



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**В. С. Баклин**

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ. РАСЧЕТ ДВУХПОЛЮСНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ПРАКТИКУМ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ ПРИКЛАДНОГО БАКАЛАВРИАТА

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

Москва ■ Юрайт ■ 2017

УДК 621.313.322-81(075.8)

ББК 31.261я73

Б14

**Автор:**

**Баклин Валерий Сергеевич** — кандидат технических наук.

**Рецензенты:**

*Орлов Ю. А.* — кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматизации Томского государственного архитектурно-строительного университета;

*Гусельников А. Э.* — кандидат технических наук, директор по технологии и качеству ОАО «Сибэлектромотор», эксперт Ассоциации инженерного образования России.

**Баклин, В. С.**

Б14 Электрические машины. Расчет двухполюсных турбогенераторов. Практикум : учеб. пособие для прикладного бакалавриата / В. С. Баклин. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 137 с. — Серия : Университеты России.

ISBN 978-5-534-02716-7

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших отечественных вузов и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

В пособии рассмотрены вопросы проектирования двухполюсных турбогенераторов с системами охлаждения: косвенным воздушным (Т); косвенным водородным (ТВ); косвенным водородным обмотки статора и непосредственным форсированным водородным обмотки ротора (ТВФ); водяным обмотки статора и форсированным водородным обмотки ротора (ТВВ). Приведены общие рекомендации к расчетам и построениям характеристик турбогенераторов, примеры расчета, вопросы и необходимые справочные данные.

*Для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика».*

УДК 621.313.322-81(075.8)

ББК 31.261я73



*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».*

ISBN 978-5-534-02716-7

© Баклин В. С., 2011

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие страны сопровождается непрерывным ростом потребления электроэнергии как самой удобной для передачи, преобразования и потребления формы энергии. Рост потребления электроэнергии требует строительства новых электрических станций. Лидирующее положение среди них занимают тепловые и атомные электростанции, оснащенные современными турбогенераторами.

Проектирование современных турбогенераторов и эксплуатация уже имеющихся на электростанциях турбогенераторов требует от высших технических учебных заведений страны подготовки квалифицированных кадров по электроэнергетическим и электротехническим направлениям. Дисциплина «Электромеханика» для этих направлений является обязательной. Завершающим этапом изучения дисциплины «Электромеханика» является выполнение курсового проекта.

Выполнение курсового проекта «Проектирование турбогенераторов» предусмотрено рабочими программами подготовки бакалавров дневной формы обучения и инженеров заочной формы обучения по направлению «Электроэнергетика», специальности «Электрические станции» и «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

Проектирование современных турбогенераторов является технически сложной задачей и выполняется специальными конструкторскими отделами. Проектирование турбогенератора на уровне курсового проекта носит учебный характер. Это учитывается в предлагаемом учебном пособии.

Основная цель учебного пособия – дать последовательность расчёта турбогенератора с учётом его конструктивных особенностей, обусловленных системой охлаждения, и привести необходимые методические указания к выполнению этих расчётов.

Пособие в основном предназначено для студентов энергетических специальностей, поэтому в нём не приводятся разделы теплового, вентиляционного и механического расчётов турбогенераторов. При необходимости выполнения этих разделов предлагается воспользоваться литературой [2, 4, 5].

Для успешного выполнения и защиты курсового проекта в учебном пособии приведен пример расчёта турбогенератора и вопросы для самопроверки со ссылкой на соответствующую литературу.

Автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность рецензентам – директору по технологии и качеству ОАО «Сибэлектро-

мотор» кандидату техн. наук А.Э. Гусельникову, кандидату техн. наук, доценту кафедры электротехники и автоматики ТГАСУ Ю.А. Орлову, за ценные замечания и пожелания, способствующие улучшению данного учебного пособия.

*Автор*

## ВВЕДЕНИЕ

Турбогенератор – генератор электрической энергии, приводимый во вращение паровой или газовой турбиной.

