

Для проведения корректировки и проверки назначаемого лечения при инфаркте миокарда необходимо использовать нечеткую продукционную базу правил вновь с поступлением проведенных контрольных анализов крови и электрокардиограммы.

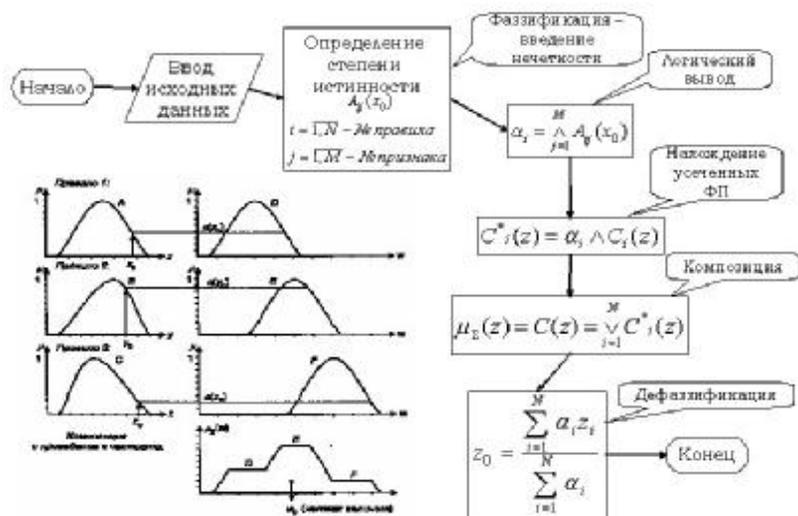


Рис. 2. Алгоритм использования НПБП

**Выводы.** Исходя из особенностей НПБП, можно заключить, что ее использование при построении системы управления медицинским процессами лечения сердечно-сосудистой системы пациента, поможет сделать выбор при назначении коррективного лечения, а также для увеличения эффективности работы врачей-кардиологов, снизив временные затраты на идентификацию состояния пациента. При этом использование традиционной базы правил не позволяет легко выводить стратегию лечения пациента. Стратегия лечения должна быть либо введена непосредственно в базу правил в виде дополнительного набора ЛП, усложняя базу правил в несколько раз, либо задаваться отдельно в виде простых таблиц соответствия состояний ССС принимаемым препаратам, как было предложено в данной работе.

**Список литературы:** 1. Мельник К.В., Голоскоков А.Е. Синтез продукционной системы диагностирования состояния пациента // Материалы всеукраинской научно-практической конференции «Системный анализ и управление «Дни науки - 2007». Том 3. – Запорожье, 2007. – С.175-176. 2. Мельник К.В., Голоскоков А.Е. Система управления лечением пациента, основанная на нечеткой продукционной базе правил // Материалы международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». Том 1. – Одесса, 2008. – С.59.

Поступила в редколлегию 05.03.08

**В. П. СЕВЕРИН**, д-р техн. наук,  
**С. М. ДЖАФАРИ**, аспирант НТУ «ХПИ»

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ЯДЕРНЫМ РЕАКТОРОМ

В статті розглядаються задачі управління реактором, зв'язані з різними значеннями реактивності при різних режимах роботи реактора, і проводиться математичне моделювання систем автоматичного управління реакторного обладнання з різними типами регулятора. Розроблені лінійні й нелінійні моделі систем управління нейтронною потужністю ядерного реактора з різною кількістю груп запізнюючих нейтронів. Приведені результати оптимізації прямих показників якості систем управління нейтронною потужністю ядерного реактора.

В статье рассматриваются задачи управления реактором, связанные с различными значениями реактивности при разных режимах работы реактора, и проводится математическое моделирование систем автоматического управления реакторного оборудования с различными типами регуляторов. Разработаны линейные и нелинейные модели систем управления нейтронной мощностью ядерного реактора с различным числом групп запаздывающих нейтронів. Приведены результаты оптимизации прямых показателей качества систем управления нейтронной мощностью ядерного реактора.

The tasks of reactor control are considered in the article, related to the different values of reactivity at the different modes of reactor operations, and the mathematical design of the automatic control of reactor equipment systems is conducted with the different types of regulators. The linear and nonlinear models of the neutron power control systems of nuclear reactor are developed with the different groups number of late neutrons. The results of direct indexes quality optimization of the neutron power control systems of nuclear reactor are resulted.

