

УДК 621.311.25:621.039:661.654

Д.В. ДАВИДЧЕНКО, К.В. БЕГЛОВ
Одесский Национальный Политехнический Университет

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС

В энергосистеме Украины существует несоответствие между выработкой и потреблением электрической энергии в течение суточного цикла, а суммарная доля установок, предназначенных для регулирования нагрузки энергосистемы очень мала, поэтому актуальным является адаптация действующих энергоблоков АЭС к новым специфическим условиям путем создания автоматизированной системы управления мощностью энергоблока в маневренных режимах. Все украинские АЭС с ВВЭР-1000 эксплуатируются в режиме стабилизации мощности энергоблока на заданном уровне, хотя оборудование первого контура допускает эксплуатацию в режимах маневрирования мощностью. Ранее были предложены новые алгоритмы управления мощностью энергоблока по компромиссно-комбинированной программе регулирования. Одним из элементов указанной системы регулирования является регулятор мощности, который воздействует на реактор изменением концентрации жидкого поглотителя. Таким образом, в статье рассматриваются свойства указанного регулятора.

Ключевые слова: нечеткий алгоритм управления, мощность, энергоблок.

Д.В. ДАВИДЧЕНКО, К.В. БЕГЛОВ
Одеський Національний Політехнічний Університет

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС

В енергосистемі України існує невідповідність між виробленням і споживанням електричної енергії протягом добового циклу, а сумарна частка установок, призначених для регулювання навантаження енергосистеми дуже мала, тому актуальним є адаптація діючих енергоблоків АЕС до нових специфічних умов шляхом створення автоматизованої системи управління потужністю енергоблоку в маневрених режимах. Всі українські АЕС з ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблоку на заданому рівні, хоча обладнання першого контуру допускає експлуатацію в режимах маневрування потужністю. Раніше були запропоновані нові алгоритми управління потужністю енергоблоку по компромісно-комбінованій програмі регулювання. Одним з елементів зазначеної системи регулювання є регулятор потужності, який впливає на реактор зміною концентрації рідкого поглинача. Таким чином, в статті розглядаються властивості зазначеного регулятора.

Ключові слова: нечеткий алгоритм управління, потужність, энергоблок.

D.V. DAVIDCHENKO, K.V. BEGLOV
Odessa National Polytechnic University

RESEARCH OF THE FUZZY-REGULATOR OF THE NPP POWER PLANT LOADING

In the power-grid of Ukraine there is disparity between making and consumption of electric energy during day's cycle, and total stake of settings, intended for adjusting of loading of grid very small, therefore actual is adaptation of operating power units NPP to the new specific terms by creation of automated control systems power of power unit in the maneuver modes. All Ukrainian NPP with WWER-1000 is exploited in the mode of stabilizing of power of power unit at set level, although the equipment of the first contour assumes exploitation in the modes of maneuvering power. The new algorithms of management power of power unit were before offered on the compromise-combined program of adjusting. One of elements of the indicated system of adjusting is a regulator of power, which affects reactor a change the concentration of liquid absorber. Thus, the article examines the properties of the controller.

It's known, that solution of boric acid is used as absorber for control of chane nuclear reaction. The results of researches of NPP unit with WWER-1000 in terms of the impact of changes in the concentration of liquid absorber to its power were shown in a many works. It is shown, for example, that reactor by control channel "the boric acid rate — the power of unit" is a nonlinear object. Nonlinearity is that the transmission coefficient and the time constant of the control object are different for different signs of the control action.

Another factor that must be considered when power's manoeuvring is iodine pit. This process leads to the temporary appearance of a large negative reactivity, which in turn makes it impossible for the output of the reactor on designed power during a particular period.

The fuzzy-logic controller was synthesized and research. The controller implements the standard PI - algorithm, but the regulator coefficients are calculated based on the fuzzy logic. Such algorithm of control allows changing the power of the NPP with a given quality of the transient process.

Keywords: fuzzy logic control algorithm, power, power unit.

Постановка проблемы

В плане действий на 2016 год Кабинетом Министров Украины было запланировано до 31 декабря ввести маневрирование энергоблоками атомных станций для суточного регулирования мощности объединенной энергосистемы [1]. В настоящее время мощность энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 регулируется с помощью органов регулирования системы управления и защиты ядерного реактора (ОРСУЗ). Однако последние исследования показывают, что с точки зрения надежной эксплуатации ТВЭЛов лучшим методом регулирования является изменение концентрации жидкого поглотителя в теплоносителе первого контура [2]. Однако пока система автоматического регулирования мощности энергоблока, с помощью которой можно провести суточное маневрирование мощностью, не реализована.

