

# ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ СИНТЕЗА ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕЗВЕШИВАНИЯ

*А.С. Беляев, аспирант гр. А7-36*  
*О.Ю. Суменков, студент гр. 8Е72*  
*Томский политехнический университет*  
E-mail: oys5@tpu.ru

## Введение

Одним из базовых элементов любой международной космической программы является спутник, только в 2020 году было произведено 114 запусков ракет-носителей со спутниками на борту (17 запусков в РФ). Однако перед тем как запустить спутник в космическое пространство, проводится доскональная проверка работоспособности всех его систем. И важной частью предполетных испытаний являются тесты для трансформируемых частей, которые раскрываются в космосе, в частности, проверка раскрытия шарнирных механизмов солнечных батарей космического аппарата в условиях невесомости. Ведь в большинстве спутников солнечные батареи являются единственным источником энергоснабжения, жизненно важным для его нормального функционирования.

Для решения таких задач создаются особые системы, которые были названы системами обезвешивания. В самой сути своей концепции они подразделяются по типу исполнения на тросовые и опорные. На данный момент именно тросовые системы получили большую распространенность, нежели опорные, из-за своей надежности. Несмотря на это, опорные системы обезвешивания обладают такими достоинствами, как компактность и малое время настройки. Следующим классификационным признаком системы обезвешивания является сам механизм создания уравнивающей силы – системы подразделяются на пассивные, пассивно-активные и полностью активные, причем чаще всего применяются пассивные системы, которые, тем не менее, обладают недостатком в виде создания дополнительных моментов силы трения в шарнирах трансформируемых частей спутника. Между тем, полностью активные системы обезвешивания имеют возможность решить данную проблему.

Для решения сформулированной выше задачи обезвешивания научным коллективом было предложено применение активной опорной системы обезвешивания с робокаром в следующем виде [1]. Вместе с тем, методика выбора параметров настройки линейно-квадратичного регулятора не была рассмотрена,

Поэтому целью данной работы является синтез системы управления системой активного опорного обезвешивания с использованием робокара на основе линейно-квадратичного регулятора.

## Описание алгоритма

В ранее опубликованных работах [1–3] была выведена соответствующая динамическая модель робокара с управлением, сначала только в виде двухстепенного перевернутого маятника на тележке [2], затем с полной моделью двигателей [1,3]. Несмотря на это, основным вопросом являлось отсутствием как таковой методики настройки регулятора робокара в составе всей системы опорного обезвешивания, поскольку помимо дополнительной нелинейной динамики обезвешиваемой панели добавляются различные параметры второстепенных систем, таких как, например, бортового компьютера и драйверов электродвигателей робокара, микроконтроллера, датчиков положения шарнира и т.д.

В связи с чем, оптимальные параметры выбранного линейно-квадратичного регулятора можно определить несколькими способами. Первый заключается в том, чтобы, используя в качестве первого приближения полученные коэффициенты из полной математической модели робокара с двигателями, применить итеративный метод нахождения требуемых параметров регулятора ориентируясь на опыт и знания специалиста. Второй заключается в автоматической процедуре нахождения требуемых параметров. Непосредственно второй вариант наиболее часто применяется из-за использования более оптимальных методик поиска [4,5], чем итеративный, тем более на моделях динамики и имитационных моделях.

В данной работе предлагается использовать один из методов искусственного интеллекта – генетический алгоритм, для автоматической настройки параметров линейно квадратичного регулятора.

Разработанная структурная схема настройки генетического алгоритма приведена ниже на рисунке 1.

