

**Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Інформаційні управляючі системи та технології»  
23 - 25 вересня 2019, Одеса**

---

---

3. Мамедов Р.К., Алиев Т.Ч. Контроль положения 3D-объектов в гибких автоматизированных системах. Повышение достоверности распознавания. – LAP LAMBERT academic publishing, 2016. – 90 с.

УДК 004.891

**Information Control Systems and Technologies, pp. 110-114**

**Д.т.н. Вычужанин В.В.**

*Одесский национальный политехнический университет, Украина*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ЦИФРОВОГО ПИД  
– РЕГУЛЯТОРА НА ПЛИС С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ**

**Dr.Sci. Vychuzhanin V.V.**

**OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF DIGITAL PID CONTROLLER  
SETTING ON A FPGA BY MEANS OF A DIFFERENTIAL  
EVOLUTION ALGORITHM**

Наиболее распространенным типом промышленных регуляторов в настоящее время являются ПИД - регуляторы. Порядка 90% регуляторов, находящихся в промышленной эксплуатации, используют ПИД алгоритм. Причиной столь высокой популярности является простота построения и промышленного использования, ясность функционирования, пригодность для решения большинства практических задач и низкая стоимость [1,2].

Формирование и развитие микропроцессорной техники способствовало широкому использованию при проектировании цифровых систем управления программируемой логики. С развитием программируемой логики стало возможным появление программируемых логических интегральных схем (ПЛИС - FPGA), представляющих собой платформу для создания реконфигурируемых и высокопроизводительных цифровых систем и устройств с минимальными материальными затратами и сокращенным временем на проектирование.

Неправильная настройка параметров ПИД – регуляторов может привести к циклическому и медленному их восстановлению, плохой устойчивости и потери управляемости объектом регулирования. Это привело исследователей к поиску наилучшего метода поиска оптимальных параметров настройки ПИД – регуляторов, которые, прежде всего, необходимы для систем высокого порядка или с задержкой по времени.

Используются различные методы для получения оптимальных

**Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Інформаційні управляючі системи та технології»  
23 - 25 вересня 2019, Одеса**

---

---

параметров настройки ПИД – регуляторов, в том числе методы оптимизации их параметров настройки, основанные на применении эволюционных вычислений - дифференциальной эволюции (DE) и генетического алгоритма (GA). Эффективность подобных методов оценивается по среднеквадратичной ошибке (MSE) и интегральной абсолютной ошибке (IAE) получения оптимальных параметров настройки ПИД – регуляторов.

В отличие от простого GA, использующего двоичное кодирование для представления параметров задачи, DE применяет реальное кодирование чисел с плавающей запятой. Ключевая идея, стоящая за DE, - это схема генерации векторов пробных параметров. По существу DE добавляет взвешенную разницу между двумя популяционными векторами к третьему вектору. Алгоритм DE прост. Его производительность сопоставима или даже превосходит другие эволюционные или эвристические алгоритмы.

Семейства FPGA обладают возможностями для реализации эволюционных алгоритмов, начиная от выделенной системы только на одном чипе и заканчивая кластером FPGA для выполнения параллельных вычислений, которые могут быть полезны для различных приложений. Метод DE позволяет в реальном времени осуществить числовую оптимизацию параметров настройки ПИД - регуляторов. DE подходит для точной минимизации числовых параметров регуляторов.

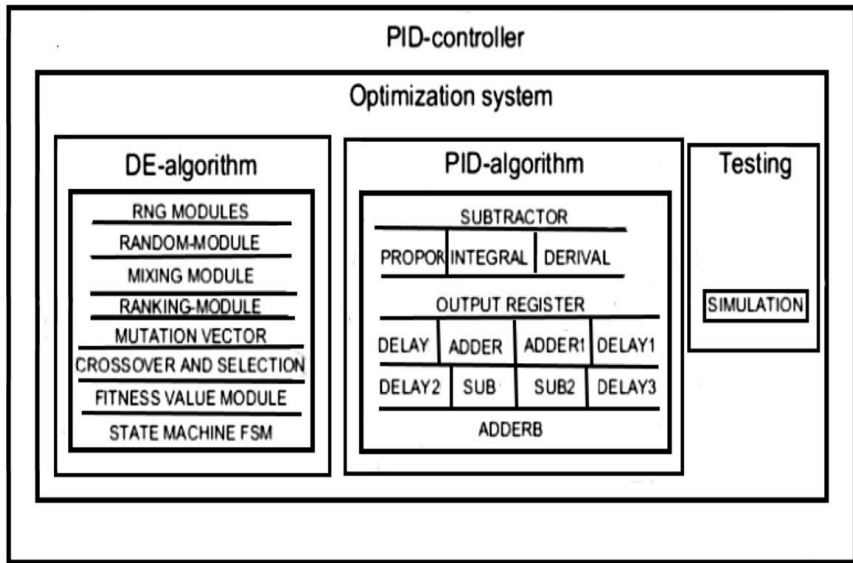
Вопросы оптимизации параметров настройки ПИД – регуляторов, реализованных в FPGA, с использованием алгоритма DE недостаточно отражены в литературных источниках с точки зрения оценки обеспечения стабильности работы регуляторов в режиме реального времени при минимальной среднеквадратичной и интегральной абсолютной ошибках.

