

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

УДК 629.7.075

## АНАЛИЗ ЖИВУЧЕСТИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А. В. Бецков, И. В. Прокопьев

Эффективное функционирование беспилотного летательного аппарата (далее – БПЛА) самостоятельно или в составе аэромобильного комплекса специального назначения в интересах обеспечения мониторинга оперативной обстановки предполагает безопасное управление БПЛА, при отсутствии оператора непрерывно управляющим им [1, 2].

БПЛА – сложный объект управления, на который возлагаются разнообразные целевые задачи [1].

Под разнообразными задачами мы понимаем:

- 1) мониторинг оперативной обстановки конкретной территории (акватории, воздушного пространства), объекта визуализированный, дозиметрический, радио и т.д. и одновременное доведение информации до наземного пункта управления (заказчика – лица, принимающего решение);
- 2) инспектирование, слежение за объектом с распознаванием образов, ситуаций и передачи оперативной информации наземному пункту управления;
- 3) ретрансляция служебной информации по каналу связи;
- 4) имитация цели и перехвата [2].

Важную проблему представляет обеспечение живучести БПЛА вследствие их высокой стоимости, ответственности за качество выполняемых задач в обычных условиях и агрессивных воздействий среды пилотажа БПЛА.

Решить эти и некоторые другие задачи можно с помощью двухуровневой (многоуровневой) организации управления, при которой второй (каждый последующий) уровень управления адаптирует первый (предыдущий) уровень к конкретным заданным условиям. Эту адаптацию можно представить как некоторую перестройку параметров или переход к новой структуре системы управления первого уровня.

Существует несколько современных информационно-технических технологий, позволяющих создавать данные системы управления (далее – СУ): экспертные системы, искусственные нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы и ряд других информационных технологий.

В инженерном контексте интеллектуальное управление БПЛА должно обладать следующими свойствами: во-первых, живучестью (устойчивостью к внешним возмущениям); во-вторых, способностью к обучению и адаптации; в-третьих, способностью к включению новых компонентов; в-четвертых, автономностью (при этом учитывается возможность потери связи с оператором), обеспечивается живучестью (СУ).

Системой управления БПЛА, обладающей свойствами, необходимыми для применения ее в системах управления более сложного порядка (система управления аэромобильного комплекса специального назначения), могут быть интеллектуальные системы управления, построенные на нейроконтроллерах с гибридным управлением.

На рис. 1 приведена функциональная схема системы управления БПЛА на основе интеллектуального управления.

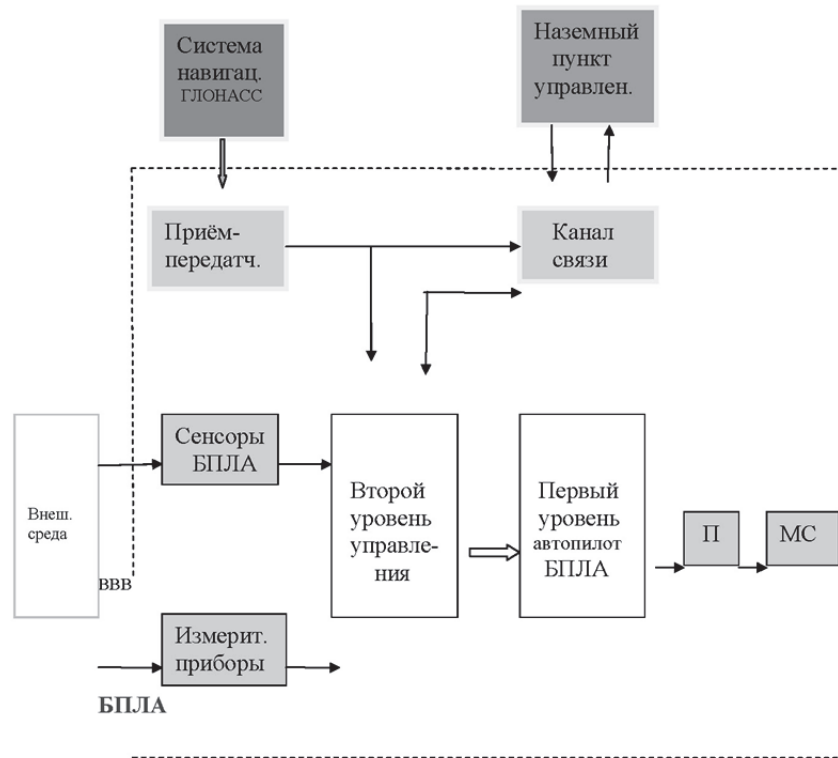


Рис. 1. Функциональная схема двухуровневой системы управления беспилотным летающим аппаратом: П – приводы; МС – механическая система

