



ный ресурс], – https://www.researchgate.net/publication/2368591_The_Distributed_Constraint_Satisfaction_Problem_Formalization_and_Algorithms
2. Vidal, J. Fundamental of Multiagent Systems [Электронный ресурс], – <http://jmvidal.cse.sc.edu/library/vidalmmas.pdf>.

А.В. Никулина¹, П.В. Трешников², А.И. Хвостов¹, Л.С. Зеленко¹

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГИДРОАГРЕГАТА ГЭС ДЛЯ ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА

(¹ Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
² ГК «СМС-Автоматизация»)

Тренажерная подготовка оперативного персонала – одна из наиболее эффективных форм профессионального обучения, т.к. позволяет формировать навыки управления технологическими процессами как в нормальных, так и аварийных условиях. Это особенно важно, когда оператору приходится принимать решения в условиях повышенного риска за короткий промежуток времени.

В системе подготовки и повышения квалификации кадров ГЭС также широко применяются тренажеры, они позволяют воссоздавать рабочие места в реальных процессах, включая организацию операторского интерфейса и органов управления; моделировать потенциально опасные ситуации на реальных объектах. Программный тренажер может максимально реалистично воссоздать ход технологического процесса, включая индикацию, блокировки, логику работы реального оборудования, это особенно важно для операторов ГЭС, т.к. их деятельность связана с восприятием большого объема информации.

В ГК «СМС-Автоматизация» разрабатывается тренажер для эмуляции технологических процессов Саяно-Шушенской ГЭС имени П.С. Непорожного и работы общестанционных вспомогательных систем и оборудования в соответствии с реальными физическими ограничениями.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать модель гидроагрегата (ГА), которая позволит имитировать все режимы его работы и изменять значения его технологических параметров в интервалах, соответствующих реальным.

Каждому режиму работы ГА или возможной аварийной ситуации (пуск/останов ГА; повышение температуры обмотки статора генератора; действие электрических защит трансформатора на останов ГА; ГА не затормаживается при аварийном останове и т.п.) должен соответствовать *сценарий обучения* тренажера, содержащий имитируемые параметры, допустимые интервалы их изменения (линии трендов) и события, привязанные ко времени. Например, для сценария «Пуск ГА» имитируемыми параметрами будут [1]:

- скорость турбины;
- давление воды в спиральной камере;



- давление воды на уплотнителе вала турбины;
- давление дисцилята на входе в обмотку статора;
- датчик положения направляющего аппарата;
- расход через уплотнение вала;
- расход дисцилята на обмотку статора.

На рис. 1 приведены линии трендов значений технологических параметров ГА, на основании которых разрабатывается сценарий «Пуск ГА».

