

## СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

М.А. Садохина<sup>1</sup>, М.А. Чекан<sup>2</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Институт энергетики, кафедра ЭССС, гр. ЭСб-14-2<sup>1</sup>

Институт кибернетики им. Е.И.Попова, кафедра ВТ, гр. ЭВМб-15-1<sup>2</sup>

**Введение.** Развитие системы «человек — автомат» стало условием коренных преобразований в содержании и характере труда. Роль человека в производственном процессе оценивается по тому, в какой степени он освобождается от рутинных однообразных операций, а его труд насыщается в широком смысле творческим содержанием. Вычислительная техника стала служить базой для гуманизации производственной деятельности, для использования современных наукоемких технологий и освобождения человека от тяжелого, рутинного, нетворческого труда. Быстрое развитие информационных технологий дает большие возможности повышения интеллектуального потенциала для каждого человека.

Турбогенераторы – это синхронные электрические машины, вырабатывающие электроэнергию. Турбогенераторы устанавливаются и монтируются с различными видами турбин.

В зависимости от электрической мощности и технических задач по энергоснабжению производятся следующие типы турбогенераторов:

- турбогенераторы с воздушным охлаждением,
- турбогенераторы с масляным охлаждением
- турбогенераторы с водородным охлаждением,
- турбогенераторы с комбинированным водородно-водяным охлаждением,
- асинхронные турбогенераторы

Турбогенераторы с комбинированным водородно-водяным охлаждением предназначены для работы на атомных электростанциях (АЭС). Асинхронные турбогенераторы используются в составе мощных ТЭЦ и в энергосистемах со значительными колебаниями нагрузки. Асинхронные турбогенераторы также имеют комбинированное водородно-водяное охлаждение. Турбогенераторы с воздушным и масляным охлаждением применяются на тепловых электростанциях (ТЭС) с различной мощностью.

При проектировании турбогенераторов необходимо учитывать достаточно большое количество основных параметров и характеристик, производить большие и трудоемкие вычисления, а в некоторых случаях повторять один и тот же алгоритм расчета, используя при этом разные значения определенных

коэффициентов. Одним из таких алгоритмов является алгоритм электромагнитного расчета турбогенератора. В данном случае, предлагается автоматизировать расчет магнитной цепи турбогенераторов, который составляет значительную долю в полном расчете при проектировании турбогенераторов для ТЭС и АЭС.

Актуальность работы заключается в сокращении значительного времени, затрачиваемого при выполнении процедур расчета характеристик холостого хода, и исключения ошибок при ручном расчете, для турбогенераторов ТЭС и АЭС.

**Постановка задачи.** Создание универсальной программы на языке Python для расчёта характеристики холостого хода для турбогенераторов ТЭС и АЭС с различным числом полюсов и любым способом охлаждения.

**Задачи автоматизации:**

1. Анализ данных необходимых для расчета турбогенераторов с различным числом полюсов и любым способом охлаждения для ТЭС и АЭС.
2. Анализ алгоритма для расчета нужных характеристик, написание программы.
3. Тестирование и отладка программы.

**Методы исследования.** Для достижения цели были использованы следующие методы исследования:

1. Метод экспериментально-теоретического уровня: анализ алгоритма расчета турбогенераторов для ТЭС и АЭС и данных для написания программы.
2. Методы теоретического уровня: формализация данных непосредственно необходимых для расчетов турбогенераторов для ТЭС и АЭС.

**Технология решения.** Для автоматизации расчёта характеристики холостого хода была создана универсальная программа на языке программирования Python. В её основе лежит математическая модель, представленная в учебном пособии [1].

Главной задачей компьютерного алгоритма является выполнение электромагнитного расчёта и построение на его основе характеристики холостого хода (табл.1 и рис.1). В алгоритм заложена универсальность, то есть возможность расчётов для разных типов охлаждения и числа пар полюсов турбогенераторов, за счёт условных ветвлений и применения различных формул. Также особенностью алгоритма является полная автоматизация, в частности, определение напряженностей магнитного поля по кривым намагничивания для различных участков магнитной цепи по рассчитанным значениям индукций. Проблемой было определение величин напряженностей магнитного поля при индукциях, выходящих за пределы табличных значений и учет коэффициентов ответвлений магнитного потока в пазы статора и ротора, в том числе и промежуточных их значений, с графиков приложений. Проблема была решена путём преобразования графиков в таблицы с квантованными значениями кривых, и использованием интерполяции во время работы программы. Во время вычислений производится обязательная проверка получаемых значений индукций на вхождение в заданные нормами рекомендуемые пределы, и, в случае несоответствия, вычисления прерываются с рекомендациями для пересчёта.

В зависимости от типа охлаждения турбогенератора и числа полюсов формируется набор исходных данных, полученных при расчете главных размеров, основных электромагнитных нагрузок и обмоточных данных пазов статора и ротора. Набор представлен текстовым файлом со значениями входных переменных. Эти данные вводятся в программу с помощью диалога выбора файла при запуске. Результатом работы программы является электронная таблица в формате, открываемом приложением Microsoft Excel, и автоматически построенный график характеристики холостого хода.