Анализ последних исследований и публикаций

В ряде работ были показаны результаты исследований энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 [3, 4, 5] с точки зрения влияния изменения концентрации жидкого поглотителя на его мощность. В качестве поглотителя используется раствор борной кислоты. Показано, например, что с точки зрения управления реактор по каналу "расход борной кислоты – концентрация борной кислоты" является нелинейным объектом. Нелинейность состоит в том, что статические и динамические свойства существенно отличаются друг от друга при изменении направления воздействия, т. е. при вводе борной кислоты и при её выводе [4].

Другой фактор, который необходимо учитывать при маневре мощностью – это йодная яма. Йодная яма, или ксеноновое отравление – состояние ядерного реактора после снижения его мощности, характеризующееся накоплением коротко живущего изотопа ксенона ^{135}Xe , с периодом полураспада 9,14 часа, образующегося в результате радиоактивного распада изотопа йода ^{135}I . Этот процесс приводит к временному появлению значительной отрицательной реактивности, что, в свою очередь, делает невозможным вывод реактора на проектную мощность в течение определённого периода.

С другой стороны, отравление ксеноном ^{135}Xe позволяет уменьшить мощность реактора "мягко", не нанося управляющее воздействие с помощью ОР СУЗ и, соответственно, не деформируя поле энерговыделения в активной зоне. В работе [6] была предложена так называемая "комбинированно-компромиссная программа регулирования". Эта программа регулирования основана на том факте, что длительность йодной ямы определяется периодом полураспада ^{135}Xe и позволяет уменьшать мощность реактора во время ночного минимума нагрузки. Таким образом, если наносить управляющее воздействие по определённому закону, то можно добиться дополнительного снижения мощности за счет отравления ксеноном. В [7] была синтезирована каскадная АСР мощности, учитывающая нелинейные свойства изменения концентрации борной кислоты.

График изменения электрической мощности энергоблока при регулировании каскадным регулятором показан на рис. 1. Как видно из рисунка, разработанная АСР не в полной мере обеспечивает заданное качество переходных процессов. Это объясняется влиянием нелинейных свойств активной зоны реактора, а именно, эффекта "йодной ямы".

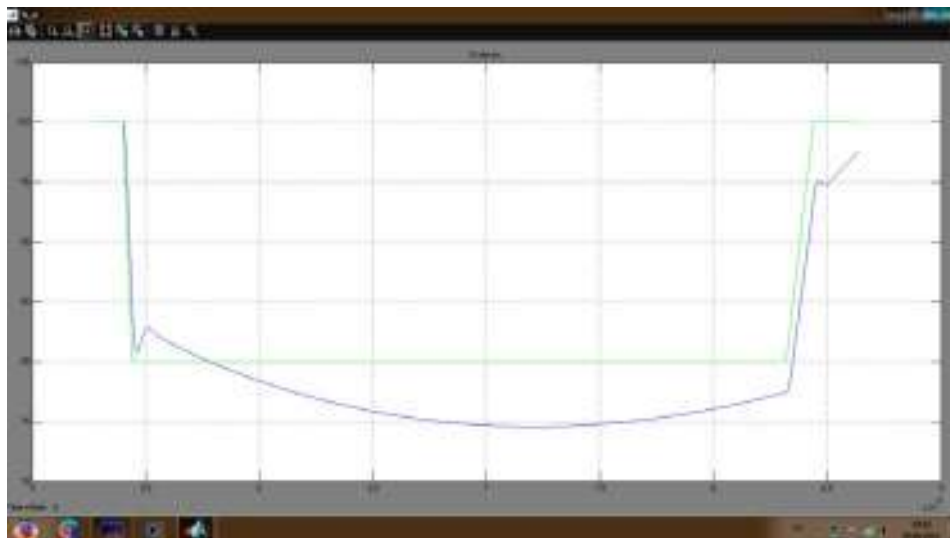


Рис. 1. График изменения электрической мощности по заданной программе
1 – задание на изменение мощности; 2 – изменение электрической мощности энергоблока

Цель исследования

Целью работы является синтез регулятора мощности энергоблока, учитывающего физические свойства реактора, а именно такое явление, как "йодная яма".