**Введение.** Сложность решения задач по управлению и защите энергетического ядерного реактора, существенно зависит от активной зоны реактора, которая имеет сложную структуру. На нейтронно-кинетические процессы влияют теплофизические и гидродинамические процессы, происходящие в теплоносителе и замедлителе [1].

Целью статьи является математическое моделирование систем автоматического управления нейтронной мощностью реактора ВВЭР в пространстве состояний с различными законами управления и оптимизация показателей качества систем управления реактором.

**Особенности управления реактором.** Система автоматического управления мощностью ядерного реактора (САУМ ЯР) включает реактор, датчик плотности потока нейтронов, регулятор мощности (РМ) и привод поглощающих стержней, а система управления и защиты реактора состоит из системы регулирования мощности, системы компенсации реактивности, системы аварийной защиты реактора, а также из пусковой системы [2].

В режиме «Н» САУМ поддерживает постоянную нейтронную мощность в диапазоне от 3% до 120% ее номинального значения по уставке мощности  $v_s$ . Возможен сигнал на РМ с регулятора давления или с регулятора тепловой мощности, определяемой температурой теплоносителя. САУМ должна обеспечивать высокое качество управления во всех режимах.

В водо-водяных реакторах мощностной и температурный коэффициенты реактивности отрицательны. И это создает дополнительные возможности управления реактором [3]. Нейтронная и тепловая мощности реактора увеличиваются путем снижения средней температуры теплоносителя в первом контуре.

При режиме работы реактора, когда реактивность равна нулю и реактор находится в динамическом равновесии, его работа поддерживается запаздывающими нейтронами, а по отношению к мгновенным нейтронам он находится в подкритическом состоянии. При малых значениях реактивности период реактора не зависит от времени жизни нейтронов и от типа реактора. При достаточно больших значениях реактивности, приближающихся к величине доли запаздывающих нейтронов  $\beta$ , период реактора существенно зависит от времени жизни мгновенных нейтронов и от типа реактора: период реактора на быстрых нейтронах меньше, чем у реактора на тепловых нейтронах [4]. Поэтому допустимые значения избыточной реактивности для быстрых реакторов должны быть меньшими, чем для тепловых.

Границей рассматриваемых типов режимов является значение  $\rho=\beta$ , при котором реактор оказывается в критическом состоянии по отношению к мгновенным нейтронам. Учитывая большое значение случая с  $\rho=\beta$  для управления реактором, нередко величину  $\rho=\beta$  принимают за единицу изменения реактивности. При  $\rho>\beta$  реактор оказывается в надкритическом состоянии по отношению к мгновенным нейтронам. Одно из требований к системе управления и защиты реакторов состоит в том, чтобы ни в какой момент эксплуатации реактора не было допущено положительных значений реактивности, больших  $\beta$  [5].

Для определения изменения потока нейтронов при меньшей нуля реактивности, выводящем реактор в подкритическое состояние, в процессе изменения потока нейтронов можно выделить 2 этапа. Снижение мощности реактора на первом этапе играет чрезвычайно важную роль при его быстрой аварийной остановке, когда идет разгрузка реактора при срабатывании аварийной защиты. Период разгрузки на первом этапе обусловлен мгновенными нейтронами, поэтому по времени он короче второго этапа, где скорость разгрузки реактора происходит под влиянием запаздывающих нейтронов.

Ускорение второго этапа невозможно, так как процес деления ядер горячего после срабатывания аварийной защиты длительное время сохраняется на достаточно высоком уровне, что требует дополнительного

отвода теплоты при аварийном расхолаживании реактора. Длительность процесса остановки реактора определяется группой запаздывающих нейтронов, имеющих наименьшую постоянную радиоактивного распада и наибольший период. Процесс остановки реактора, когда необходим отвод теплоты, будет продолжаться несколько минут, а в отдельных случаях – десятки минут. Учтем эти особенности при моделировании реактора.

