

УДК 629.053

Анализ стохастических характеристик решения задачи настройки генетическим алгоритмом системы управления беспилотного карьерного транспортного средства

Лобачев Иван Витальевич^(*)

lobivit@bmstu.ru

SPIN-код: 1542-2456

Нагорный Иван Иванович

nii22u1257@student.bmstu.ru

Букин Егор Алексеевич

bukinea@student.bmstu.ru

Масленников Андрей Леонидович

amas@bmstu.ru

SPIN-код: 7087-6303

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе проведен анализ стохастических характеристик решения задачи настройки генетическим алгоритмом (ГА) системы управления (СУ) беспилотного карьерного транспортного средства (БКТС). Определен вид СУ и набор параметров, подлежащих настройке при помощи ГА в соответствии с выбранными критериями. Для полученных оптимальных параметров и значений критериев оптимизации исследованы стохастические характеристики: математическое ожидание, дисперсия, а также корреляция. На основе полученных результатов сделаны выводы о взаимосвязи параметров СУ и значений критериев оптимизации.

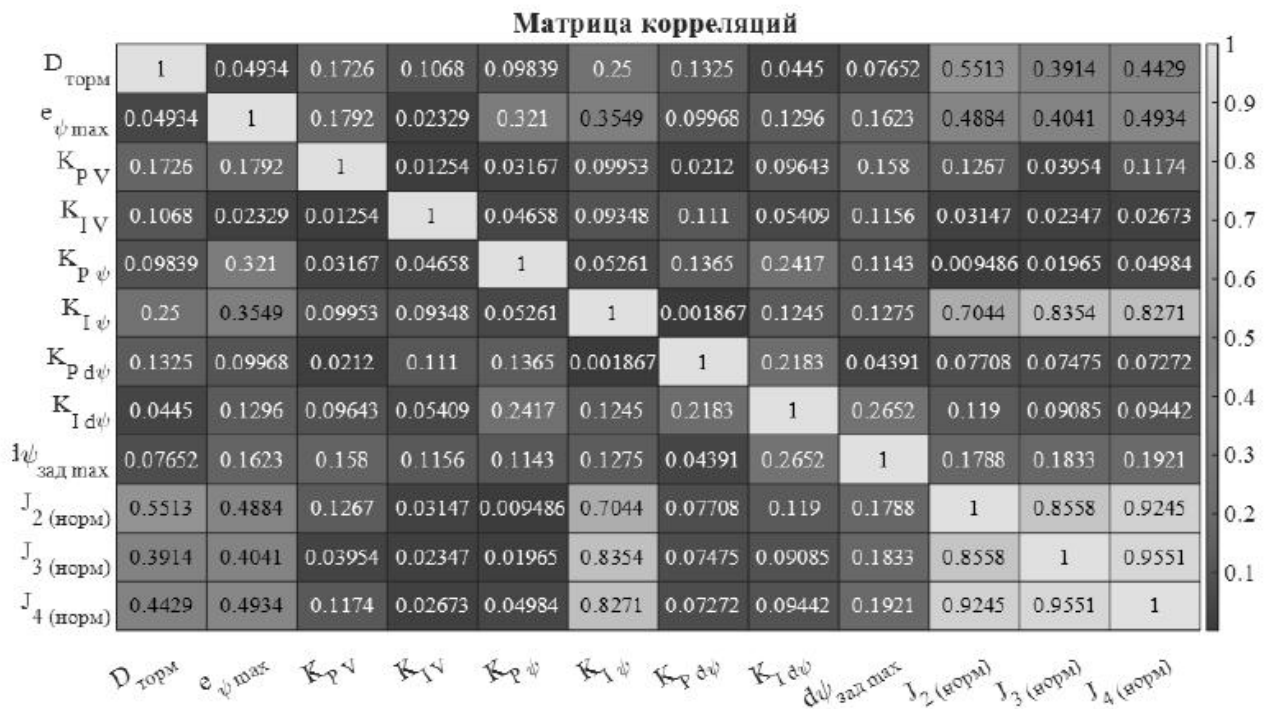
Ключевые слова: беспилотное карьерное транспортное средство, генетический алгоритм, система управления, критерии оптимальности, стохастические характеристики

Введение. При настройке систем управления (СУ) объектов с нелинейной динамикой часто применяются генетические алгоритмы (ГА) [1–3]. К объектам с нелинейной динамикой также относятся беспилотные колесные транспортные средства (БКТС). Ввиду наличия случайных процессов в ГА при настройке любой СУ [4, 5], в том числе СУ БКТС, необходимо исследовать точность и надежность формируемого ГА решения задачи. Для этого целесообразно исследовать стохастические характеристики настраиваемых параметров и значений функций пригодности.

Методы и материалы; результаты. В работе использована упрощенная модель динамики БКТС [3] с СУ, позволяющей выполнять движение по заранее определенной карте в соответствии с заданным маршрутом. СУ движением БКТС имеет 2 контура: по скорости и курсу. Оптимизируемые параметры СУ объединены в вектор θ , содержащий коэффициенты ПИ-регуляторов по продольной скорости, курсу, курсовой скорости, а также настраиваемые параметры расстояния до точки, на котором начинается торможение, величина модуля ошибки по углу, при котором требуется тормозить, а также максимальный модуль уставки по угловой скорости.

Оптимизация выполняется как поиск оптимального вектора $\theta_{\text{опт}}$ для минимизации критерия J_{Σ} , который складывается из критериев J_1 , J_2 , J_3 и J_4 , зависящих от количества пройденных точек маршрута, времени на их прохождение, взвешенного интеграла ошибки по скорости, а также взвешенного значения расстояния до заданной траектории.

Для анализа стохастических характеристик полученных элементов вектора $\theta_{\text{опт}}$ было проведено 175 вычислительных экспериментов. Получена матрица корреляции, представленная на рисунке.



Корреляционная матрица параметров и критериев оптимизации

Заключение. В работе проведен анализ оптимизируемых параметров СУ движением БКТС. Выявлено значительное влияние параметров расстояния начала торможения и ошибки по углу, при которой ограничивается скорость, на критерии оптимальности. Также, выявлена слабая корреляция всех коэффициентов ПИ-регулятора, кроме контура по курсовой скорости от интегрального коэффициента в котором сильно зависят составляющие суммарного критерия минимизации. Полученные результаты могут быть использованы для построения более точной и вычислительно эффективной процедуры настройки СУ БКТС за счет соответствующей подстройки весовых коэффициентов в критерии минимизации.

Список источников

- [1] Scherbak O.Yu., Maslennikov A.L. Biotechnical system based on the wrist joint control system tuning via genetic algorithm. *Russian Journal of Biomechanics*, 2025, vol. 29, no. 2, pp. 116–122. <https://doi.org/10.15593/RJBiomech/2025.2.11>
- [2] Кошкина А.А., Масленников А.Л., Бабенко М.Д., Чулин Н.А. Настройка контуров управления беспилотного воздушного судна самолетного типа с использованием генетического алгоритма. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2025, № 2 (158). <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2025-2-2427>
- [3] Пушкарева А.Д., Масленников А.Л. Настройка системы стабилизации космического аппарата CubeSat в режиме разгона двигателей маховиков с использованием генетического алгоритма. *Авиакосмическое приборостроение*, 2024, № 5, с. 37–49.
- [4] Кузнецов М.А., Масленников А.Л. Настройка системы регулирования двухроторной аэродинамической системы с использованием генетического алгоритма. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, 2023, № 4, с. 33–38. <https://doi.org/10.25791/pribor.4.2023.1403>
- [5] Gillespie T.D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale, SAE International, 1992, 400 p.