

# Анализ реакторной установки как объекта контроля и управления

А. Л. Ляшенко

Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения (ГУАП)  
akuna\_matata\_kmv@mail.ru

**Аннотация.** В статье проведен анализ реакторной установки Ленинградской атомной электростанции (АЭС). Рассмотрено устройство контура многократной принудительной циркуляции и технологические процессы, протекающие в активной зоне реактора. Полученные результаты легли в основу выбора типов математических моделей и форм их представления, а также позволили определить программные средства, которые будут применяться при исследовании систем управления.

**Ключевые слова:** системный анализ; контроль; реактор; тепловая энергия; теплообмен; уравнение теплопроводности; расчет теплового потока; управление

## I. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из важнейших составляющей экономики является топливно-энергетический комплекс (ТЭК), который оказывает существенное влияние на формирование бюджета страны. И при этом необходимо учитывать, что основной частью ТЭК является электроэнергетика.

Успех работы ТЭК во многом зависит от качества функционирования электростанций, надежность которых обеспечивается системами контроля и управления. Разработка данных систем требует детального понимания технологических процессов, реализуемых на объекте.

В работе рассмотрены технологические процессы, протекающие в активной зоне реакторной установки РБМК-1000.

## II. АНАЛИЗ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Рассматриваемая АЭС является высокотехнологичным комплексом сложного оборудования, в котором атомная энергия преобразуется в электрическую. В качестве одного из основных

элементов на АЭС выступает реактор, центральной частью которого является активная зона.

В процессе цепной реакции выделяется огромное количество тепла, которое передается теплоносителю. Происходит это в технологических каналах (ТК). Полученный в процессе кипения пар поступает в турбину [1].

В состав исследуемой реакторной установки входит две петли контура многократной принудительной циркуляции (КМПЦ).

Каждая петля включает в свой состав четыре циркуляционных насоса, которые прокачивают воду через ТК. В процессе протекания через ТК вода нагревается до температуры кипения. На выходе технологических каналов образуется пароводяная смесь. Полученная субстанция поступает в барабаны-сепараторы, где осуществляется разделение на насыщенный сухой пар, подающийся на два генератора и на воду, которая передается обратно в ТК [2].

При исследовании реакторной установки применим метод декомпозиции системы на подсистемы, моделирование которых является более простым [3]. Процесс декомпозиции производится до получения моделей нулевого иерархического уровня.

Схема иерархической модели реактора РБМК-1000, на которой особое внимание уделяется модели активной зоны, изображена на рис. 1.

Модели самого объекта и его составных частей рассматриваются как многомерные подсистемы, это отображает информационно-алгоритмический подход, принятый в теории автоматического управления, а также дает возможность применения различных программных средств моделирования [4].