**Модели ядерного реактора.** Разработаны нелинейные и линейные модели нейтронной кинетики реактора с одной, двумя и шестью группами запаздывающих нейтронов (ЗН) вида:

$$dX_K/dt = f_K(X_K, \rho), \quad dX_K/dt = A_K X_K + B_K \rho, \quad v = C_K X_K, \quad (1)$$

где вектор  $X_K$  включает относительные координаты нейтронной мощности  $v$  и концентраций групп ЗН,  $\rho = \rho_d - \alpha_q v - \rho_t$  — приведенная к суммарной доле ЗН реактивность,  $\rho_d$  — вызванная перемещением поглощающего стержня реактивность,  $\alpha_q$  — мощностной коэффициент реактивности,  $\rho_t$  — температурная реактивность, определяемая моделью тепловых процессов в активной зоне:

$$dX_T/dt = f_T(X_T, v), \quad f_T(X_T, v) = A_T X_T + B_T v, \quad \rho_t = C_T X_T. \quad (2)$$

Вектор  $X_T$  включает температуры топлива, оболочки твэла и теплоносителя. По моделям (1) и (2) получены модели реактора как объекта управления:

$$dX_R/dt = f_R(X_R, \rho_d), \quad dX_R/dt = A_R X_R + B_R \rho_d, \quad v = C_R X_R, \quad C_R = (C_K \quad 0), \quad (3)$$

$$X_R = \begin{pmatrix} X_K \\ X_T \end{pmatrix}, \quad f_R(X_R, \rho_d) = \begin{pmatrix} f_K(X_K, \rho_d - \alpha_q v - C_T X_T) \\ f_T(X_T, v) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$A_R = \begin{pmatrix} A_K - B_K \alpha_q C_K & -B_K C_T \\ B_T C_K & A_T \end{pmatrix}, \quad B_R = \begin{pmatrix} B_K \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

**Модели систем управления ядерным реактором.** Для оптимизации параметров регуляторов на основании моделей (3)–(5), сигнала ошибки  $\varepsilon = v_s - v$ , формирующих управление  $u$  уравнений регуляторов, уравнения исполнительного механизма  $d\rho_d/dt = a_{dd}\rho_d + b_{du}u$  разработаны модели САУМ с различными регуляторами мощности:

$$dX_N/dt = f_N(X_N, v_s), \quad dX_N/dt = A_N X_N + B_N v_s, \quad v = C_N X_N.$$

Для модели с пропорционально-интегральным регулятором мощности

$$X_N = \begin{pmatrix} X_R \\ \rho_d \\ u_I \end{pmatrix}, f_N(X_N, v_s) = \begin{pmatrix} f_R(X_R, \rho_d) \\ a_{dd}\rho_d + b_{du}[K_P(v_s - v) + u_I] \\ \lambda_I(v_s - v) \end{pmatrix},$$

$$A_N = \begin{pmatrix} A_R & B_R & 0 \\ -b_{du}K_P C_R & a_{dd} & b_{du} \\ -\lambda_I C_R & 0 & 0 \end{pmatrix}, B_N = \begin{pmatrix} 0 \\ b_{du}K_P \\ \lambda_I \end{pmatrix}, C_N = (C_R \ 0 \ 0),$$

где  $K_p$  и  $\lambda_I$  — переменные параметры регулятора мощности.

Нейтронно-кинетические процессы в различных частях активной зоны реактора существенно различаются, выгорание топлива и обогащение топлива в разных точках активной зоны происходит по-разному. Вследствие этого необходимо общую систему управления мощностью реактора дополнять локальными подсистемами управления мощностью в определенных точках активной зоны.

**Оптимизация показателей качества.** По конструктивным и технологическим параметрам реактора ВВЭР вычислены значения параметров его моделей. Для оптимизации показателей качества систем управления мощностью реактора сформирован вектор  $x \in R^p$  из параметров РМ  $K_p$ ,  $\lambda_I$ ,  $\lambda_D$  и наложены на значения переменных параметров двусторонние ограничения с границами  $a_i = 0$  и  $b_i = 100$ ,  $i = \overline{1, p}$ . Линейные и нелинейные модели систем управления выражены через  $x$ . Для получения в моделях при входном задающем воздействии  $v_s = 1(t)$  монотонных переходных процессов с минимальным временем регулирования заданы предельные значения перерегулирования  $\sigma_m = 0$  и показателя колебательности  $\zeta_m = 0$ , параметр зоны установившегося значения  $\delta_z = 0,05$ . Оптимизированы системы управления мощностью с разными типами регуляторов.