Развитие всех отраслей народного хозяйства во многом определяется непрерывным ростом потребления энергии во всех ее видах. Особенно быстро возрастает потребление электроэнергии как самой удобной для передачи, преобразования и потребления формы энергии.

Порядка 80 % электроэнергии в России вырабатывается на тепловых и атомных электростанциях, оснащенных турбогенераторами. На обозримое будущее основным источником энергии по прогнозам останется энергетический блок парогенератор-турбина-турбогенератор. По сравнению с гидроэлектростанциями (ГЭС) тепловые электростанции (ТЭС) быстрее вводятся в строй, меньше требуют капитальных вложений и меньше зависят от природных условий.

Чем выше частота вращения  $n_1 = 60 \cdot f_1 / p$ , где  $f_1$  – частота сети, тем выше (Вт/кг) использование электрической машины. Поэтому турбогенераторы обычно выполняются двухполюсными  $2p = 2$ , реже – четырёхполюсными  $2p = 4$ .

Экономически целесообразным является повышение единичной мощности турбогенераторов, что приводит к снижению удельных капиталовложений и стоимости электроэнергии на электростанциях.

При работе турбогенератора возникают потери мощности, что приводит к нагреву активных частей турбогенератора – обмоток статора и ротора, железа магнитопровода. Активные части турбогенератора нуждаются в охлаждении.

В зависимости от охлаждающей среды различают турбогенераторы с газовым охлаждением (воздушным, водородным), жидкостным (водяным, масляным или негорючим диэлектриком) и со смешанным охлаждением. По способу отвода тепла от активных частей турбогенератора системы охлаждения подразделяют на косвенную, непосредственную и смешанную, характеризующиеся или косвенным (поверхностным), или непосредственным, или смешанным охлаждением проводников обмоток турбогенератора.

Первые отечественные турбогенераторы изготавливались с косвенным воздушным охлаждением. В 1924 г. на заводе «Электросила» (г. Ленинград) были изготовлены [4] турбогенераторы мощностью 500 и 1500 кВт на 3000 об/мин. На этом же заводе разработана и освоена первая отечественная серия турбогенераторов (Т) мощностью от 600

до 24000 кВт. В 1932–1935 гг. была создана серия «Второй пятилетки» (Т2). В 1937 г. был выпущен первый отечественный турбогенератор Т2-100-2 мощностью 100 МВт на 3000 об/мин с косвенным воздушным охлаждением. При такой единичной мощности возможности косвенного воздушного охлаждения в то время оказались полностью исчерпаны, и дальнейшее повышение единичной мощности было связано с применением водородного охлаждения.

В 1946 г. завод «Электросила» изготовил первый турбогенератор с косвенным водородным охлаждением (ТВ) мощностью 100 МВт и были перестроены конструкции турбогенераторов 25 и 50 МВт с целью применения водородного охлаждения. В 1952 г. создан турбогенератор ТВ2-150-2 мощностью 150 МВт – в то время крупнейший в Европе.

Применение водорода, имеющего в 14 раз меньшую плотность и на 44 % выше коэффициент теплоотдачи, чем воздух, позволило увеличить на 15–20 % единичную мощность и на 1 % повысить КПД турбогенераторов серии ТВ2, по сравнению с турбогенераторами серии Т.

При единичной мощности турбогенераторов 150 МВт возможности косвенного водородного охлаждения были практически исчерпаны. В дальнейшем были созданы конструкции турбогенераторов, где непосредственно водород соприкасался с медью обмотки ротора в специальных каналах меди самой обмотки (турбогенераторы с форсированным водородным охлаждением – ТВФ). В 1957 г. выпущен первый турбогенератор ТВФ-200-2 мощностью 200 МВт, а в 1958 г. – турбогенератор мощностью 100 МВт, который стал легче своих предшественников на 70 т.