Изложение основного материала исследования

В процессе синтеза АСР мощности энергоблока при изменении концентрации жидкого поглотителя было принято решение изменить алгоритм выработки управляющего воздействия. Так как применение традиционных алгоритмов не позволяет достичь требуемого качества, было принято решение синтезировать нечеткий регулятор. Принята к реализации схема регулирования, показанная на рис. 2.

Моделирование проводилось в среде Simulink пакета MatLab.

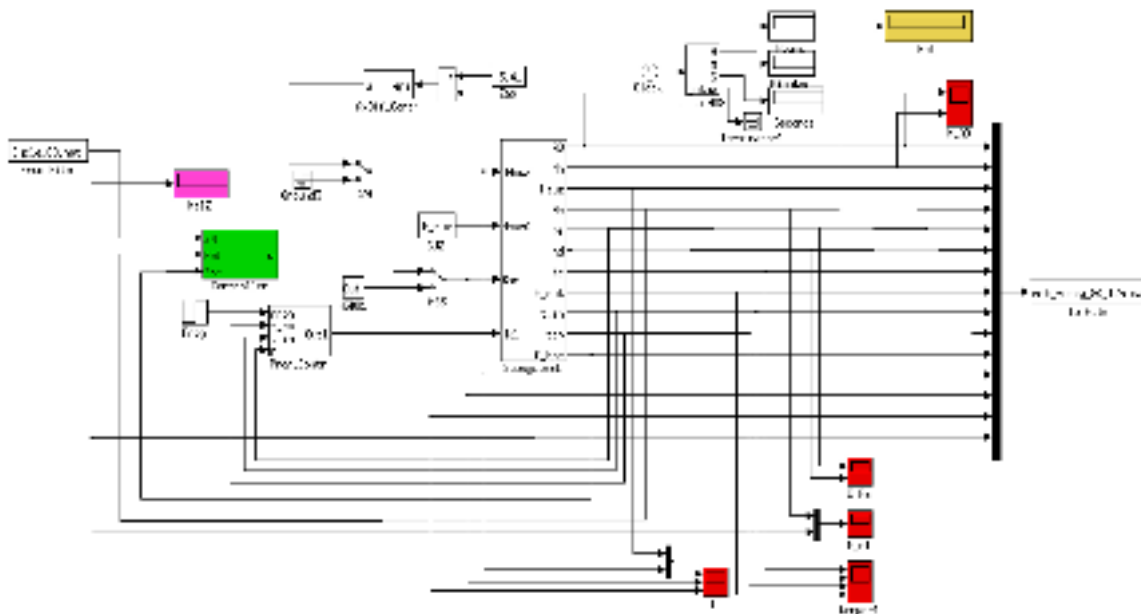


Рис. 2. Схема моделирования АСР мощности энергоблока.

На рисунке приняты следующие обозначения:

Subsystem1 — субблок, описывающий модель энергоблока АЭС;

AxOff_Contr — регулятор аксиального офсета;

Controller — регулятор мощности энергоблока;

Prog_Contr — программный регулятор;

Z_N — задатчик регулятора нейтронной мощности;

Z_AO — задатчик регулятора аксиального офсета;

Z_Bor — задатчик регулятора концентрации борной кислоты;

From File — программа изменения мощности энергоблока;

SUZ — начальное положение ОР СУЗ;

Prog — номер программы регулирования: 1 — поддержание средней температуры теплоносителя, 2 — поддержание температуры теплоносителя на входе в реактор; 3 — поддержание давления пара перед турбиной.

Блоки с правого края рисунка служат для вывода графиков.

В блоке Controller реализован нечеткий ПИ-регулятор. Схема для проведения имитационного моделирования в среде Simulink пакета Matlab, показанная на рис. 3.

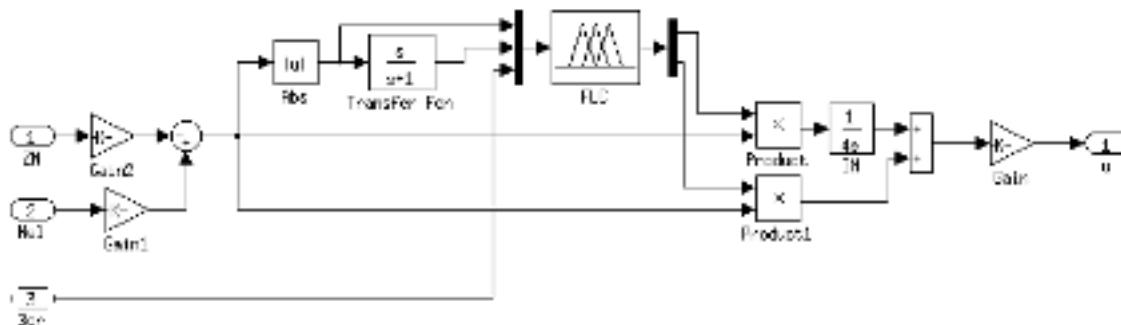


Рис. 3. Схема моделирования нечеткого ПИ-регулятора.