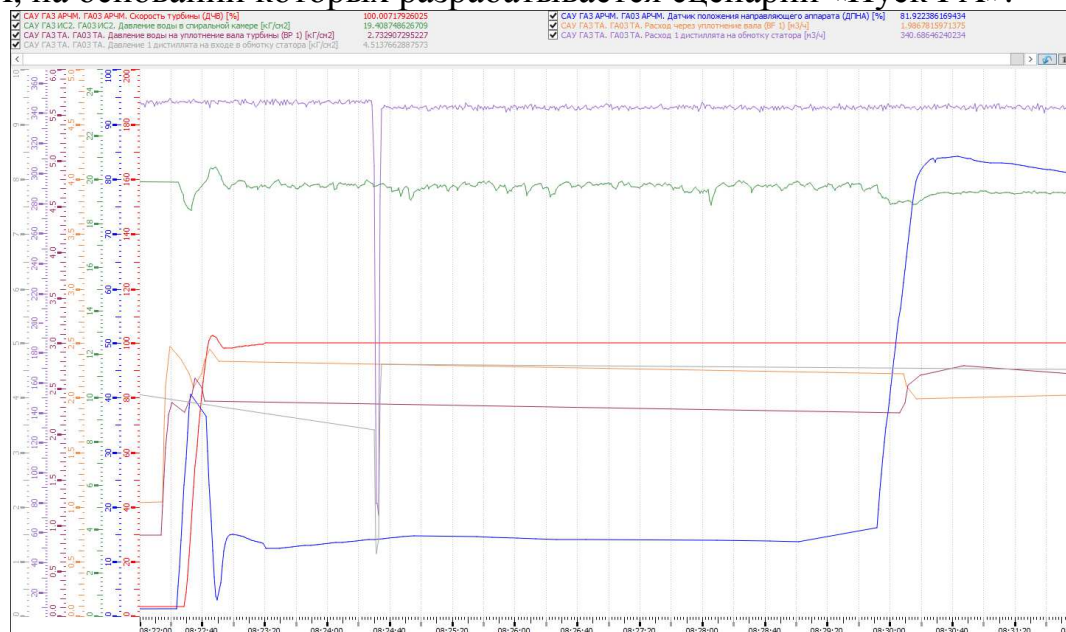


Рис. 1. Линии трендов значений технологических параметров ГА для сценария «Пуск ГА»

Авторы предлагают рассматривать построение имитационной модели ГА как задачу обучения по прецедентам. Пусть задано пространство объектов X и множество возможных ответов Y . Существует неизвестная целевая зависимость $y^*: X \rightarrow Y$, значения которой известны только на объектах обучающей выборки $X^l = (x_i, y_i)_{i=1}^l$, $y_i = y^*(x_i)$. Требуется построить алгоритм (функцию регрессии) $a: X \rightarrow Y$, аппроксимирующий целевую зависимость y^* [2].

При решении таких задач выделяют два этапа. На этапе обучения метод μ по выборке X^l строит алгоритм $a = \mu(X^l)$. На этапе применения алгоритм a для новых объектов x выдаёт ответы $y = a(x)$. Метод обучения должен допускать эффективную программную реализацию.

Самым перспективным подходом к анализу больших данных считается применение машинного обучения – набора методов, благодаря которым компьютер может находить в массивах изначально неизвестные взаимосвязи и закономерности [2].

При выборе метода построения модели необходимо учитывать следующие факторы:

- 1 Задача моделирования значений параметров ГА требует анализа естественной информации большого объема: 250 параметров, изменения которых регистрируется с точностью до миллисекунд.



- 2 Технологические параметры ГА связаны между собой сложными функциональными зависимостями.
- 3 Со временем происходит износ оборудования ГА и естественное изменение его параметров.

В данной работе в качестве способа решения задачи восстановления регрессии был выбран механизм искусственных нейронных сетей (ИНС) так как:

- трехслойных сетей достаточно для аппроксимации любых непрерывных функций и решения сколь угодно сложных задач регрессии (как правило, ИНС используется тогда, когда неизвестен точный вид связей между входами и выходами);
- ИНС позволяют определять будущие значения технологических параметров ГА с большой точностью;
- в процессе использования модель с ИНС способна реагировать на изменения, происходящие с ГА, и корректировать параметры автоматически;
- в настоящее время разработаны и реализованы в виде программных библиотек эффективные алгоритмы обучения нейросетей.

Программной реализацией имитационной модели ГА является модуль работы с нейронными сетями. В этом модуле по n входным параметрам строится n трехслойных нейронных сетей с прямой передачей сигнала, т.е. моделируется зависимость каждого из n параметров от остальных $(n-1)$ параметров. Каждая нейронная сеть содержит во входном слое $(n-1)$ нейронов, в промежуточном слое – $n/2$ нейронов и 1 нейрон на выходе с сигмоидальной функцией активации.

Набор обучающих данных для ИНС формируется по историческим трендам системы автоматизированного управления ГА ГЭС. Для обучения нейросети используется метод обратного распространения ошибки. Критерием окончания процесса обучения нейросети является достижение функционала качества установленного минимального значения. Погрешность имитации параметра ГА на временном интервале T выражается квадратичной функцией потерь $L(a, x) = (a(x) - y^*(x))^2$, где a – такое решение, при котором отклонение функции имитируемого параметра от функции $y=y^*(x)$ минимально. Функционал качества является суммой функций потерь на обучающей выборке объектов.