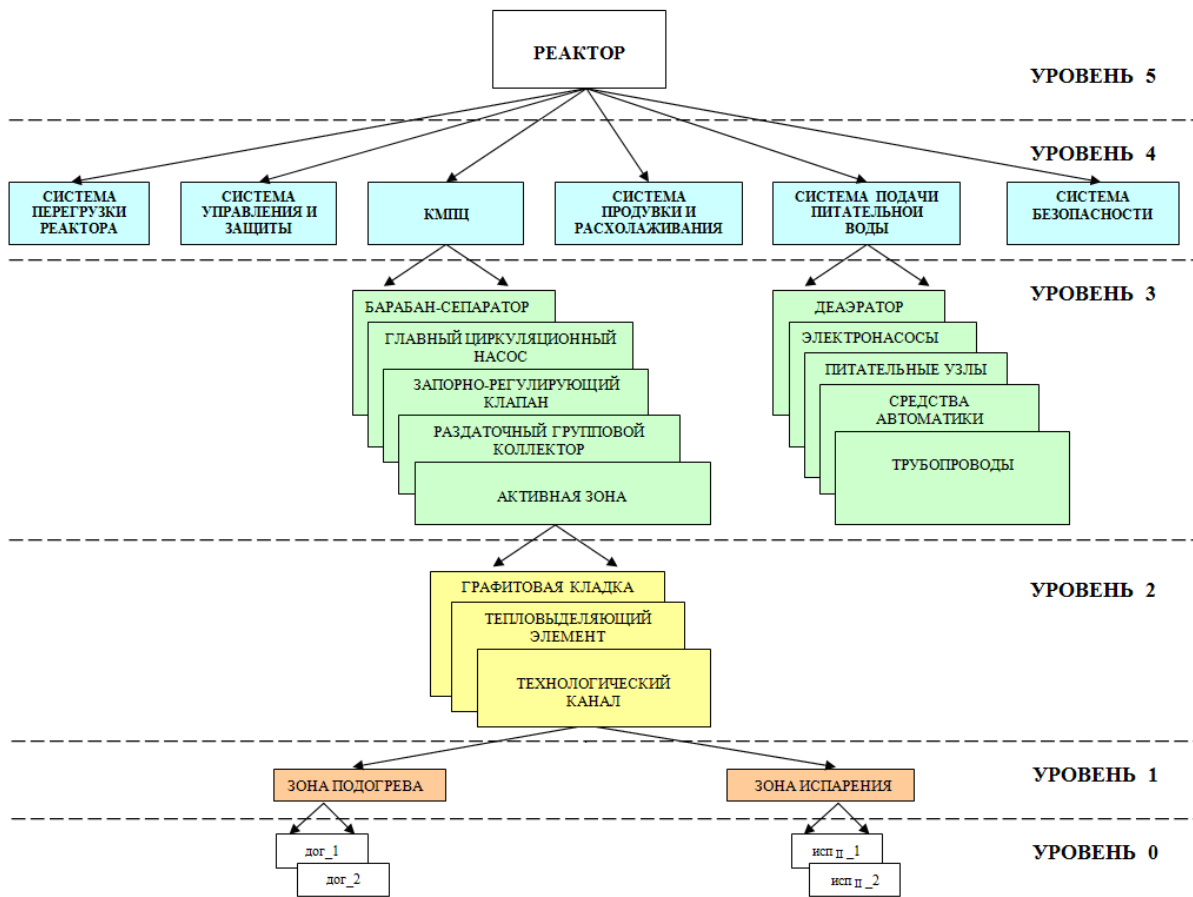


Рис. 1. Иерархическая структура модели реактора РБМК-1000

В данной структуре отдельно рассмотрим КМЩ, упрощённая схема которого представлена на рис. 2. Основываясь на представленной схеме, составим структуру модели КМЩ (рис. 3) и с её помощью составим модели для каждого элемента, входящего в состав КМЩ.