Целью работы является обеспечение адаптивного функционирования ПИД – регуляторов в режиме реального времени при минимальной среднеквадратичной и интегральной абсолютной ошибках путем применения дифференциальной эволюции для оптимизации параметров настройки ПИД – регуляторов, реализованных в программируемой логической интегральной схеме.

Для оптимальной настройки параметров ПИД – регуляторов в качестве объекта управления выбрана система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC), отличающиеся по производительности, функциям управления и количеством потребляемой энергии [3-5]. Энергоэффективность системы HVAC зависит от того, насколько качественные ее ПИД - регуляторы, адаптируемые к изменениям условия окружающей среды. Архитектура системы

**Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Інформаційні управляючі системи та технології»  
23 - 25 вересня 2019, Одеса**

оптимізації параметрів настройки ПИД – регулятора, параметри якого оптимізуються в відповідності з алгоритмом його функціонування і алгоритмом DE приведена на рис. 1.



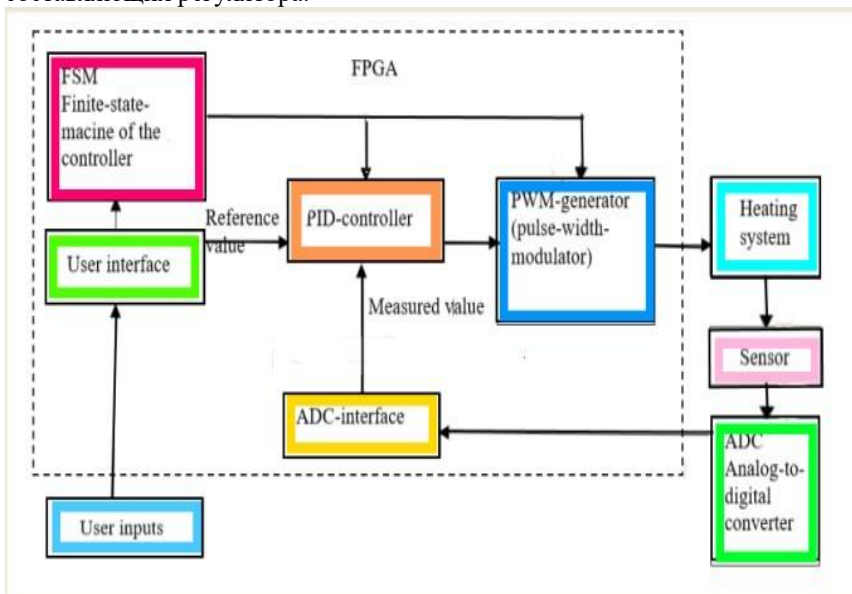
*Рис.1. Архитектура системы оптимизации параметров управления ПИД – регулятора*

Популяция инициализируется путем генерации случайных особей от 1 до NP хромосом равномерно между 1 и D. Разностный вектор генерируется случайным образом из индивидуального выбора. Взвешенный разностный вектор формируется из разностного вектора, умноженного на весовой коэффициент мутации F. На константу коэффициента мутации влияет длина шага мутации. При уменьшении разностного вектора также уменьшается длина шага мутации в популяции. Вектор рождается из суммы параметра разностного вектора и индивидуального параметра. Целевой вектор пересекается с разностным вектором. Скрещивание было выполнено по поколениям между параметром кроссовера CR и случайным числом для каждой хромосомы. Затем целевой вектор и пробный вектор выбираются на основе значения целевой функции для размещения целевых векторных хромосом по

**Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Інформаційні управляючі системи та технології»  
23 - 25 вересня 2019, Одеса**

---

поколінням. Выбор осуществляется в соответствии с целевой функцией. Из вектора мутации выбирается минимум одна хромосома. Если целевой вектор равен пробному вектору, то пробный вектор выбирается для продолжения в роде. На рис. 2 приведена блок-схема интеграции ПИД - регулятора в FPGA. Модуль FSM отвечает на пользовательские команды, такие как режим ожидания регулятора, запуск, выключение, оптимизация и т.д. Модуль пользовательского интерфейса обрабатывает команды, поступающие от пользователя. Пользовательский интерфейс управляет конечным автоматом FSM. С АЦП поступают преобразованные измеренные цифровые сигналы для расчета параметров настройки ПИД - регулятора, в котором устанавливаются значения P, I и D. Стабильность регулятора контролируется с помощью коэффициентов при P, I и D - составляющих регулятора.