Разрабатываемый модуль поддерживает выполнение следующих функций:

- чтение исторических значений моделируемых технологических параметров из файлов;
- подготовка обучающей выборки для нейросети;
- обучение нейросети;
- сохранение и загрузка обученных нейросетей в систему;
- построение модели для имитации значений технологических параметров ГА;
- анализ результатов работы системы моделирования (расчет погрешности моделируемых параметров);



- построение линий трендов исходных значений параметров и значений, рассчитанных нейросетью.

Программное обеспечение разрабатывается в среде Microsoft Visual Studio 2015 на языке программирования С# с использованием фреймворка .NET Accord, реализующего модели машинного обучения и методы оценки их качества.

Пользовательский интерфейс (рис. 2) разрабатывается с использованием следующих веб-технологий:

- amCharts – работа с трендами, графиками, диаграммами;
- d3js – обработка и визуализация данных;
- bootstrap – построение пользовательского интерфейса с версткой под любые размеры экранов.

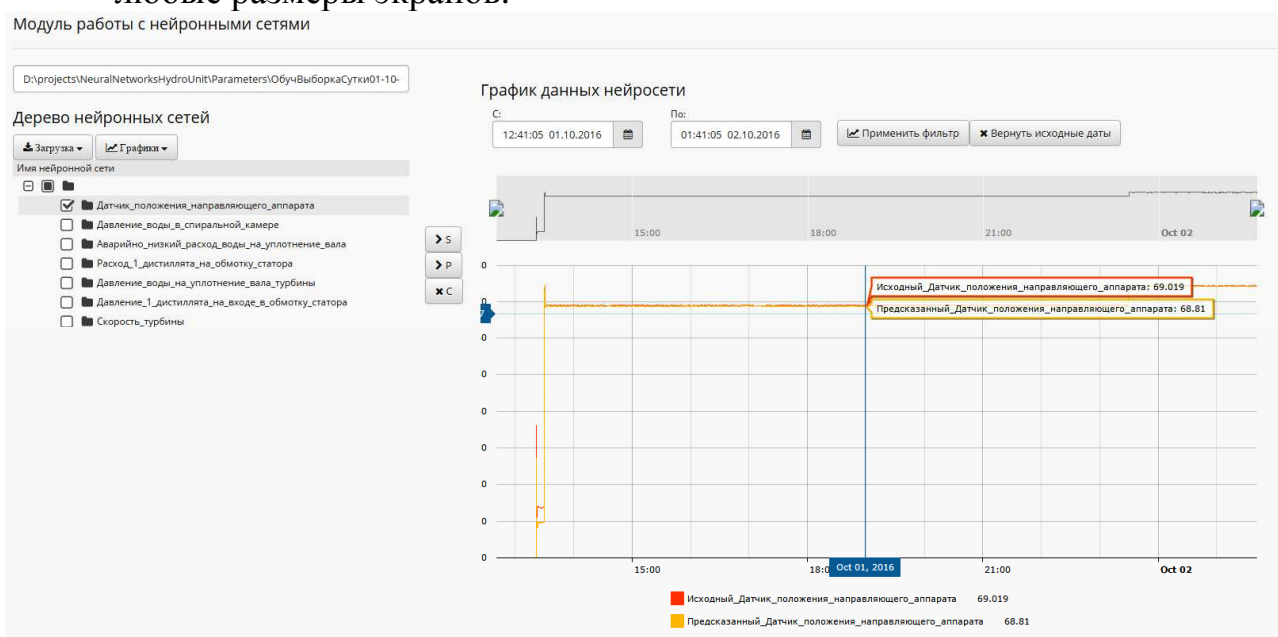


Рис. 2. Экранная форма модуля работы с нейронными сетями

Таким образом, разрабатываемый модуль позволит для каждого конкретного ГА ГЭС строить модель, отражающую изменения его параметров, и проводить (в составе тренажера оперативного персонала) обучение на основе этой модели.

Литература

1. Техническое задание на тренажер для подготовки оперативного и эксплуатационного персонала Саяно-Шушенской ГЭС имени П.С. Непорожного [Текст]. – р.п.Черемушки, 2016. – 21 с.
2. Воронцов, К.В. Математические методы обучения по прецедентам [Электронный ресурс]. – URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Машинное_обучение_%28курс_лекций%2C_К.В.Воронцов%29 (дата обращения: 30.01.2017).