Табл. 1. Расчет характеристики холостого хода (пример вывода программы)

E_0*	Ед. измер	0,6	1	1,1	1,2	1,3
E_0	В	8313,6	13856	15241,6	16627,2	18012,8
Ф_δ	Вб	4,101713981	6,836189969	7,519808966	8,203427962	8,887046959
B_δ	Тл	0,572407708	0,954012847	1,049414131	1,144815416	1,240216701
B_Z(1/3)	Тл	1,054304014	1,757173356	1,932890692	2,108608027	2,284325363
B_c1	Тл	0,960026678	1,600044463	1,760048909	1,920053356	2,080057802
H_Z(1/3)	А/м	294	14290	32280	75200	125000
H_c1	А/м	170	520	1132	4600	35200
F_δ	А	86092,04931	143486,7488	157835,4237	172184,0986	186532,7735
F_Z1	А	165,68664	8053,2724	18191,7168	42379,712	70445
F_c1	А	311,6597628	953,3122155	2075,287361	8433,146522	64531,90382
F_1	А	86569,39571	152493,3335	178102,4279	222996,9571	321509,6773
Ф_S2	Вб	0,584534485	1,029666563	1,202584471	1,505721629	2,170899914
Ф_2	Вб	4,686248466	7,865856532	8,722393437	9,709149591	11,05794687
B_Z(0,7)	Тл	0,681356601	1,14365538	1,268191473	1,41166078	1,607769018
B_Z(0,2)	Тл	0,70849066	1,189199831	1,318695397	1,467878165	1,671796136
H_Z(0,7)	А/м	1062,9	1479,6	1663,2	2420	5240
H_Z(0,2)	А/м	1087,2	1520,1	1846,4	2980	7160
F_Z2	А	405,29385	565,44345	661,5596	1017,9	2337,4
B_c2	Тл	0,265928685	0,446360644	0,494966204	0,550961264	0,627500929
H_c2	А/м	478,8	802,8	891	945,9	1015,2
F_c2	А	240,8873801	403,893878	448,2678691	475,8884145	510,7536932
F_20	А	87215,57694	153462,6708	179212,2554	224490,7456	324357,831
F_20*	о.е.	0,568317862	1	1,167790541	1,46283617	2,113594331
i_20	А	778,7105084	1370,202418	1600,109423	2004,381657	2896,052063

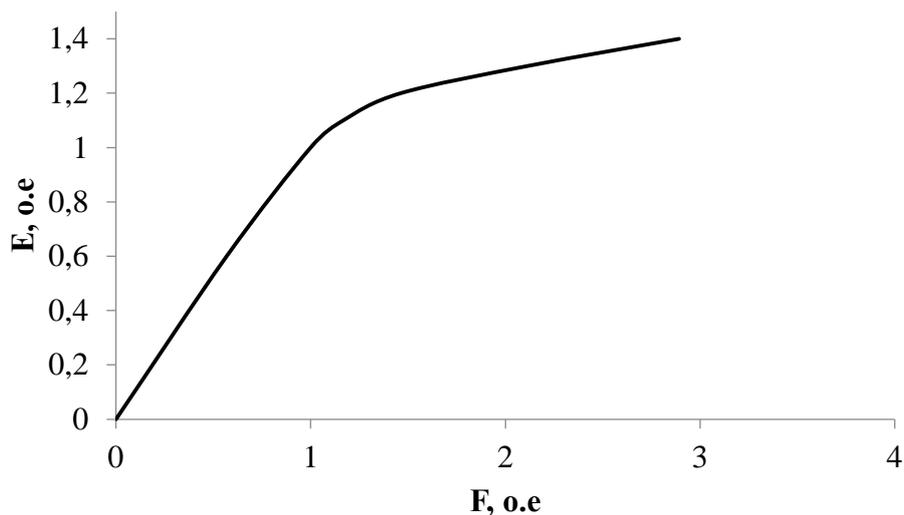


Рис. 1. Характеристика холостого хода турбогенератора

**Заключение.** Создана универсальная программа расчета турбогенераторов для тепловых и атомных электростанций на языке Python. Данная программа позволяет существенно сократить время расчета турбогенераторов для ТЭС и АЭС и исключить ошибки при выполнении этих расчетов при проектировании.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Константинов Г.Г., Бутаков Ф.С. Современное состояние и развитие атомной энергетики в России и за рубежом. Повышение эффективности производства и использование электроэнергии в усл. Сибири/ Мат. Все-росс. науч.-практ. конф., т.2. - Иркутск: ИРНИТУ, 2016.-С. 147-149
2. Константинов Г.Г., Безгоднов А.В. Особенности проектирования турбогенераторов для атомных электростанций. Повышение эффективности производства и использование электроэнергии в усл. Сибири/ Мат. Все-росс. науч.-практ. конф., т.2.- Иркутск: ИРНИТУ, 2016.-С. 134-137.
3. Константинов Г.Г. Проектирование турбогенераторов: учебное пособие. - 4-е изд., перераб. и доп.- Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. – 312 с.

Научный руководитель: Г.Г. Константинов, к.т.н., профессор кафедры «Электропривода и электрического транспорта» ИРНИТУ.