АСР с нечетким ПИ-регулятором состоит из блоков расчета коэффициентов регулятора и блоков формирования ПИ-закона регулирования.

Значения коэффициентов нечеткого регулятора рассчитываются по правилам нечеткой логики на основании анализа сигнала рассогласования. На блок FLC (Fuzzy Logic Controller) подается абсолютное значение сигнала рассогласования, скорость его изменения и значение концентрации борной кислоты. Выходом блока являются значения настройки K_p и K_i .

На основании исследований ПИ-регулятора [8] было принято, что сигнал рассогласования меняется в диапазоне от -6 до +6 % мощности. Скорость изменения сигнала рассогласования также меняется в диапазоне от 0 до 0.02 %/с. Причем приняты следующие термы: «малый сигнал» от 0 до 2 %, «средний сигнал» от 2 до 4 % с максимумом при 3, «большой сигнал» от 4 до 6 и более % мощности.

Функции принадлежности (показаны на рис. 4 и 5).

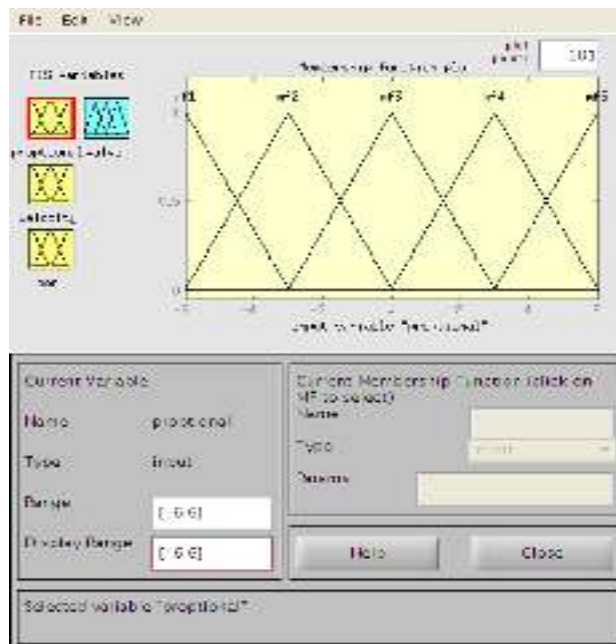


Рис. 4. Функции принадлежности для величины сигнала рассогласования.

Для скорости изменения сигнала были приняты следующие термы: "высокая скорость" от 0,01 до 0,02 и более %/с, "средняя скорость" от 0 до 0,02 с максимумом при 0,01 %/с, "малая скорость" от 0 до 0,01 %/с. Для концентрации борной кислоты приняты следующие термы "малый сигнал" от 0 до 2 г/л, "средний сигнал" от 2 до 4 г/л с максимумом при 3, "большой сигнал" от 4 до 6 и более г/л.

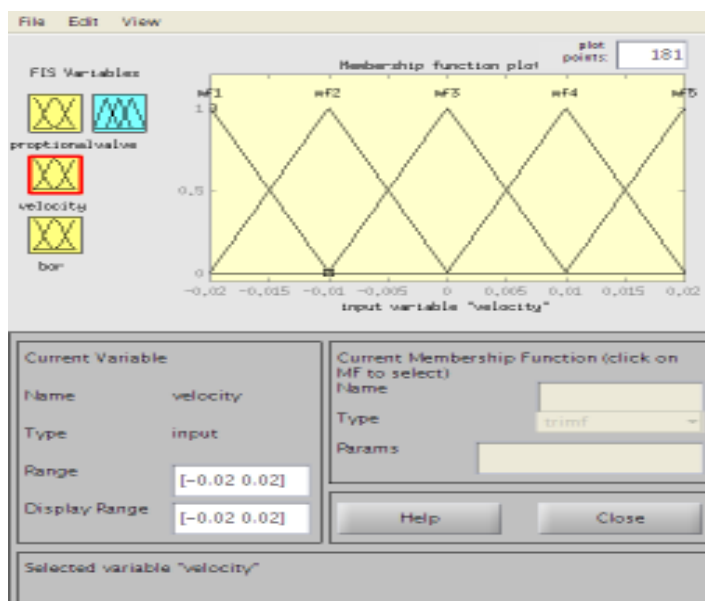


Рис. 5. Функции принадлежности скорости изменения сигнала рассогласования.