Дальнейшее повышение единичной мощности турбогенераторов было связано с применением непосредственного охлаждения обмотки статора водой и форсированного непосредственного охлаждения обмотки ротора водородом (турбогенераторы серии ТВВ). В 1959 г. на ЛПЭО «Электросила» изготовлен первый турбогенератор ТВВ-165-2 мощностью 165 МВт, а в 1961 – ТВВ-320-2. В 1964 г. ЛПЭО «Электросила» выпустила турбогенератор ТВВ-500-2, серийное производство которого начато в 1971 г. Впервые в конструкции турбогенераторов этой мощности и выше прямоугольные пазы ротора заменены трапецеидальными для максимального увеличения сечения обмотки возбуждения, так как ротор является самой нагруженной частью турбогенератора с точки зрения механических, тепловых и электромагнитных нагрузок. В конце 1971 г. на Славянской ГРЭС был включен в сеть первый в Европе двухполюсный турбогенератор ТВВ-800-2 мощностью 800 МВт. В 1976 г. был создан, а в 1977 г. установлен на Костромской ГРЭС самый мощный в мире турбогенератор ТВВ-1200-2, мощностью 1200 МВт.

Выпускаются и эксплуатируются турбогенераторы с непосредственным водородным охлаждением обмоток статора и ротора серии ТГВ. Такие турбогенераторы мощностью 200...800 МВт выпускаются заводом «Электротяжмаш» (г. Харьков).

ПО «Сибэлектротяжмаш» (г. Новосибирск) выпускает турбогенераторы серии ТВМ мощностью 160, 220, 320 и 500 МВт. Статор погружен в жидкий диэлектрик. Охлаждение обмотки и сердечника статора осуществляется жидким диэлектриком, обмотки ротора – водой. Раньше в качестве жидкого диэлектрика использовалось масло. В настоящее время масло в турбогенераторах серии ТВМ заменяют негорючим жидким диэлектриком.

В электромашиностроении уделяется большое внимание созданию турбогенераторов с непосредственным охлаждением водой обмоток статора и ротора. Водяное охлаждение является наиболее эффективным благодаря высокой теплоотводящей способности воды и меньшим затратам на ее циркуляцию, исключаются также возможности взрыва и возгорания внутри машины [2], что особенно актуально при их эксплуатации на АЭС. Такие турбогенераторы (серии ТЗВ) мощностью 60, 200, 800 МВт, созданные ЛПЭО «Электросила», успешно эксплуатируются.

Непосредственное охлаждение обмоток водородом и водой позволяет поднять единичную мощность турбогенераторов до 1200 МВт и выше.

Однако турбогенераторы с водяным и особенно с водородным охлаждением, требуют сложного вспомогательного оборудования, дороги в эксплуатации.

В настоящее время на современном техническом уровне возобновлено проектирование и производство турбогенераторов с воздушным охлаждением. За последние 15 лет в нашей стране созданы и успешно освоены две новые серии турбогенераторов с непосредственным воздушным охлаждением обмотки ротора: ТФ и ТЗФ. Серия ТФ охватывает диапазон мощности 1,5...220 МВт, а серия ТЗФ – 50...320 МВт [2, 6]. Уже десятки машин этих серий производства АО «Электросила», в том числе мощностью 110 и 160 МВт, работают как в нашей стране, так и за рубежом.

Классификация отдельных турбогенераторов различной мощности производства АО «Электросила» и ОАО «Электросила» представлены в табл. В1.

В настоящем пособии рассматривается проектирование турбогенераторов типа Т2, ТВ, ТВФ и ТВВ (табл. В1).

**Бланк задания.** Проектирование турбогенератора начинается с получения задания. Задание на проектирование выдается студентам преподавателем на бланке (прил. 1).

В задании обычно указываются номинальная мощность  $P_n$  (МВт), коэффициент мощности  $\cos\varphi_n$ , номинальное (линейное) напряжение  $U_n$  (кВ), соединение фаз – звезда или треугольник, а также частота сети  $f_1$  (Гц), число фаз  $m_1$  и число полюсов  $2p$ .

