

УДК 62.52

А.Н. Рыбалев, В.Р. Сеницын, А.Н. Поддубнова

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОАГРЕГАТА**

*В статье описываются промежуточные итоги разработки имитационной модели системы регулирования частоты, напряжения, активной и реактивной мощностей гидроагрегата.*

*Ключевые слова: гидроагрегат, модель, имитация, регулирование, автоматизация, управление.*

**Введение**

В [1, 2] рассмотрена концепция и приведены примеры имитационных моделей различных систем автоматизации и управления, разработанных на кафедре автоматизации технологических процессов и электротехники Амурского государственного университета в течение последних нескольких лет.

В 2018-2019 гг. одним из объектов исследований стала система управления гидроагрегатом (совокупность гидравлической турбины и электрического генератора). Выбор объекта был продиктован, в частности, желанием использовать результаты разработки в учебных целях, в качестве демонстрационного материала к курсу «Автоматизация технологических процессов и производств», в котором данная система рассматривается.

В [3] приведены результаты предварительных исследований, касающихся в основном модели синхронного генератора, которая в дальнейшем легла в основу системы.

В этой статье описан действующий прототип имитационной модели системы регулирования частоты, напряжения, активной и реактивной мощностей гидроагрегата, являющийся промежуточным результатом разработки.

Составная часть системы – модель реального гидроагрегата, а именно одного из гидроагрегатов Нижнебурейской ГЭС, недавно введенной в эксплуатацию (на станции установлены четыре агрегата мощностью по 80 МВт каждый). В ходе предварительных исследований изучен большой объем технической документации систем управления гидроагрегатами, в том числе гидравлической (система управления направляющим аппаратом и поворотом лопастей).

**Модель гидроагрегата как объекта управления**

Модель построена в системе имитационного моделирования Simulink Matlab. «Верхний» уровень Simulink-диаграммы показан на рис. 1.

Основными элементами диаграммы являются:

подсистема «Генератор», представляющая собой модель синхронного генератора в осях d-q [3]. На входы подсистемы подаются сигналы напряжения статора и ротора (возбуждения), вращающего момента турбины и электрической частоты. Модель рассчитывает тормозной момент генератора, угол нагрузки и скорость ротора, активную и реактивную мощности, а также ток возбуждения;

