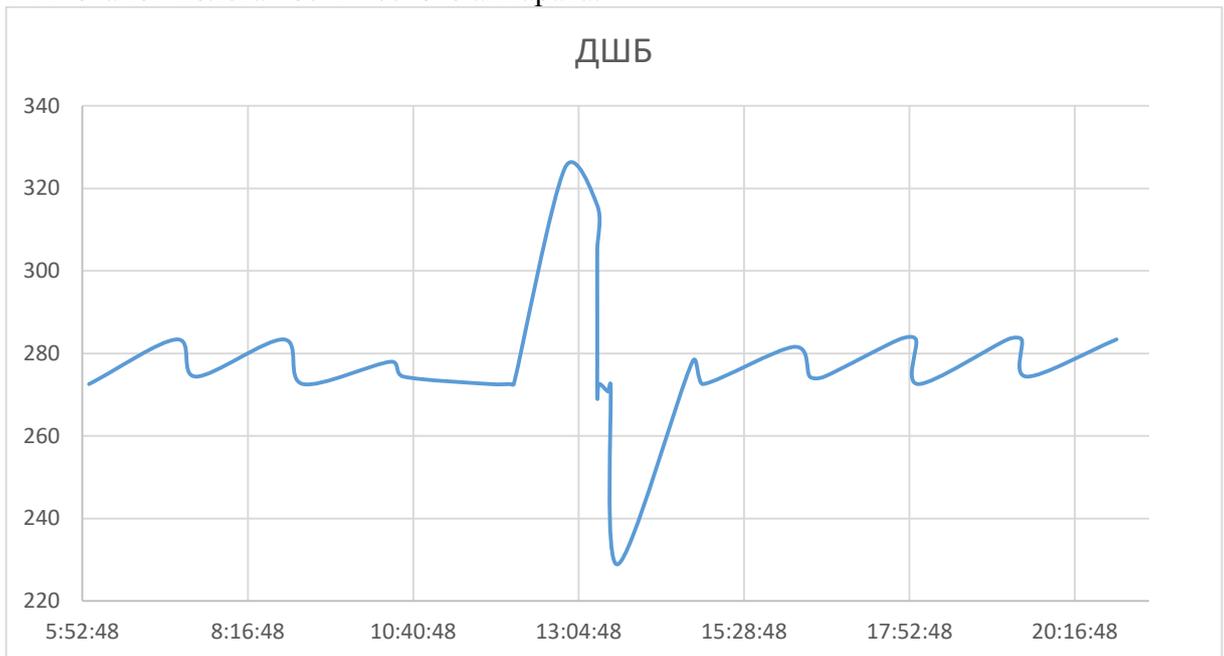


Рис. 1. Пример графика штатных значений давления в шар-баллоне

На текущий момент разработано большое количество математических моделей временных рядов, учитывающих как различные аспекты ряда (тренд, цикличность, сезонность), так и методы формирования (статистические, структурные). В статистических моделях функциональная зависимость между будущими и фактическими значениями временного ряда задана аналитически, а в структурных моделях это делается структурно [3].

Основными статистическими методами исследования временных рядов являются: метод выделения тренда (временного сглаживания), регрессионный, автокорреляционный, адаптивный (скользящих средних), метод гармонического анализа, сингулярного спектрального анализа, численного размножения выборок и нейросетевой [4]. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, однако в условиях работы системы АСК формируется ряд критериев, сужающих множество доступных моделей.

Поскольку модулю формирования базы знаний необходимо создавать онтологию штатного проведения полёта с использованием онтологической модели анализа, важным критерием является конвертируемость выбранной модели в термины онтологии, то есть возможность по полученной модели сформировать онтологические понятия. Так как телеметрическая информация подаётся в режиме, близком к реальному времени, горизонт прогнозирования выбранной модели является очень небольшим и соответствует ультракраткосрочному уровню: от одного до нескольких часов [3].

Нейросетевые модели способны успешно устанавливать нелинейные зависимости между будущими и фактическими значениями процесса, однако в них отсутствует прозрачность моделирования, а также высоки требования к обучающей выборке и алгоритму обучения.

Адаптивные модели, базирующиеся на объединении метода скользящего среднего и авторегрессии, а также параметрическая модель сглаживания имеют более прозрачную структуру. Они являются одними из наиболее популярных моделей временных рядов, а также подходят для краткосрочных прогнозов, что делает их более

привлекательными для выбора в рамках системы АСК для дальнейшего сравнительного анализа.

Библиографический список

1. Проценко Д.А. Формирование модели штатного поведения системы прогнозирования состояния ТГК «Прогресс» [Текст]/Д.А. Проценко, Е.В. Симонова//Труды международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии (ПИТ-2017)», Самара, 14-16 марта 2017 г. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2017. – С. 823-825.
2. Вакурина Т.Г., Котеля В.В., Лахин О.И., Матюшин М.М., Скобелев П.О. Онтология Российского сегмента Международной космической станции и её практическое использование в интеллектуальных аэрокосмических приложениях // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014), 20 – 22 февраля 2014 г. – Минск: БГУИР, 2014. – С. 221-226.
3. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.18. — Москва, 2012. — 154 с.
4. Газизов Д.И. Обзор методов статистического анализа временных рядов и проблемы, возникающие при анализе нестационарных временных рядов / Д. И. Газизов // Научный журнал. – 2016. - № 3(4). – С. 9-14.