Получены оптимальные значения параметров регулятора  $K_p^*$ ,  $\lambda_I^*$ ,  $\lambda_D^*$  и времени регулирования  $t_c^*$ . При оптимальных значениях параметров П и ПД регуляторов статическая ошибка превосходит 10%. И и ИД регуляторы приводят к большому значению времени регулирования. ПИ и ПИД регуляторы имеют одинаковую эффективность.

На рис. 1, 2 представлен процесс оптимизации прямых показателей качества (ППК) для САУМ с ПИ регулятором. На графиках составляющих  $F_1(x)$  и  $F_2(x)$  векторной функции варьируемых параметров  $x_1 = K_p$  и  $x_2 = \lambda_I$  показана траектория поиска.

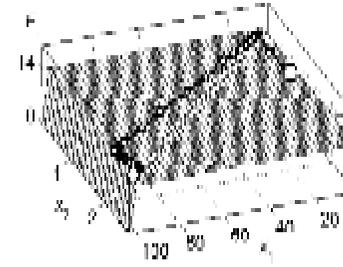


Рис. 1. Оптимизация САУМ на  $F_1$

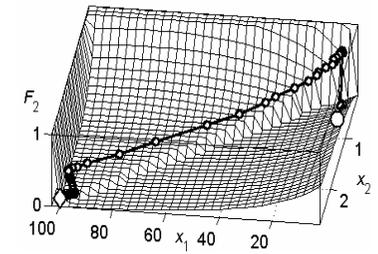


Рис. 2. Оптимизация САУМ на  $F_2$

В пределах траектории лучших точек функция уровня  $F_1(x)$  на рис. 1 принимает значения 12 и 14, которым соответствуют процессы с перерегулированием и монотонные процессы. График функции штрафа  $F_2(x)$  на рис. 2 состоит из графиков функций перерегулирования  $\sigma(x)$  и времени регулирования  $\tau(x)$ . Анализ графиков позволяет заключить, что в результате оптимизации найдена оптимальная точка, которой отвечает монотонный процесс с минимальным временем регулирования.

Для ПИ регулятора оптимальный по быстродействию процесс обеспечивается на верхней границе параметра  $K_p$ . При различных значениях  $b_i$  и времени интегрирования  $T_f$  найдены оптимальные значения  $K_p^*$ ,  $\lambda_I^*$ ,  $t_c^*$ . Значение  $K_p^*$  достигает верхнего предела, его уменьшение уменьшает  $\lambda_I^*$  и увеличивает  $t_c^*$ . На рис. 3 представлены оптимальные процессы изменения мощности линейными САУМ с ПИ регулятором.

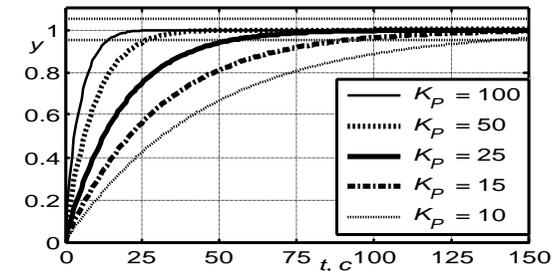


Рис. 3. Изменение мощности

Для оптимизации ППК нелинейных моделей с ПИ регулятором при различных уставках мощности  $n_s$  определено  $y(x, t) = v(x, t)/v_s$ . В табл. 1

для значений  $v_s$ ,  $b_i = 25$ ,  $T_f = 200$  с,  $K_p^* = 25$  даны оптимальные значения  $\lambda_l^*$  и  $t_c^*$ : уменьшение  $v_s$  уменьшает  $\lambda_l^*$  и увеличивает  $t_c^*$ .

Таблица 1

Результаты оптимизации нелинейной САУМ

$v_s$	$\lambda_l^*$	$t_c^*$ , с	$v_s$	$\lambda_l^*$	$t_c^*$ , с
0,10	0,673	53,4	-0,20	0,659	54,7
0,05	0,671	53,6	-0,50	0,631	58,1
-0,05	0,667	53,9	-0,75	0,573	67,9
-0,10	0,664	54,2	-0,90	0,494	88,8

Оптимизация ППК моделей САУМ со значениями параметров, зависящих от номера кампании активной зоны и ее периода, показала, что оптимальное значение  $\lambda_l^*$  возрастает с увеличением периода кампании, а от номера загрузки оно зависит незначительно. Для сохранения высокого качества процессов управления мощностью значения параметров ПИ регулятора  $K_p^*$  и  $\lambda_l^*$ , оптимальные для начала кампании, с течением кампании следует увеличивать.

