

УДК 62-5:620.9

Северин В.П., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (УКРАИНА)

Никулина Е.Н., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры системного анализа и управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (УКРАИНА)

Лютенко Д.А., аспирантка Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (УКРАИНА)

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС ДЛЯ МАНЕВРЕННЫХ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Удосконалено моделі та методи для аналізу і синтезу систем автоматичного управління енергоблоків атомних електростанцій на основі методів оптимізації. Побудовано нелінійні математичні моделі систем управління енергоблоку і проведено синтез оптимальних регуляторів для маневрених режимів експлуатації.

Ключові слова: енергоблок атомної електростанції, маневрений режим, система автоматичного керування, аналіз, синтез, методи оптимізації.

Усовершенствованы модели и методы для анализа и синтеза систем автоматического управления энергоблоков атомных электростанций на основании методов оптимизации. Построены нелинейные математические модели систем управления энергоблока и проведен синтез оптимальных регуляторов для маневренных режимов эксплуатации.

Ключевые слова: энергоблок атомной электростанции, маневренный режим, система автоматического управления, анализ, синтез, методы оптимизации.

Models and methods for analysis and synthesis of automatic control systems of power units of nuclear power plants were improved on the basis of optimization methods. Nonlinear mathematical models of control systems of power unit were built and synthesis of optimal controllers was carried out for maneuvering modes of operation.

Keywords: unit of nuclear power plant, maneuvering mode, automatic control system, analysis, synthesis, optimization methods.

В настоящее время все 15 энергоблоков АЭС энергосистемы Украины эксплуатируются в режиме стабилизации мощности, хотя актуальна проблема модернизации энергоблоков АЭС и создания их систем автоматического управления (САУ), позволяющих эксплуатацию в маневренных режимах [1]. Сложная проблема маневренности энергоблоков АЭС для своего теоретического решения требует развития математических моделей и методов для анализа и синтеза САУ энергоблоков АЭС.

Целью доклада является представление результатов теоретического развития моделей, методов и алгоритмов анализа и синтеза САУ энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 для эксплуатации энергоблока в маневренных режимах.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: выполняется развитие методов анализа и синтеза нелинейных САУ, усовершенствуется лаборатория методов оптимизации, проводится анализ и синтез САУ ядерного реактора (ЯР), парогенератора (ПГ), паровой турбины (ПТ) и всего энергоблока АЭС с учетом особенностей маневренных режимов.

Теоретическое решение проблемы маневренности энергоблоков АЭС основано на усовершенствовании основных принципов, общих моделей, методов и алгоритмов анализа и синтеза САУ энергоблоков, что включает решение следующих задач: построение нелинейных моделей САУ, упрощение моделей, развитие методов решения нелинейных систем дифференциальных уравнений (СДУ), свойственных САУ энергоблока; выполнение идентификации параметров линейных и нелинейных моделей САУ в пространстве состояний в виде СДУ по экспериментальным переходным процессам; формулирование критериев качества САУ, включающих все предъявляемые требования к безопасности и управлению энергоблоков АЭС; формулирование и анализ различных вариантов постановок задач идентификации

параметров модели и синтеза оптимальных САУ, выбор наилучшего варианта; усовершенствование численных методов оптимизации и создание эффективных методов со свойствами глобального и локального поиска оптимального решения; решение задач синтеза оптимальных нелинейных регуляторов на основании комплексных критериев качества САУ энергоблока и выбор наилучших регуляторов.

Для решения различных задач анализа и синтеза САУ энергоблоков АЭС успешно применялась лаборатория методов оптимизации OPTLAB [2, 3]. Для решения новых поставленных задач эта лаборатория развита в следующих направлениях: усовершенствование структуры программ для решения комплекса взаимосвязанных задач анализа и синтеза линейных и нелинейных САУ; усовершенствование блока моделирования и анализа САУ на основании программ решения нелинейных СДУ с различными типами входных переменных; создание универсального блока идентификации параметров САУ по экспериментальным переходным процессам входных и выходных переменных; усовершенствование блоков показателей качества САУ на основании критериев устойчивости линейных и нелинейных САУ, улучшенных интегральных квадратичных оценок (ИКО) и прямых показателей качества (ППК); расширение класса векторных целевых функций (ВЦФ) для типовых задач идентификации и синтеза САУ с учетом условий устойчивости и требуемых показателей качества; расширение программ методов оптимизации ВЦФ и повышение их эффективности при решении задач идентификации и синтеза сложных нелинейных САУ.

При маневрировании энергоблоком АЭС наиболее сложные процессы протекают в ЯР, ПГ и ПТ. Для анализа и синтеза САУ этих объектов строятся их нелинейные математические модели с учетом особенностей процессов маневрирования энергоблоком, идентифицируются параметры моделей по данным натурных экспериментов, проведенных на работающем энергоблоке АЭС, выполняется верификация математических моделей, проводится синтез оптимальных линейных и нелинейных регуляторов на основе оптимизации ВЦФ, включающей ИКО или ППК, осуществляется анализ безопасности и качества переходных процессов в маневренных режимах работы. Строятся математические модели других элементов энергоблока, идентифицируются их параметры по экспериментальным переходным процессам, выполняется оптимизация локальных САУ. На основании оптимальных систем автоматического управления ЯР, ПГ, ПТ и других элементов энергоблока строятся его нелинейные модели для решения задач синтеза оптимальных регуляторов при различных законах управления энергоблоком, выбирается самый эффективный закон управления для маневренных режимов эксплуатации.

Выводы. Для теоретического решения проблемы маневренности энергоблоков АЭС усовершенствованы основные принципы, общие модели, методы и алгоритмы анализа и синтеза САУ энергоблоков, развита лаборатория методов оптимизации OPTLAB для решения комплекса взаимосвязанных задач анализа и синтеза САУ. Построены нелинейные математические модели САУ энергоблока АЭС для исследования процессов маневрирования, идентифицированы параметры моделей по данным натурных экспериментов, проведен синтез оптимальных регуляторов и выполнен анализ переходных процессов в маневренных режимах работы при различных законах управления энергоблоком, теоретически обоснован оптимальный закон управления для маневренных режимов эксплуатации.

Литература

1. Северин В. П. Проблема маневренности энергоблока АЭС и развитие моделей его систем управления / В. П. Северин, Е. Н. Никулина, Д. А. Лютенко, Е. Ю. Бобух // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – № 61(1103). – С. 24-29.
2. Северин В. П. Многокритериальный синтез систем управления энергоблока АЭС с использованием лаборатории методов оптимизации OPTLAB / В. П. Северин, Е. Н. Никулина, Д. А. Лютенко, Е. Ю. Бобух // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 15(1124). – С. 106-111.
3. Северин В. П. Синтез оптимальных систем автоматического управления энергоблока АЭС в нормальных режимах эксплуатации / В. П. Северин, Е. Н. Никулина // Ядерна та радіаційна безпека. – 2013. – Вип. 3 (59). – С. 62–68.