Таблица В1

*Типы турбогенераторов*

Обозначение серии, изготовитель	Расшифровка	Системы охлаждения		
		обмотки статора	сердечника статора	обмотки ротора
Т2-2,5-2 Т2-6-2 Т2-12-2 АО «Электросила»	Т – турбогенератор, 2 – вторая серия, мощность в МВт, 2 – двухполюсный	Косвенное воздушное	Непосредственное воздушное	Косвенное воздушное
ТФ-1,5-2У3 ТФ-3-2У3 ТФ-6-2У3 ТФ-10-2У3 ТФ-16-2У3 ТФ-25-2У3 ТФ-36-2У3 ТФ-60-2У3 ТФ-80-2У3 ТФ-110-2У3 ТФ-160-2У3 ТФ-180-2У3 ТФ-220-2У3 ОАО «Электросила»	Ф – форсированное охлаждение, У3 – климатическое исполнение и категория размещения. При сопряжении с паровой турбиной вводится П (ТФП), с газовой – индекс Г (ТФГ)	То же	Непосредственное воздушное	Непосредственное воздушное
ТЗФ-50-2У3 ТЗФ-63-2У3 ТЗФ-80-2У3 ТЗФ-110-2У3 ТЗФ-160-2У3 ТЗФ-220-2У3 ТЗФ-320-2У3 АО «Электросила»	ЗФ – форсированное охлаждение с разделением воздушных потоков в статоре и роторе	То же	Непосредственное воздушное	Непосредственное воздушное



Обозначение серии, изготовитель	Расшифровка	Системы охлаждения		
		обмотки статора	сердечника статора	обмотки ротора
ТВ2-30-2 ТВ2-100-2 ТВ2-150-2 ТВ2-30-2 АО «Электросила»	В – водородное охлаждение	Косвенное водородом	Непосред- ственное водородом	Косвенное водородом
ТВФ-60-2У3 ТВФ-100-2У3 ТВФ-110-2У3 ТВФ-120-2У3 ТВФ-200-2У3 АО «Электросила»	Ф – форсиро- ванное охла- ждение ротора	Косвенное водородом	Непосред- ственное водородом	Непосред- ственное водородом
ТВВ-165-2 ТВВ-200-2 ТВВ-320-2 ТВВ-350-2 ТВВ-500-2 ТВВ-800-2 ТВВ-1000-2 ТВВ-1200-2 ТВВ-160-2Е ТВВ-220-2Е ТВВ-500-2Е ТВВ-800-2Е АО «Электросила»	ВВ – водород- но-водяное охлаждение, Е – единая се- рия	Непосред- ственное водой	Непосред- ственное водородом	Непосред- ственное водородом
ТЗВ-110-2 ТЗВ-160-2 ТЗВ-220-2 ТЗВ-320-2 ТЗВ-400-2 ТЗВ-540-2 ТЗВ-645-2 ТЗВ-800-2 ТЗВ-1100-2 ТЗВ-1300-2 ТЗВ-1500-2 АО «Электросила»	ЗВ – полное водяное охла- ждение	Непосред- ственное водой	Непосред- ственное водой	Непосред- ственное водой

В качестве дополнительных данных могут быть указаны: коэффициент полезного действия генератора  $\eta$ ; отношение короткого замыкания ОКЗ, или синхронное индуктивное сопротивление  $x_{d*}$ , или статическая перегружаемость  $W_{\Pi}$ ; система охлаждения или тип (серия) турбогенератора, системы возбуждения; требования к параметрам и т. д.

**Номинальная мощность.** Номинальная мощность  $P_H$  характеризует активную мощность турбогенератора при номинальной нагрузке. АО «Электросила» (табл. В1) изготавливает турбогенераторы от 1,5 МВт до 1500 МВт.