**Выводы.** Данные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Сложность управления реактором в период обычной эксплуатации состоит в том, что реактор является нелинейным объектом управления, процессы в котором различны при различных величинах и знаках изменения реактивности.

2. Разработаны математические модели ядерного реактора ВВЭР-1000 и его САУМ с различными типами регуляторов мощности в пространстве состояний.

3. Оптимизированы ППК САУМ реактора с различными типами регуляторов, что показало наибольшую эффективность ПИ регулятора.

4. Целесообразно использовать методы оптимизации систем управления для повышения эффективности работы реактора.

**Список литературы:** 1. Иванов В. А. Регулирование энергоблоков. – Л.: Машиностроение, 1982. – 310 с. 2. Емельянов И. Я., Восковойников В. В., Масленок Б. А. Основы проектирования механизмов управления ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1978. – 272 с. 3. Шальман М. П., Плотинский В. И. Контроль и управление на атомных электростанциях. – М.: Энергия, 1979. – 272 с. 4. Дементьев Б. А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1973. – 292 с. 5. Емельянов И. Я., Гаврилов П. А., Селиверстов Б. П. Управление и безопасность ядерных энергетических реакторов. – М.: Атомиздат, 1975. – 280 с.

Поступила в редколлегию 30.05.08

**А. Е. ГОЛОСКОКОВ**, канд. техн. наук,  
**М. В. САВИЧ**, аспирант НТУ «ХПИ»

## ЗАДАЧА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА С ОБОСТРЕНИЕМ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ

В статті розглянута проблема діагностування хворої дитини з загостренням бронхіальної астми. Проведено аналіз ситуації стосовно розповсюдження пульмонологічних захворювань серед населення країни. Виконана постановка задачі діагностування і розглянуто проблему створення системи підтримки прийняття рішень.

В статье рассмотрена проблема диагностирования больного ребенка с обострением бронхиальной астмы. Проведен анализ ситуации относительно распространения пульмонологических заболеваний среди населения страны. Выполнена постановка задачи диагностирования и рассмотрена проблема создания системы поддержки принятия решений.

In the article the problem of diagnosing of sick child is considered with intensifying of bronchial asthma. The analysis of situation is conducted in relation to distribution of pulmonologic diseases among the population of country. Raising of task of diagnosing is executed and the problem of creation of the system of support of making a decision is considered.

**Введение.** В настоящее время в связи с ухудшающейся экологической обстановкой вопросы создания эффективной системы здравоохранения становятся все более актуальными. Наблюдается неуклонный рост различных патологий иммунной системы, хронических заболеваний бронхо-легочной системы, органов пищеварения, мочевыводящих путей и заболеваний щитовидной железы. В связи с вышеперечисленным возникает острая необходимость в разработке ряда мер по раннему выявлению и диагностике заболеваний для предотвращения перехода их в хроническую форму.

Одним из наиболее частых хронических заболеваний бронхо-легочной системы в детском возрасте является заболевание бронхиальной астмой. Число больных неуклонно растет. В Украине, по данным официальной статистики, распространенность астмы за последние десятилетия увеличилась в 1,6 раза [1, 2]. В Киеве этот показатель ежегодно возрастает на 5-8%. Таким образом, заболевание бронхиальной астмой у детей является актуальной проблемой, требующей продуманного комплексного подхода к своевременному диагностированию и адекватному лечению.

**Постановка задачи.** Лечение больного с обострением бронхиальной астмой является сложной многоступенчатой задачей. Необходимо быстро и адекватно оценить состояние пациента и принять решение о лечении амбулаторном или стационарном. Когда речь идет о приступе бронхиальной астмы у ребенка, клиническая картина может быть размытой, а также возникают проблемы, связанные с дифференциацией данного заболевания. К сожалению даже опытный врач может допустить ошибки в постановке