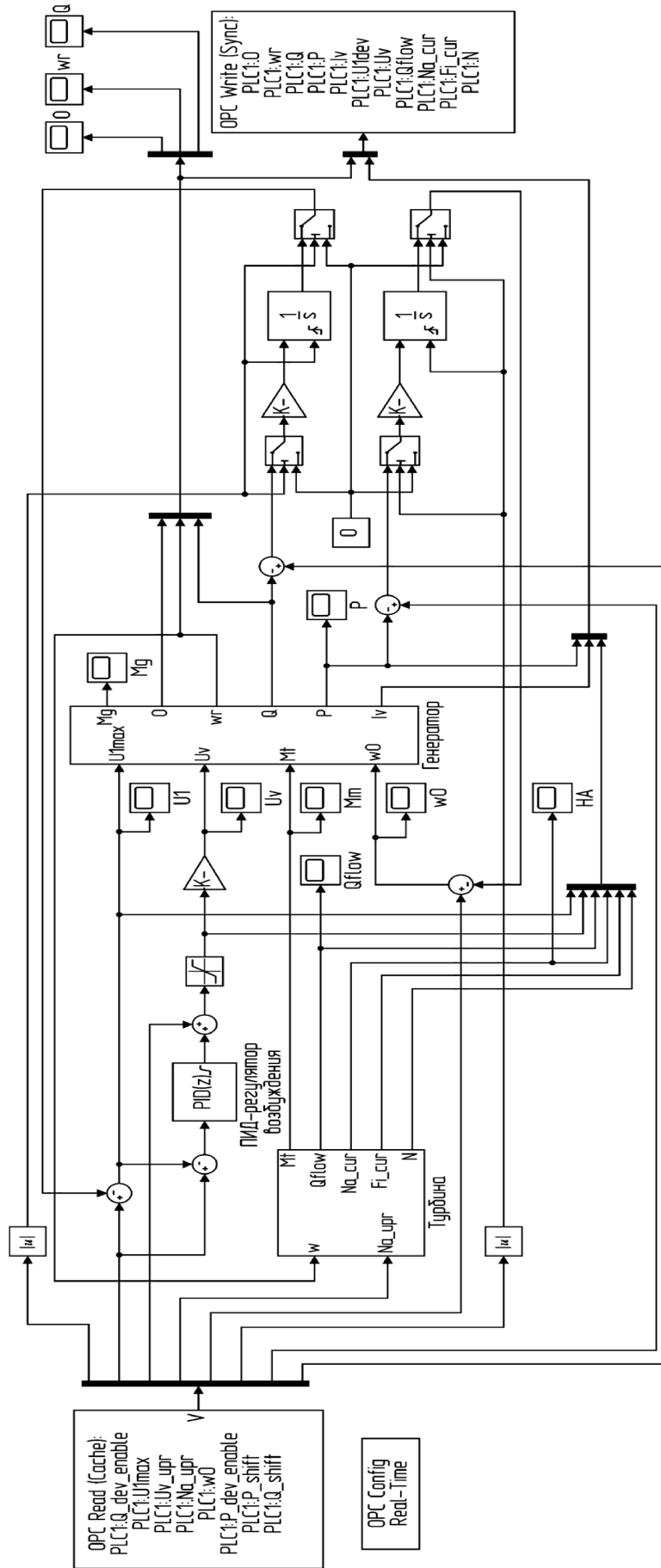


Рис. 1. Simulink-диаграмма.

подсистема «Турбина» – модель гидравлической турбины. Ее входными сигналами являются скорость вращения (формируется подсистемой «Генератор») и сигнал задания для регулятора положения направляющего аппарата и системы поворота лопастей. Подсистема определяет мощность и вращательный момент, развиваемые турбиной, и расход воды через нее при постоянном напоре, который принят равным номинальному. Помимо этого, рассчитываются текущие положения направляющего аппарата и угол поворота лопастей. Угол поворота вычисляется по аппроксимации действующей комбинаторной зависимости;

### Управление и визуализация

Управляющая программа и экраны визуализации реализованы в SoftLogic среде CoDeSys. Программа выполняется на виртуальном контроллере SP PLCWinNT и решает следующие задачи:

стабилизация частоты вращения вала гидроагрегата с воздействием на направляющий аппарат и поворотные лопасти турбины (автоматический регулятор частоты вращения, АРЧВ);

автоматическое регулирование активной мощности. Регулятор активной мощности (РАМ) работает совместно с АРЧВ и использует тот же канал воздействия на объект. Схема взаимодействия РАМ и АРЧВ упрощенно реализует алгоритмическую схему из технической документации;

автоматическое регулирование реактивной мощности с воздействием на регулятор возбуждения;

вспомогательные вычисления для поддержки системы визуализации.

«Головная» часть программы написана на текстовом языке ST, программы регуляторов составлены на языке SFC и задействуют стандартные функциональные блоки ПИД-регулирования CoDeSys.

Настройка регуляторов проводилась во вспомогательной Simulink-диаграмме встроенными средствами библиотечных блоков. Полученные коэффициенты были использованы для настройки программных модулей CoDeSys.

Основной экран имитирует главный пульт управления (рис. 2).

На экране отображаются текущие значения переменных системы, полученных из Simulink-модели. Стрелочные индикаторы показывают значения основных параметров системы: положения поворотных лопастей и направляющего аппарата (%), угловой скорости вала ротора (рад/с), напряжения и тока возбуждения (В и А соответственно). Остальные параметры выводятся с помощью цифровых индикаторов. Это расход воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), угол нагрузки ( $^\circ$ ), скорость вращения вала в об/мин., электрическая частота (Гц), сила тока (А) и напряжение (В) фазы статора, активная (МВт), реактивная (МВАР) и полная (МВА) мощности, коэффициент мощности.

ПИД-регулятор возбуждения построен на стандартном блоке Simulink. Система тиристорного возбуждения гидроагрегата Нижнебурейской ГЭС снабжена собственным автоматическим регулятором. Поэтому регулятор возбуждения помещен в модель «объекта управления», а не вынесен в «программную часть».

Кроме рассмотренных подсистем, Simulink-диаграмма содержит блоки, предназначенные для эмуляции небалансов активной и реактивной мощностей в энергосистеме, возникновение которых приводит к изменениям электрической частоты и напряжения соответственно.

Обмен данными между моделью объекта управления и управляющей программой осуществляется по протоколу OPC с помощью блоков OPC Read и OPC Write. Основные сигналы управления моделью – это уставки регулятора возбуждения и регулятора положения направляющего аппарата. Кроме того, от программы поступают сигналы ввода небалансов мощности и несколько вспомогательных сигналов. Программе управления посылаются все сигналы, сформированные подсистемами «Генератор» и «Турбина».