**Коэффициент мощности.** В сети, на которую работают турбогенераторы, достаточно много потребителей реактивной мощности (асинхронные машины, трансформаторы и т. д.). Ток статора турбогенератора по отношению к напряжению сети носит отстающий характер, коэффициент мощности  $\cos \varphi < 1$ . Кроме активной мощности турбогенераторы генерируют и реактивную мощность.

В задании на проектирование указывается номинальный коэффициент мощности, который должен быть экономически обоснованным, т. е. учитывать единичную мощность турбогенератора, его удаленность от потребителей энергии. С уменьшением коэффициента мощности турбогенератора возрастают потери в сети, возрастают массогабаритные показатели самого турбогенератора и стоимость его изготовления.

Обычно турбогенераторы единичной мощности до 100...110 МВт (табл. В2) проектируются с номинальным коэффициентом мощности  $\cos \varphi_H = 0,8$ , мощностью 110...500 МВт –  $\cos \varphi_H = 0,85$ , и мощностью выше 500 МВт –  $\cos \varphi_H = 0,9$ .

**Номинальное напряжение, соединение фаз.** За номинальное напряжение принимается номинальное линейное напряжение на зажимах трехфазной ( $m_1 = 3$ ) обмотки статора турбогенератора при номинальной нагрузке. Номинальное напряжение турбогенератора обычно соответствует рекомендуемой шкале номинальных напряжений: 3,15, 6,3, 10,5, 13,8, 15,75, 18, 20, 24, 27 кВ.

Выбор оптимального напряжения зависит от мощности турбогенератора, его системы охлаждения. Очевидно, что с точки зрения снижения генерируемого турбогенератором тока целесообразно повышение номинального напряжения. Но с ростом номинального напряжения увеличивается вероятность коронного разряда, увеличивается толщина пазовой изоляции. С увеличением толщины пазовой изоляции в турбогенераторах с косвенным охлаждением ухудшается отвод тепла от обмотки статора, что требует уменьшения в обмотке допустимой плотности тока, снижается также использование площади пазов статора, что может в общем случае привести к снижению КПД турбогенератора.

Увеличение номинального напряжения возможно только с ростом единичной мощности турбогенератора. Чем больше мощность турбогенератора, тем выше может быть выбрано номинальное напряжение (табл. В2). Выбор номинального напряжения определяет выбор числа пазов статора. Номинальное напряжение и число пазов статора выбираются таким образом, чтобы обеспечить наиболее высокие технико-экономические показатели турбогенератора.

Таблица В2

*Технические данные по турбогенераторам, изготовленным в СССР*

Тип	Мощность, МВт	КПД, %	Напряжение, В	$\cos \varphi_n$	ОКЗ, о. е.
T2-2,5-2	2,5	96,0	3150	0,8	0,7...0,8
T2-4-2	4,0	96,3	6300		
T2-6-2	6,0	96,4	3150		0,69
			6300		
T2-12-2	12,0	97,0	6300		0,640
			10500		0,600
T2-25-2	25,0	97,4	6300		0,680
			10500		0,650
T2-50-2	50,0	97,6	10500		0,640
ТВ2-30-2	30,0	98,3	6300		0,680
			10500	0,650	
ТВ-50-2	50,0	98,7	10500	0,640	
ТВ-60-2	63,0	98,3	10500	0,640	
ТВ2-100-2	100,0	98,7	13800	0,85	0,610
ТВ2-150-2	110,0	98,4	18000	0,90	0,734
ТВФ-60-2	60,0	98,5	6300	0,85	0,620
			10500	0,80	0,610
ТВФ-100-2	100,0	98,5	10500	0,85	0,605
ТВФ-120-2	120,0	98,4			0,560
ТВВ-165-2	150,0	98,6	18000		0,561
ТВВ-200-2	200,0		15750		0,520
ТВВ-320-2	300,0		20000		0,580
ТВВ-500-2	500,0	98,7	20000		0,9
ТВВ-800-2	800,0	98,8	24000	0,470	
ТВВ-1200-2	1200,0			0,35	

Очевидно, что турбогенераторы (табл. В2) на одну и ту же мощность могут иметь разные номинальные напряжения. Эти же турбогенераторы, как правило, имеют разные числа пазов статора, причём большим напряжениям соответствует меньшее число пазов статора.