Система управления второго уровня (последующего) в соответствии с заданной программой и на основании поступающей информации от навигационной системы, сенсорных датчиков, измерительных приборов формирует управляющий вектор  $\bar{x}$  для первого уровня управления автопилота [3, 4].

Автопилот (далее – АП) решает задачу управления механическими системами БПЛА. Обеспечивает перемещение БПЛА из одной точки пространства в другую по координатам, выдаваемым вторым уровнем управления. АП, по сути, – ПИД регулятор, выполненный по схеме нечеткого нейроэмулятора и гибридного нейроконтроллера с обратной связью (рис. 2).

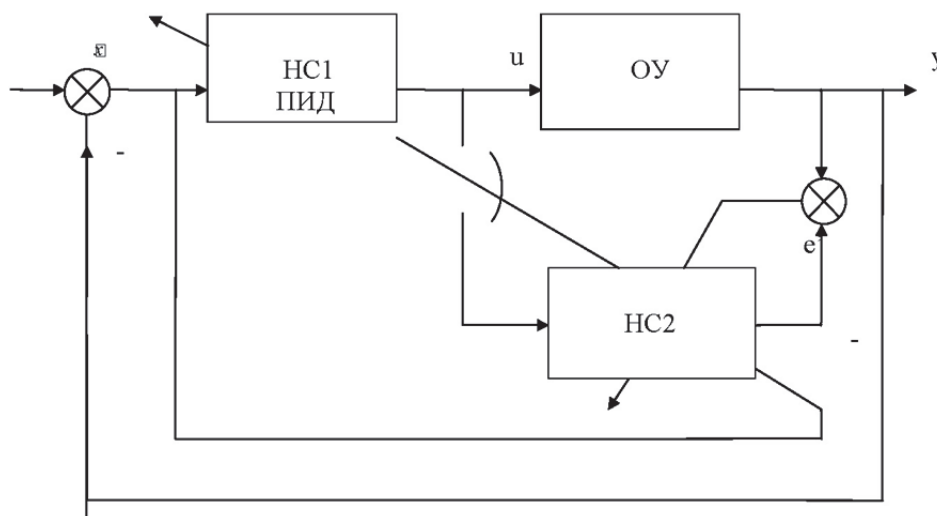


Рис. 2. Схема гибридного нейросетевого управления

В схеме используется контроллер обратной связи, выполненный как гибридный ПИД регулятор НС1, обучающийся через индикатор НС2. Обучение через индикатор необходимо, чтобы не мешать нормальному функционированию объекта пробными воздействиями, используемыми для обучения. Кроме того, такая схема позволяет реализовать предикатное управление и повышает безопасность БПЛА.

Данная схема управления (см. рис. 2) повышает живучесть и тем самым вероятность выполнения задачи. Схема напоминает структурное дублирование, однако мы здесь имеем дело с временным резервированием. Помимо быстрогодействия системы, за счет чего создается резерв времени, этот резерв времени может быть использован для контроля, поиска неисправностей и восстановления работоспособности и других операций, расчет новых траекторий, направленных на обеспечение безопасного функционирования системы при воздействии дестабилизирующих факторов [5, 6].

Безопасность, как правило, не является целью операции, в которой используется БПЛА. Однако свойство безопасного функционирования БПЛА создает необходимые условия для достижения цели операции. Во многих случаях получение полезного эффекта операции может обеспечиваться только при выполнении требований к показателям ее безопасности.

Отсюда следует, что требования к значениям показателей безопасности БПЛА вытекают из требований к показателю эффективности операции, в которой она используется.

Среди состояний сложной технической системы (например, аэромобильный комплекс) обычно выделяется подмножество опасных состояний, переход в которые считается недопустимым. Для БПЛА, например, к их числу могут относиться: нарушение газодинамической устойчивости работы силовой установки БПЛА, получение БПЛА в результате внешних воздействий повреждений определенного типа и размера и т.д.