*Рис.2. Блок-схема интеграции ПИД - регулятора в FPGA*

Исследование качества регулирования при оптимизации параметров управления ПИД – регулятора осуществлено моделированием в MATLAB (рис.3). Результаты исследований для DE при использовании среднеквадратичной ошибки (MSE) и интегральной абсолютной ошибки (IAE) в качестве целевой функции при оптимизации параметров

Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Інформаційні управляючі системи та технології»  
23 - 25 вересня 2019, Одеса

настройки ПИД – регулятора показаны на рис. 4 для объектов управления высоких порядков.

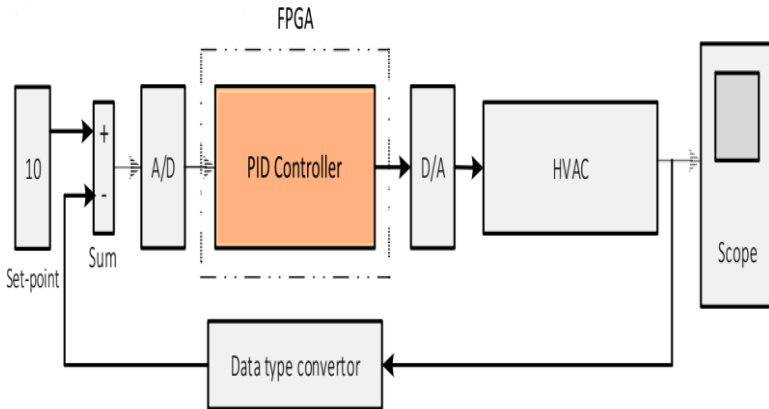


Рис. 3. Блок схема исследуемой модели в MATLAB

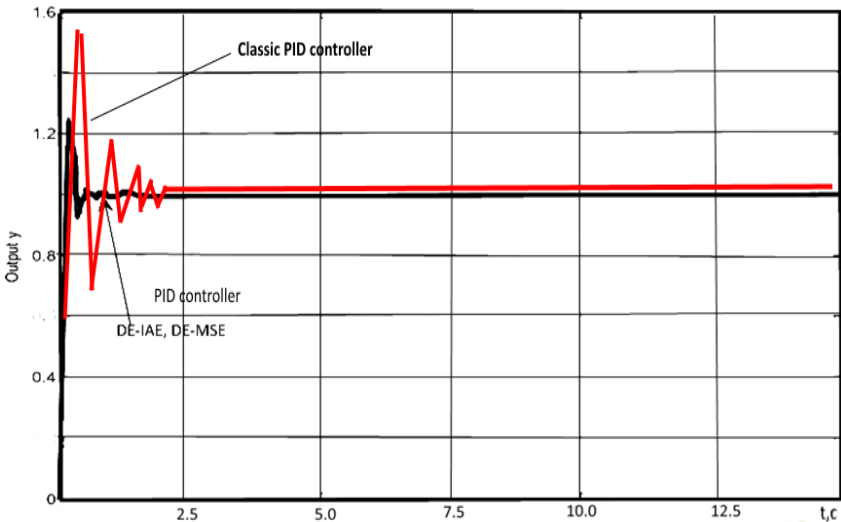


Рис.4. Переходные процессы классического ПИД – регулятора и при оптимизации параметров управления ПИД – регулятора для объектов управления высокого порядка

**Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Інформаційні управляючі системи та технології»  
23 - 25 вересня 2019, Одеса**

---

---

Из результатов исследований цифрового ПИД – регулятора с оптимизированными параметрами настройки следует, что такой регулятор в сравнении с классическим ПИД – регулятором с неоптимизированными параметрами для объектов управления высоких порядков, а также для объектов с транспортной задержкой обладает лучшими динамическими характеристиками.

Используемая DE для оптимизации параметров настройки ПИД – регулятора позволяет уменьшить перерегулирование, снизить время установления регулируемого параметра.

Применение DE для оптимизации параметров настройки ПИД – регуляторов, реализованных в программируемой логической интегральной схеме, обеспечивает адаптивное функционирование ПИД – регуляторов в режиме реального времени при минимальных среднеквадратичной и интегральной абсолютной ошибках.

### **Литература**

1. Вычужанин В.В. Локальная система цифрового управления на микросхеме программируемой логике // Приборы и системы управления, контроль, диагностика, 2005. – №7. – С. 14 – 18.
2. Вычужанин В.В. Методика комплексного проектирования оптимальных систем управления с ПЛИС электродвигателями // Современная электроника, 2011. – №7. – С.54 – 59.
3. Вычужанин В.В. Повышение эффективности эксплуатации судовой системы комфортного кондиционирования воздуха при переменных нагрузках: Монография Одесса: ОНМУ, 2009.– 206 с.
4. Математические модели нестационарных режимов воздухообработки в центральной СКВ Вісник Одеського нац. морського ун-ту: 36. наук. праць.– Одеса: ОНМУ, 2007. – №23. – С. 172 – 185.
5. Вычужанин В.В. Управление комплексом СККВ-холодильная установка на основе многопроцессорной системы// Холодильная техника, 2004. – №12. – С. 44 – 47.