Предпочтительное соединение фаз обмотки статора – звезда, и за редким исключением – треугольник. При соединении в звезду токи высших гармоник, кратные трём, в фазных токах отсутствуют, а при соединении в треугольник – циркулируют по замкнутому контуру фаз обмотки статора, вызывая в ней добавочные потери. По этой причине соединения фаз обмотки статора в треугольник желательно избегать.

**Отношение короткого замыкания.** *ОКЗ* характеризуется отношением тока возбуждения холостого хода  $I_{f0}$  при номинальном напряжении к току возбуждения  $I_{fk}$  при установившемся трехфазном коротком замыкании, при котором ток короткого замыкания равен номинальному току,

$$ОКЗ = \frac{I_{f0}}{I_{fk}} = \frac{I_k}{I_n} = I_{k*},$$

где  $I_k$  – ток короткого замыкания при токе возбуждения  $I_{f0}$  и номинальном напряжении,  $I_n$  – номинальный ток.

Очевидно, ОКЗ равно установившемуся току трёхфазного короткого замыкания  $I_{k*}$  в относительных единицах при токе возбуждения  $I_{f0}$  и номинальном напряжении.

Отношение короткого замыкания, синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси  $x_d$  и статическая перегружаемость  $W_{\Pi}$  связаны между собой аналитическими зависимостями.

Активным сопротивлением обмотки статора по сравнению с индуктивными сопротивлениями обычно пренебрегают. В этом случае насыщенное синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси  $x_d = U_n/I_k$  или в относительных единицах  $x_{d*} = 1/I_{k*} = 1/ОКЗ$ .

Синхронное индуктивное сопротивление  $x_d$  обратно пропорционально воздушному зазору  $\delta$  турбогенератора, т. е.  $x_d \approx 1/\delta$ .

Статическая перегружаемость характеризуется отношением максимально возможной отдаваемой турбогенератором в сеть активной мощности к его номинальной мощности и определяется по формуле

$$W_{\Pi} = ОКЗ \cdot \frac{I_{fn}}{I_{f0} \cdot \cos \varphi_n},$$

где  $I_{fn}$  – ток возбуждения при номинальной нагрузке.

Чем больше воздушный зазор, тем больше ОКЗ и статическая перегружаемость турбогенератора. Однако увеличение воздушного зазо-

ра приводит к увеличению потерь на возбуждение, массогабаритных показателей и стоимости изготовления турбогенератора. Снижение потерь на возбуждение особенно актуально для турбогенераторов большой мощности. Поэтому с увеличением мощности турбогенераторов *ОКЗ* снижают. В современных турбогенераторах *ОКЗ* находится в пределах 0,7...0,4 [2].

Согласно ГОСТ 533-2000 *ОКЗ* для турбогенераторов мощностью до 63 МВт должно быть не ниже 0,47, для турбогенераторов мощностью 110...160 МВт не ниже 0,45 и для турбогенераторов мощностью свыше 220 МВт не ниже 0,4.

Согласно ГОСТ 533-2000, статическая перегружаемость турбогенератора должна быть не ниже: 1,7 при мощности до 160 МВт; 1,6 при мощности 160...500 МВт; 1,5 при мощности 800 МВт и более.

В настоящем пособии рассматривается проектирование турбогенераторов типа Т2, ТВ, ТВФ и ТВВ. Пределы мощностей турбогенераторов и возможные их системы охлаждения представлены в табл. В3. Если система охлаждения или тип турбогенератора не заданы, то при выборе системы охлаждения проектируемого турбогенератора можно воспользоваться табл. В3.

