

УДК 629.783

## Предложения по методам анализа телеметрической информации с помощью бортовых средств автоматических космических аппаратов

Шаханов Александр Евгеньевич

ShakhanovAE@laspace.ru

Гавриков Михаил Михайлович

mmg.20018@gmail.com

АО «НПО Лавочкина», Химки, Московская обл., Россия

**Аннотация.** В работе рассматривается использование для контроля состояния космических аппаратов математических методов и метода машинного обучения по данным телеметрии. Выполнен анализ возможностей статистического метода для выявления отклонений в работе космического аппарата. Рассмотрен подход на основе нейронной сети — автоэнкодера с одномерными сверточными слоями, который обучается на показаниях термодатчиков. Анализ показывает, что использование автоэнкодера позволяет выявлять аномалии в телеметрических данных, обеспечивая повышенную чувствительность к скрытым неисправностям и потенциальным сбоям. Результаты подтверждают возможность реализации мониторинга и диагностики систем космических аппаратов с помощью бортовых средств.

**Ключевые слова:** космический аппарат, телеметрическая информация, аномалия, индекс состояния, автоэнкодер, машинное обучение, нейронная сеть, эпоха, обучение

**Введение.** К современным космическим аппаратам предъявляются повышенные требования к автономности и сроку их активного существования (САС). К ряду космических аппаратов предъявляются требования по длительности САС 7–10 лет при этом КА могут функционировать в условиях сложных внешних воздействующих факторов, например на высоких эллиптических орбитах. Одно из направлений повышения надежности КА это выполнение мониторинга состояния аппаратуры и систем на борту. В настоящее время, при эксплуатации большинства автоматических КА анализ проводится группой управления с использованием наземных вычислительных средств. При этом подходе есть преимущества и недостатки. К преимуществам можно отнести практически неограниченные вычислительные мощности, возможность привлечь большое число специалистов, в том числе непосредственно разработчиков систем и аппаратуры и т. д. К недостаткам то, что для ряда орбит, с учетом зон радиовидимости отечественных наземных станций, информация о нештатной ситуации будет доступна группе управления через значительное количество времени. При этом за вышеотмеченный период возникающая нештатная ситуация может развиваться и привести к необратимым последствиям. В описанных случаях наличие системы отслеживания состояния КА с помощью бортовых средств является чрезвычайно актуальным.

**Методы и материалы; результаты.** Один из вариантов реализации рассматриваемого анализа это применение индекса состояния аппаратуры, кото-

рый рассчитывается с помощью сопоставления текущих значений измерений датчика с рядом измерений, полученных ранее [1]. Редко встречающиеся значения свидетельствуют об аномальной работе прибора (узла, блока) часто встречающиеся значения рассматриваются как свидетельство штатной работы. Первоначальный набор данных, с которым выполняется сравнение, может быть сформирован в процессе наземных испытаний прибора и в период его летных испытаний, когда КА находится под повышенным контролем специалистов. Диапазон изменения индекса состояния принят от  $-1$  до  $1$ . В этом случае проще различать отклонения от среднего значения в положительную и отрицательную сторону.

Другим вариантом является применение методов, основанных на искусственных нейронных сетях. Один из таких методов — это применение автоэнкодеров. Автоэнкодеры предназначены для формирования сжатых представлений данных и их последующего восстановления [2], ввиду чего обучаются находить отличительные признаки в исследуемых данных. Автоэнкодеры адаптируются к многомерным зависимостям между входными признаками [3], что улучшает их точность в сравнении с традиционными методами статистического анализа. В тоже время сложность их применения заключается в корректном формировании обучающей выборки, которая должна содержать нормальные и аномальные данные. Такая выборка может быть сформирована во время летных испытаний, где, в том числе отрабатываются аварийные режимы функционирования КА, в таких режимах для ряда аппаратуры могут быть получены аномальные данные. При этом вычислительные затраты на один проход по, рассматриваемой в данной работе, модели автоэнкодера составил порядка  $2 \cdot 10^5$  операций умножения-сложения. На борту большинства современных российских КА применяются вычислительные системы с тактовой частотой порядка 50–200 МГц. При этих параметрах и загрузке процессора менее 5–20 % — время одного инференса модели составляет приблизительно от 3 до 11 мс.

**Заключение.** Перспективным представляется комбинированное применение обоих подходов. На первоначальном этапе эксплуатации КА отслеживание состояния приборов и систем может проводиться с использованием математических методов и индекса состояния. В дальнейшем при накоплении большего количества экспериментальных данных анализ может выполняться более точным методом с применением автоэнкодеров. При этом предложенный автоэнкодер обладает вычислительной эффективностью и может быть реализован на бортовых цифровых вычислительных системах без существенного влияния на выполнение других функциональных задач КА.

#### Список источников

- [1] Шаханов А.Е, Богачёв С.А. Метод контроля состояния целевой аппаратуры космического аппарата в режиме реального времени. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2025, № 1, с. 56–71.

- 
- [2] *Autoencoders in Deep Learning: Tutorial & Use Cases*. URL: <https://www.v7labs.com/blog/autoencoders-guide> (accessed 25.11.2025).
  - [3] *Types of Autoencoders*. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/types-of-autoencoders/?ysclid=mb3e3iayk7710701493> (accessed 25.05.2025).