Выводы

После синтеза АСР было проведена серия модельных экспериментов по манёвру мощностью. А именно проводилось снижение электрической мощности реактора со 100% до 90%, 85% и 80%, выдержка на сниженной мощности в течение 8 часов и подъем до 100%. Графики изменения мощности показаны на рис. 6.

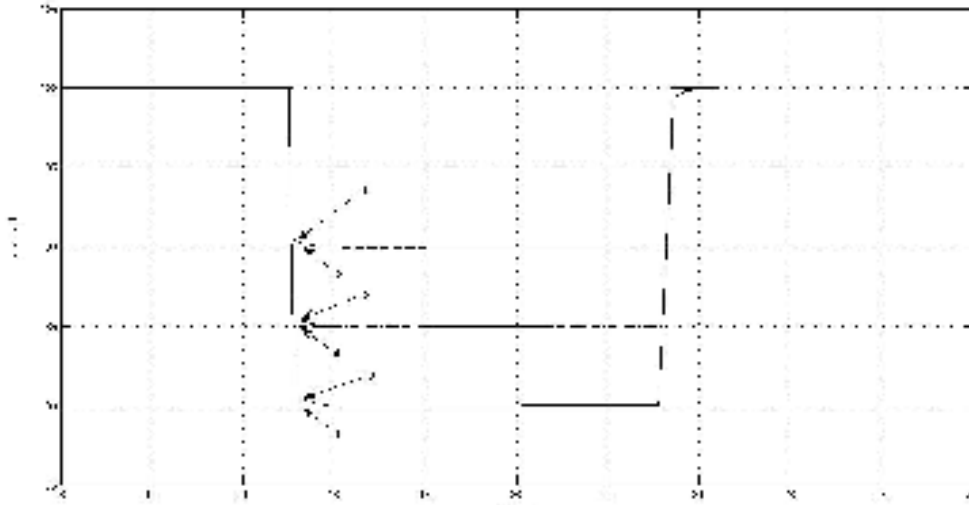


Рис. 6. График изменения электрической мощности.

На рисунке приняты следующие обозначения:

- 1 – Изменение мощности при задании 90%;
- 2 – Задание на изменение мощности до 90 %;
- 3 – Изменение мощности при задании 85%;
- 4 – Задание на изменение мощности до 85 %;
- 5 – Изменение мощности при задании 80%;
- 6 – Задание на изменение мощности до 80 %.

Как видно из рис. 6, электрическая мощность снижалась в соответствии с задающим значением и без статической ошибки. Отставание в изменении наблюдается при переходе от периода снижения мощности к периоду поддержания её сниженного значения.

Список использованной литературы

1. Энергетична стратегія України на період до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145.
2. Pelykh S.N. Cladding Rupture Life Control Methods for a Power-Cycling WWER-1000 Nuclear Unit / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov // Nuclear Engineering and Design. – 2011. – Vol. 241. – № 8. – P. 2956-2963.
3. Maksimov M.V. A Model of a Power Unit with WWER-1000 as an Object of Power Control / M.V. Maksimov, K.V. Beglov, T.A. Tsiselskaya // Works of the Odessa Polytechnic University. – Odessa, 2012. – Rel. 1(38). – P. 104-106.
4. Медведєв Р.Б. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000 / Р.Б. Медведєв, О.В. Сангінова // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2002. – № 2 (22). – С. 22-29.
5. Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов / Б.А. Дементьев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
6. Плахотнюк, А.А. Моделирование изменения структуры технических средств автоматизации при работе АЭС с ВВЭР-1000 в маневренном режиме / А.А. Плахотнюк, Е.А. Кокол, М.В. Максимов // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2015. – Т. 7. – № 4. – С. 64-71.
7. Давидченко Д.В. Исследование каскадной автоматизированной системы регулирования мощности энергоблока атомной электростанции / Д.В. Давидченко, К.В. Беглов, Е.И. Чмелев // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2018. – Т. 29 (68). Ч. 1 – №1. – С. 137-142.
8. Беглов К.В. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС / К.В. Беглов, О.О. Волошкіна, О.А. Плахотнюк // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2015. – № 4. – С. 18-24.