Таблица В3

Пределы мощности МВт	Система охлаждения	Тип турбогенератора
До 50	Косвенное воздушное	Т, Т2
30...100	Косвенное водородное	ТВ
70...250	Косвенное водородное обмотки и сердечника статора, непосредственное водородное обмотки ротора	ТВФ
200...1200	Непосредственное – водой обмотки статора, водородом обмотки ротора	ТВВ

В отношении не заданных величин проектируемый турбогенератор должен удовлетворять государственным и отраслевым стандартам, и в частности ГОСТ 533-2000. Турбогенераторы.

**Литература.** При выполнении проекта целесообразно воспользоваться литературой основной [1, 2, 7] для всех типов турбогенераторов и дополнительной [3–6, 8–10]. Рекомендуется использовать при выборе основных размеров турбогенератора и проектировании обмоток статора и ротора [5], для расчета магнитной цепи, параметров, токов короткого замыкания, потерь и КПД [4], при разработке конструкции и выполнении чертежей общего вида турбогенератора [2, 4, 7, 8].

Справочные данные по турбогенераторам, выпускаемым серийно, а также по их ремонту, можно найти в [8], краткое описание систем возбуждения турбогенераторов в [2, 6].

При построении характеристик турбогенератора – диаграммы Потье, внешней, регулировочной,  $U$ -образной – целесообразно воспользоваться [4, 9].

**Содержание курсового проекта.** В общем виде курсовой проект состоит из текстовой документации (пояснительная записка) и графического материала (чертеж общего вида турбогенератора).

**Пояснительная записка** включает в себя титульный лист, бланк задания на проектирование (**Приложение 1**), содержание, введение, основные разделы, заключение, список литературы, приложения.

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4, желательно на одной стороне листа в текстовом редакторе Word. При изложении текста записки на одной стороне листа следует пронумеровать страницы внизу справа; при изложении текста с двух сторон листа нечетные страницы нумеровать внизу справа, а четные – внизу слева. Бланк задания не нумеруется.

Для записи формул расчета в пояснительной записке, оформленной в текстовом редакторе Word, используются редакторы формул Equation 3.0 или Mathaip. В редакторе записывается исходная формула, затем делается подстановка цифр и записывается конечный результат расчета с указанием размерности, как представлено в примере расчета.

По ходу расчетов следует давать обоснование к выбору основных размеров, электромагнитных нагрузок, удельных тепловых нагрузок и обоснование полученных результатов с указанием их предельных или рекомендуемых значений, если в этом есть необходимость.

Графический материал пояснительной записки – схемы обмоток статора и ротора, разрезы пазов статора и ротора, эскиз магнитопровода к расчету магнитной цепи, диаграмму Потье, характеристику холостого хода, регулировочную, внешнюю, нагрузочную,  $U$ -образную – целесообразно выполнить в Visio. Рисунки графического материала нумеруются.

В заключительной части записки следует дать критический анализ результатов расчета и сделать выводы.

При оформлении пояснительной записки следует придерживаться стандарта СТО ТПУ 2.5.01–2006 «Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления». Стандарт СТО ТПУ 2.5.01–2006 можно найти на сайте ТПУ <http://standart.tpu.ru/standart.html>.

Наименование основных разделов представлено в примерном графике выполнения курсового проекта.

*Примерный график выполнения курсового проекта*

№ пп	Наименование разделов	% выполнения
1	Выбор основных размеров	5
2	Проектирование обмотки статора	10
3	Проектирование обмотки ротора	25
4	Расчет магнитной цепи	30
5	Построение диаграммы Потье	40
6	Расчет параметров и постоянных времени	50
7	Расчет потерь и коэффициента полезного действия	65
8	Расчет и построение характеристик турбогенератора	80
9	Оформление пояснительной записки и чертежей	100

График позволяет студентам заочного обучения оценить выполненный объем работы. На основании графика для студентов дневного обучения составляется календарный план выполнения проекта и проводится аттестация.

Выполненные разделы проекта студентами очного обучения представляются на проверку преподавателю курсового проекта в сроки, установленные календарным планом.

В законченном виде курсовой проект подлежит защите на кафедре.