

Дроны научат чувствовать «боль»: новая технология позволит предотвращать аварии до появления опасности



Дата публикации: 03.07.2026

Представьте человека, который во время пробежки подвернул ногу. Боль заставляет его сразу изменить походку, снизить нагрузку и избежать более серьезной травмы. Именно такая способность мгновенно распознавать приближающуюся опасность позволяет живым организмам сохранять устойчивость и адаптироваться к изменяющимся условиям. Теперь ученые предлагают наделить похожим механизмом и современные беспилотные системы.

Исследователи из Делфтского технического университета и Вагенингенского университета представили новую технологию, позволяющую дронам заранее определять приближение потери устойчивости и предотвращать аварии еще до появления критических неисправностей. Работа опубликована в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences* и демонстрирует, как идеи из экологии неожиданно нашли применение в аэрокосмической инженерии.

Современные дроны оснащаются множеством датчиков, систем стабилизации и интеллектуальных алгоритмов управления. Однако большинство из них реагируют только тогда, когда проблема уже возникла: поврежден винт, отказал двигатель, произошел сильный порыв ветра или возникла потеря устойчивости.

Новая концепция предлагает совершенно иной подход. Вместо реакции на уже произошедшую неисправность система учится замечать первые едва заметные признаки того, что отказ становится вероятным.

Авторы исследования сравнивают этот процесс с ощущением боли у человека. Боль сама по себе не устраняет повреждение, но своевременно сообщает организму, что дальнейшее выполнение привычных действий становится опасным. Благодаря этому человек автоматически начинает двигаться осторожнее, снижает нагрузку и тем самым уменьшает вероятность серьезной травмы.

Исследователи считают, что аналогичная система предупреждения необходима и автономным машинам.

Основой новой технологии стало явление, хорошо известное экологам и специалистам по изучению климата, — критическое замедление. Этот эффект наблюдается в самых разных природных системах.

Например, здоровый лес после засухи восстанавливается сравнительно быстро. Однако по мере ухудшения состояния экосистемы каждое новое восстановление занимает все больше времени. Подобное замедление становится своеобразным предупреждением о приближении критической точки, после которой даже небольшое внешнее воздействие может привести к массовой гибели деревьев.

Аналогичные процессы наблюдаются в озерах, коралловых рифах, ледниках, климатических системах и многих других природных объектах.

До сих пор считалось, что подобные методы подходят исключительно для естественных экосистем. Однако новое исследование показывает, что тот же принцип способен работать и в высокотехнологичных инженерных системах.

Для проверки своей гипотезы ученые использовали специальный исследовательский центр CyberZoo — уникальную лабораторию, предназначенную для испытаний беспилотных летательных аппаратов.

В ходе экспериментов исследователи намеренно повреждали пропеллеры квадрокоптеров различной степени, постепенно увеличивая уровень повреждений и одновременно регистрируя все параметры полета.

Испытания проводились как на полностью автономных дронах, так и на аппаратах, управляемых человеком. Это позволило сравнить поведение различных систем управления при одинаковых повреждениях.

Оказалось, что задолго до полной потери управления в работе дрона начинают появляться очень небольшие изменения. Они практически незаметны оператору, но современные алгоритмы способны обнаружить их при помощи анализа данных с обычных бортовых датчиков.

При этом системе вовсе не требуется заранее знать конструкцию аппарата во всех деталях.

Это одно из главных преимуществ новой технологии. В отличие от традиционных методов диагностики, основанных на сложных математических моделях каждого конкретного устройства, новый подход анализирует лишь реальные изменения поведения системы.

Иными словами, алгоритм не пытается вычислить, какая именно деталь вышла из строя. Вместо этого он оценивает, насколько быстро система восстанавливает устойчивость после небольших возмущений. Если восстановление начинает замедляться, это становится ранним сигналом приближающейся неустойчивости.

Такой подход делает технологию значительно более универсальной.

Еще одним важным результатом исследования стало обнаружение того, что полученные сигналы можно использовать не только для диагностики, но и для изменения поведения машины в режиме реального времени.

Например, если один из пропеллеров начинает разрушаться, система сможет заранее изменить режим полета, уменьшить скорость, выбрать более безопасную траекторию или перераспределить нагрузку между двигателями, сохранив управляемость значительно дольше.

Фактически дрон начинает вести себя подобно человеку с травмированной ногой — он не игнорирует повреждение, а автоматически приспосабливается к новым условиям.

Подобная способность особенно важна по мере расширения использования беспилотной техники.

Сегодня дроны применяются для доставки грузов, мониторинга сельскохозяйственных угодий, инспекции линий электропередачи, строительства, спасательных операций, наблюдения за природными катастрофами, картографирования, экологического мониторинга и множества

других задач.

Во всех этих случаях преждевременное обнаружение потенциальной неисправности может существенно повысить безопасность эксплуатации.

Однако область применения технологии далеко не ограничивается беспилотниками.

Авторы исследования считают, что аналогичный подход можно использовать для контроля состояния самолетов, вертолетов, беспилотных автомобилей, промышленных роботов, железнодорожного транспорта и даже объектов критической инфраструктуры.

Особый интерес представляет возможность применения метода в системах прогнозирующего технического обслуживания.

Сегодня обслуживание большинства сложных машин выполняется либо через заранее определенные интервалы времени, либо после появления явных признаков неисправности. Новая технология позволяет перейти к принципиально иной модели — выявлять ухудшение состояния оборудования еще до возникновения отказа.

Это способно значительно снизить расходы на обслуживание техники, уменьшить количество аварий и увеличить срок службы оборудования.

Кроме того, подобные алгоритмы могут использоваться в автоматизированном производстве, где своевременное обнаружение нестабильной работы станков и роботов позволяет предотвращать выпуск бракованной продукции.

Интересно, что исследование стало примером успешного объединения различных научных дисциплин. Концепции, разработанные экологами для прогнозирования коллапса экосистем, неожиданно оказались полезными при создании интеллектуальных авиационных технологий.

Подобные междисциплинарные подходы становятся одной из главных тенденций современной науки, когда методы одной области знаний позволяют решать задачи совершенно другой.

Основные результаты исследования: разработан метод раннего обнаружения нестабильности автономных систем; технология основана на эффекте критического замедления, ранее применявшемся главным образом в экологии; алгоритм способен прогнозировать потерю устойчивости до возникновения аварии; система не требует сложной физической модели устройства и использует данные стандартных бортовых датчиков; технология потенциально

применима к дронам, самолетам, беспилотным автомобилям, промышленным роботам и объектам критической инфраструктуры.

Авторы подчеркивают, что речь не идет о создании настоящих эмоций или сознания у машин. Искусственное ощущение «боли» представляет собой инженерную аналогию биологических механизмов раннего предупреждения. Тем не менее именно такие системы могут стать следующим важным этапом развития автономной техники, позволяя ей заранее распознавать приближение опасности, адаптироваться к повреждениям и предотвращать аварии еще до того, как они станут неизбежными.

Ссылка: «Сигналы раннего предупреждения о потере контроля в сложных системах» DOI: [10.1073/pnas.2608847123](https://doi.org/10.1073/pnas.2608847123).