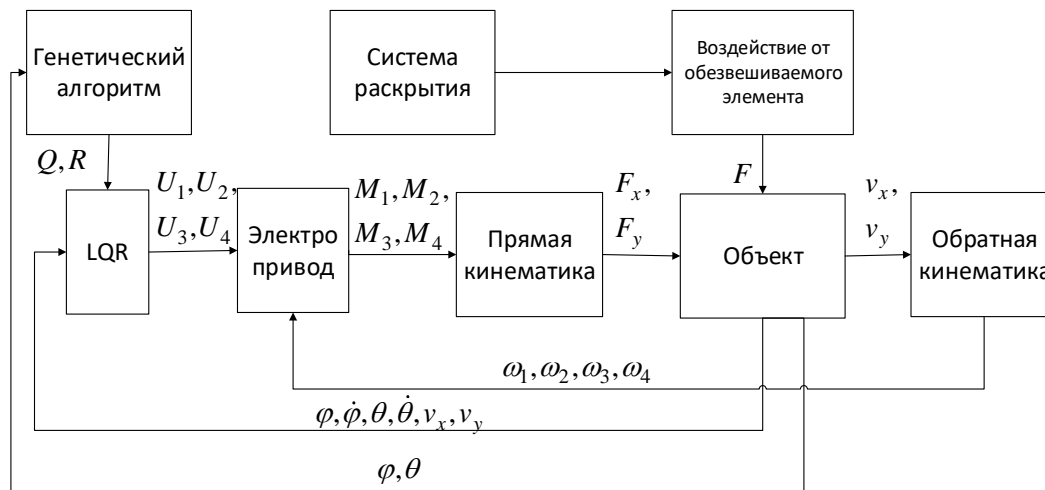


Рис. 1. Структурная схема настройки генетического алгоритма.

Как можно видеть из рисунка 1, генетический алгоритм сначала создает начальную популяцию в виде коэффициентов матриц  $Q$  и  $R$  линейно-квадратичного регулятора, после чего в блок линейно-квадратичного регулятора происходит решение алгебраического уравнения Рикатти, и после ряда операций формируется управляющее воздействие на систему в виде напряжений на электродвигатели робокара, после чего вычисляются генерируемые моменты, которые в блоке прямой кинематики пересчитываются в силы по осям  $X$  и  $Y$  и подаются на объект – робокар. На робокар через опору действует вектор силы со стороны системы раскрытия, после чего вычисляется полный вектор состояния робокара исходя из его динамики, линейные скорости пересчитываются в угловые скорости колес и передаются на блок электропривода.

Полный вектор состояния робокара передается в блок линейно-квадратичного регулятора и генетического алгоритма, где проходят стандартные операции: скрещивания (Crossover), мутирования (Mutation), вычисления значения целевой функции приспособленности (Fitness function), после чего происходит селекция (Selection) – формирование нового поколения. После чего данный цикл повторяется до нахождения оптимального решения.

В качестве функции приспособленности предлагается использовать значение суммы среднеквадратичной ошибки по каждому из углов отклонения стойки в следующем виде:

$$J = \frac{\sum \theta + \sum \varphi}{2n}$$

## Заключение

В результате данной работы была разработана концепция настройки коэффициентов линейно-квадратичного регулятора при помощи генетического алгоритма, построена соответствующая структурная схема, полностью описывающая реализацию данного алгоритма.

## Список использованных источников

1. Беляев А.С., Малышенко А.М., Филипас А.А, Суменков О.Ю. Разработка модели и системы управления мобильным роботом для обезвешивания солнечных панелей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. – Вып. 12. – С. 3–11.
2. Суменков О.Ю., Беляев А.С. Сравнение методов управления 2-х степенным перевернутым маятником на тележке // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции. – Томск, 26-30 октября 2020 г. – Томск: Томский политехнический университет, 2020. – С. 111–112.
3. Беляев А.С., Филипас А.А., Тырышкин А.В. Имитационная модель системы опорного обезвешивания элементов космических аппаратов // Материалы XXIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. – Красноярск: СибГУ, 2020. – Т. 1. – С. 60–62.
4. Omatu S., Deris S. Stabilization of Inverted Pendulum by the Genetic Algorithm // Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation. – 1996. – p. 700–705.
5. Mansoor H., Bhutta H. A. Genetic Algorithm Based Optimal Back Stepping Controller Design For Stabilizing Inverted Pendulum // International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering. – 2016. – p. 1–5.