

**Северин В. П.**, доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
**Никулина Е. Н.**, кандидат технических наук, доцент,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
**Шевцов А. С.**, аспирант,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ К-1000-60/1500-2 ПО ПРЯМЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА**

**Аннотация.** Построены модели паровой турбины К-1000-60/1500-2 как объекта управления при изменении нагрузки. В моделях систем автоматического управления паровой турбины рассмотрены пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор и нечеткий пропорционально-интегральный регулятор. Проведена оптимизация параметров систем автоматического управления частотой вращения ротора паровой турбины по прямым показателям качества. Проанализированы значения прямых показателей качества и переходные процессы при сбросе нагрузки.

**Ключевые слова:** паровая турбина, математические модели, система автоматического управления, оптимизация, прямые показатели качества.

Основной задачей системы автоматического управления конденсационной паровой турбиной К-1000-60/1500-2 энергоблока атомной электростанции является стабилизация частоты вращения ротора турбины при различных возмущающих воздействиях [1]. Сигнал управления паровой турбиной формируется регулятором частоты, который обычно является пропорционально-интегрально-дифференциальным регулятором [2]. Показатели качества системы автоматического управления частотой вращения ротора турбины во многом определяют качество электрической энергии, вырабатываемой энергоблоком атомной электростанции [3].

Целью доклада является представление результатов многоцелевой оптимизации систем автоматического управления паровой турбиной К-1000-60/1500-2 при различных законах управления.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: построены модели паровой турбины К-1000-60/1500-2 как объекта управления при сбросе нагрузки; построены математические модели систем автоматического управления в виде систем дифференциальных уравнений для определения прямых показателей качества; проведена оптимизация параметров системы автоматического управления частотой вращения ротора паровой турбины на основе математической модели; проанализированы результаты оптимизации.

Введен набор переменных параметров для задачи параметрической оптимизации системы автоматического управления. Прямые показатели качества определены по математическим моделям систем, которые представлены в виде систем дифференциальных уравнений. Задача оптимизации системы автоматического управления по прямым показателям качества с учетом ограничений технической реализуемости и устойчивости сведена к задаче оптимизации векторной целевой функции. Для оптимизации векторной целевой функции разработаны векторные методы адаптации шага поиска, Хука – Дживса, Нелдера – Мида, модифицированы различные генетические алгоритмы.

Построены математические модели паровой турбины К-1000-60/1500-2 как объекта управления при сбросе электрической нагрузки энергоблока АЭС. Линейные пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы включают различные регуляторы и по ошибке формируют управление путем сложения сигналов пропорционального, интегрального и дифференциального регуляторов, которые определяются линейными уравнениями при нулевых начальных условиях. Нечеткий пропорциональный-интегральный (ПИ) регулятор использует систему нечеткого вывода, которая включает базу правил и блоки фазификации, нечеткого вывода и дефазификации.

Для оптимизации параметров системы автоматического управления частотой вращения ротора паровой турбины на основе ее математической модели сформирован вектор из переменных

параметров нечетких регуляторов частоты, задано входное возмущающее воздействие. Выходной координатой всех моделей систем автоматического управления турбиной является отклонение частоты вращения ротора турбины от номинального значения в процентах. Для оптимизации систем автоматического управления частотой вращения с ПИД регуляторами и нечеткой системы управления путем оптимизации векторной целевой функции заданы условия: ограничения прямых показателей качества, параметр зоны установившегося значения частоты, время интегрирования систем дифференциальных уравнений, число шагов интегрирования. Для оптимизации векторной целевой функции применен векторный комбинированный генетический алгоритм. Представлены результаты оптимизации системы автоматического управления частотой вращения ротора турбины с ПИД регуляторами и нечеткой системы управления на основе линейной и нелинейной моделей турбины. Даны оптимальные значения переменных параметров ПИД регуляторов и нечеткого ПИ регулятора, а также соответствующие им значения прямых показателей качества – максимального отклонения частоты вращения ротора, размаха ее колебаний и времени регулирования процесса сброса нагрузки.

Вычислены значения параметров линейных регуляторов для систем управления частотой вращения ротора паровой турбины путем многоцелевой оптимизации показателей качества на основании нелинейной модели турбины. Это позволяет сравнить использование линейной и нелинейной моделей турбины для решения задач оптимизации регуляторов.

Результаты решения задач оптимизации систем управления частотой, полученные на основании уточненной нелинейной модели турбины, показали, что самым эффективным является нечеткий ПИ регулятор, который обеспечивает наиболее быстрый переходный процесс с наименьшим отклонением частоты.

Выводы. Проведена многоцелевая оптимизация систем автоматического управления паровой турбиной К-1000-60/1500-2 с линейными ПИД регуляторами и нечетким ПИ регулятором на основании линейной и нелинейной моделей паровой турбины. Результаты оптимизации нечеткой системы управления частотой показывают, что все показатели качества нечетких регуляторов лучше показателей линейных ПИД регуляторов. На основании вычислительных экспериментов с различными моделями паровой турбины АЭС и различными регуляторами можно утверждать, что при сбросе нагрузки нечеткий регулятор частоты с оптимальными значениями параметров обеспечивает большее быстродействие системы автоматического управления частотой вращения ротора паровой турбины с существенно меньшим максимальным отклонением частоты от номинального значения.

#### Литература

1. Северин В. П., Никулина Е. Н., Чернай В. Ф., Годлевская К. Б. Многоцелевой синтез нелинейных систем управления паровой турбиной АЭС по прямым показателям качества. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. Специальный выпуск. 2013. № 8 (114). Том 2. С. 134–140.
2. Северин В. П., Никулина Е. Н., Годлевская К. Б. Многоцелевая оптимизация систем управления паровой турбиной К-1000-60/1500 на основе векторной целевой функции. Вестник НТУ «ХПИ». 2013. № 13 (987). С. 24–29.
3. Северин В. П., Никулина Е. Н., Шевцов А. С. Модель паровой турбины К-1000-60/1500-2 для исследования процессов управления. Вісник НТУ «ХПІ». 2017. № 158 (1230). С. 57–62.