В задачах безопасного использования БПЛА можно рассматривать интенсивность воздействия как некоторую характеристику возмущений внешней среды, например, полет БПЛА:

- степень турбулентности атмосферы;
- величину дополнительной подъемной силы (момента тангажа, момента крена и т.д.), которую будет испытывать летательный аппарат в данной точке пространства;
- величину дополнительной перегрузки (боковой или вертикальной);
- величину дополнительных углов атаки, скольжения или угловых скоростей и т.д.

Все эти возмущения и другие составляют управляющий вектор  $\vec{x}$  и если интенсивность воздействия будет больше заданной величины, в системе управления сработают правила восстановления, составляющие базу знаний самой системы управления, характеризующуюся как интеллект [7, 8].

1. Если параметры объекта меняются, можно воспользоваться методами оперативной идентификации. На этой основе можно осуществлять непрерывную подстройку параметров нечеткого регулятора или отдельных его частей.

2. Существуют трудности в обосновании устойчивости сложных нелинейных систем управления. Иногда БПЛА может оказаться в режимах работы, которые могут оказаться критическими. По этой причине для обеспечения устойчивости системы целесообразно использовать дополнительные стабилизирующие устройства.

### *Список литературы*

1. Катулев, А. Н. Исследование операций: принципы принятия решений и обеспечение безопасности / Н. А. Северцев, А. Н. Катулев. – Тверь, 1999. – 167 с.
2. Бецков, А. В. Формирование и функционирование аэромобильных комплексов МВД России / А. В. Бецков. – М. : ТЕИС, 2010. – 240 с.
3. Курбанов, В. Г. Математические методы в теории управления / В. Г. Курбанов. – СПб., 2009. – 412 с.
4. Юрков, Н. К. Оценка безопасности сложных технических систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 15–21.
5. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс : пер. англ. / Саймон Хайкин. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1104 с.
6. Информационно-измерительный лабораторный комплекс исследования теплопроводов электрорадиоэлементов / Н. В. Горячев, А. В. Лысенко, И. Д. Граб, Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 2. – С. 239–240.

7. Осовски, С. Н. Нейронные сети для обработки информации / С. Н. Осовски. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 248 с.
8. Затылкин, А. В. Индукционный виброметр для проведения амплитудно-частотного и модального анализа конструкций РЭС / А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, А. А. Бобров // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 2. – С. 44–48.

**УДК 629.7.075**

**Бецков, А. В.**

**Анализ живучести беспилотного летательного аппарата / А. В. Бецков, И. В. Прокопьев // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2(6). – С. 3–6.**

**Бецков Александр Викторович**

доктор технических наук, доцент,  
кафедра управления органами внутренних дел  
в особых условиях,  
Академия управления МВД России,  
(125171, Россия, г. Москва,  
ул. Зои и Александра Космодемьянских, д. 8)  
(499) 745-95-20  
E-mail: abckov@mail.ru

**Прокопьев Игорь Витальевич**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
отдел безопасности и нелинейного анализа,  
ВЦ РАН им. А. А. Дородницына  
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)  
(495) 135-55-08  
E-mail: fvi-2003@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются особенности системы интеллектуального управления беспилотным летательным аппаратом для обеспечения живучести в агрессивной среде, принятия решения с целью достижения требуемого результата.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, аэромобильный комплекс, мониторинг оперативной обстановки, живучесть, системы интеллектуального управления, нейросетевое управление, гибридное управление, индикатор.

**Betskov Aleksandr Viktorovich**

doctor of technical sciences, associate professor,  
sub-department of management bodies of internal  
affairs in the special conditions,  
Russian Academy of the interior Ministry  
(125171, 8 Zoy and Alexander Kosmodemianskys street,  
Moscow, Russia)

**Prokop'ev Igor' Vital'evich**

candidate of technical sciences,  
senior staff scientist,  
department of security and nonlinear analysis,  
VTs Russian Academy of Sciences  
of A. A. Dorodnitsyn  
(119333, 40 Vavilov street, Moscow, Russia)

**Abstract.** In article features of system of intellectual management by the pilotless flying device for maintenance of survivability in an excited environment, decision-making with objective of achievement of required result are considered.

**Key words:** the pilotless flying device, an aeromobile complex, monitoring of operative conditions, survivability, systems of intellectual management, neural network control, hybrid management, indicator.