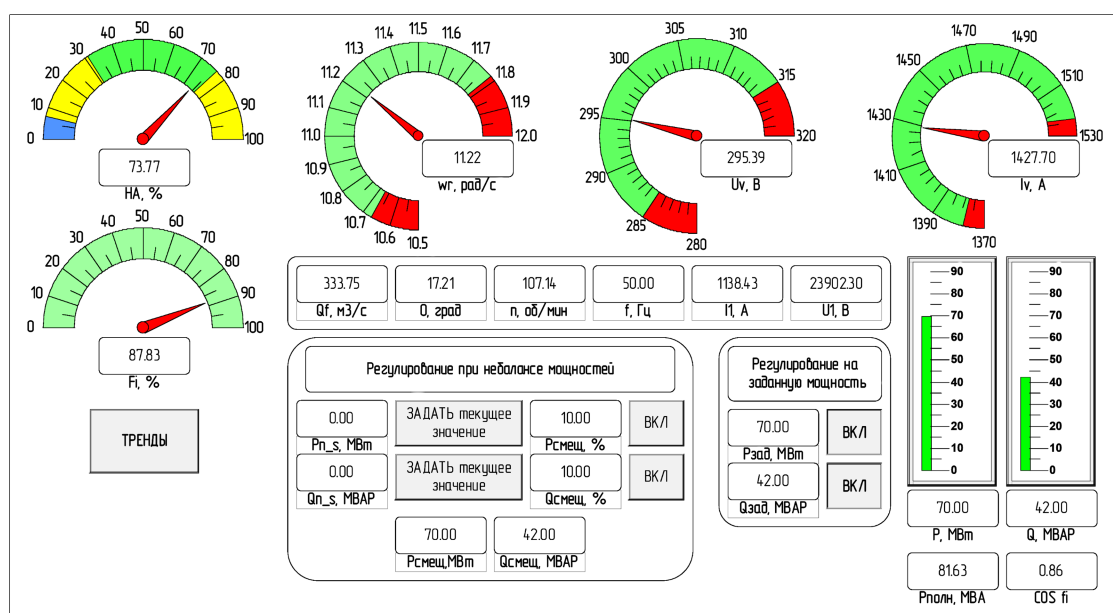


Рис. 2. Основной экран визуализации.

На экране размещены две колонки управления. Первая позволяет моделировать возникновение небалансов по активной и реактивной мощности. Величины небалансов задаются вручную. Стабилизируя частоту вращения ротора и выходное напряжение генератора, система автоматически ликвидирует небалансы. Во второй колонке задаются уставки по активной и реактивной мощностям и включается регулирование по уставкам. Таким образом, моделируется режим работы гидроагрегата на энергосистему бесконечной мощности.

Программа не допускает нахождения системы одновременно в двух режимах регулирования, блокируя запрещенные переходы.

Кнопка «Тренды» закрывает текущий экран и открывает экран с диаграммами изменения параметров системы (трендами). Тренды позволяют наблюдать протекание процессов во времени и анализировать поведение объекта и системы управления в целом.

### Заключение

На данном этапе разработки получен действующий прототип имитационной модели системы управления электрическими параметрами гидроагрегата. Тестирование показало работоспособность модели: задачи регулирования решаются успешно, хотя качество переходных процессов оставляет желать лучшего. Улучшение качества не является пока актуальной задачей, поскольку планируется усложнение модели объекта с целью повышения ее адекватности. Необходимо, в частности, модернизировать модель самого синхронного генератора, добавив в нее учет наличия демпферных обмоток, и детализировать модель гидравлической подсистемы управления направляющим аппаратом и поворотом лопастей турбины. «Приближения к реальности» ожидают также и сами алгоритмы управления, которые пока поддерживают только базовые режимы. А для повышения качества имитационной системы в роли учебного пособия желательно добавить в нее, например, средства построения векторных диаграмм.

1. Рыбалев, А.Н. Имитационное моделирование АСУ ТП при проектировании и в учебном процессе. Часть 1 // Вестник Амурского гос. ун-та. – Благовещенск: АМГУ, 2018. – Вып. 81. – С. 77-81.

2. Рыбалев, А.Н. Имитационное моделирование АСУ ТП при проектировании и в учебном процессе. Часть 2 // Вестник Амурского гос. ун-та. – Благовещенск: АМГУ, 2018. – Вып. 83. – С. 41-48.

3. Рыбалев, А.Н., Сеницын, В.Р., Поддубнова, А.Н. Разработка имитационной модели системы регулирования гидроагрегата // Сб. трудов IX Всероссийской науч.-техн. конф. «Энергетика: качество и эффективность использования энергоресурсов». – Благовещенск: АМГУ, 2019. – С. 304-309.