Структура соединений в форме блок-графа изображена на рис. 3

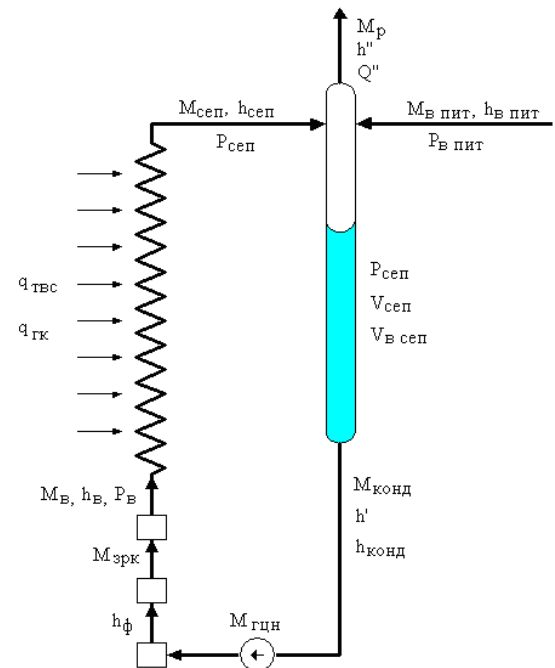


Рис. 2. Упрощённая схема КМЩ

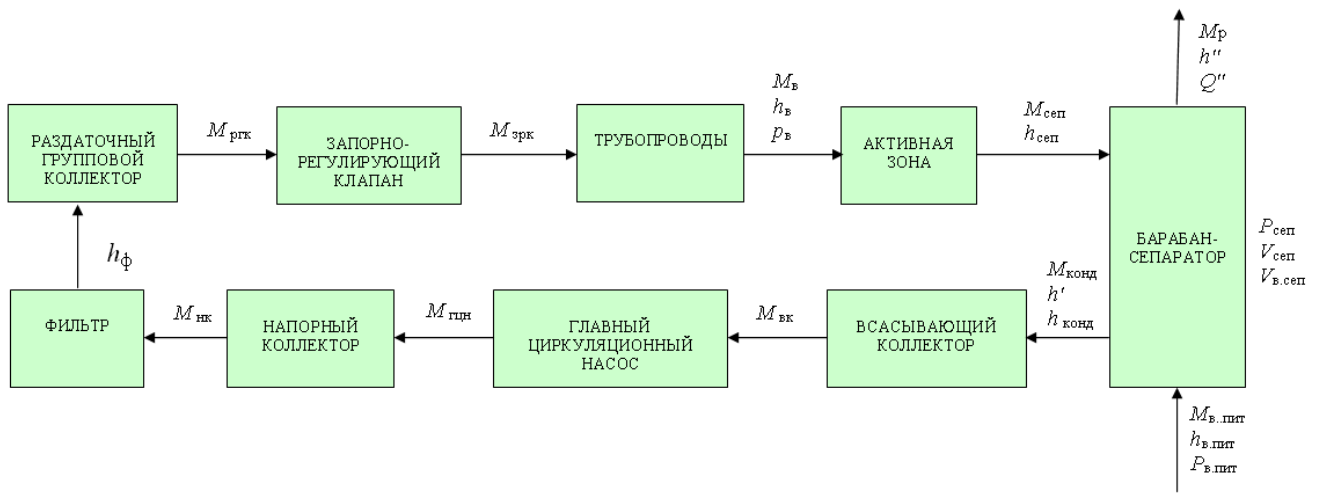


Рис. 3. Структура модели КМПЦ

Применяя метод перечисления векторов входа и выхода, а также определения операторов, описывающих данные системы можно описывать отдельно взятые подсистемы модели КМПЦ:

#### Активная зона

$$[M_{сеп} \ h_{сеп} \ P_{сеп}]^T = \text{КМПЦ.активная зона} ([M_{в} \ q_{гвс} \ q_{гк} \ h_{в} \ P_{в}]^T);$$

#### Соединительные трубопроводы

$$h_{в} = \text{КМПЦ.трубопроводы}(h_{ф});$$

#### Фильтр

$$h_{ф} = \text{КМПЦ.фильтр}(M_{гцн} \ h^*_{сеп});$$

#### Главный циркуляционный насос

$$M_{гцн} = \text{КМПЦ.насос} ([P_{сеп} \ h' \ M_{конд}]^T);$$

#### Барабан-сепаратор

$$[h' \ h'' \ P_{сеп}]^T = \text{КМПЦ.барабан-сепаратор} ([M_{пит} \ M_{сеп} \ h_{сеп} \ h_{в.пит} \ P_{пит} \ P_{в}]^T).$$

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение конструкции энергетической установки и последующие исследование протекающих в ней процессов с применением методов системного анализа даёт возможность более точно составить математические модели, выбрать тип и формы их представления, и определить программное обеспечение, которое будет применяться при моделировании и расчете системы управления.

С помощью рассмотренного в работе метода декомпозиции были получены иерархические структуры моделей активной зоны и КМПЦ в целом, что позволило построить математические модели с высокой точностью отображающие тепловые процессы, протекающие в оборудовании. Адекватность полученных моделей проверялась путём сравнения результатов, полученных в процессе численного эксперимента, с результатами, полученными от информационно-управляющей системы Скала-микро, установленной на реальном объекте. Разработанные модели позволили произвести расчет настроек распределенного регулятора и произвести синтез системы управления.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки цифрового двойника рассматриваемой энергетической установки с целью прогнозирования функционирования объекта при различных нештатных ситуациях и подготовки персонала к работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Абрамов М.А. Канальный ядерный энергетический реактор РБМК / М.А. Абрамов, В.И. Авдеев, Е.О. Адамов. Под общей редакцией Ю.М.Черкашова. М.ГУП НИКИЭТ, 2006. 632с.
- [2] Крючков В.П., Андреев Е.А., Хренников Н.Н. Физика реакторов для персонала АЭС с ВВЭР и РБМК. М.: Энергоатомиздат, 2006. 288 с.
- [3] Чернышов В.Н. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. 96 с.
- [4] Маторин С.И. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие / С.И. Маторин., О.А. Зимовец. Белгород: Изд-во НИУ «БелГУ», 2012. 288 с.