

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЦЦОТ

\_\_\_\_\_ А.С. Фадеев

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЕКТ

Методические указания и индивидуальные задания  
для студентов ЦЦОТ, обучающихся по направлению  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
профиль «Электропривод и автоматика», «Электрооборудование и электрохо-  
зяйство предприятий, организаций и учреждений», «Электромеханика»

*Составитель И.А. Чернышев*

<b>Семестр</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Зачетные единицы		4
Практические занятия	2	2
Самостоятельная работа, часов		140
Форма контроля		дифферен- циальный зачет

Издательство  
Томского политехнического университета  
2019

УДК 69.002 5(035)

Комплексный проект: метод. указ. для студентов ЦЦОТ, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электропривод и автоматика», «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», «Электромеханика» / сост. И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 13 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром ОЭЭ ИШЭ  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 года, протокол № \_\_\_.

И.о. руководителя ОЭЭ ИШЭ,  
кандидат техн. наук

А.С. Ивашутенко

#### **Аннотация**

Методические указания по дисциплине «Комплексный проект» предназначены для студентов ЦЦОТ, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электропривод и автоматика» «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», «Электромеханика». Комплексный проект выполняется в одном семестре. Приведено содержание основных тем дисциплины. Приведены варианты заданий.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Содержание теоретического раздела дисциплины .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Задание на комплексный проект.....</b>	<b>8</b>
3.1. Общие методические указания.....	8
3.2. Требования к оформлению пояснительной записки .....	8
комплексного проекта .....	8
3.3. Варианты заданий .....	9
<b>4. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....</b>	<b>11</b>
4.1. Литература обязательная.....	11
4.2. Литература дополнительная .....	11
4.3. Интернет-ресурсы .....	12

## 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Комплексный проект» относится к вариативной части междисциплинарного профессионального модуля.

Согласно учебному плану для дисциплины предусмотрены следующие виды учебной деятельности:

Семестр	8	9
Зачетные единицы		4
Практические занятия	2	2
Самостоятельная работа, часов		140
Форма контроля		дифференциальный зачет

Для полноценного усвоения дисциплины большое значение имеют знания, умения, навыки и компетенции, приобретенные студентами при изучении следующих дисциплин (пререквизиты): «Электрические машины», «Электрические и электронные аппараты», «Электрический привод», «Силовая электроника», «Элементы систем автоматики».

Содержание дисциплины согласовано с содержанием изучаемых параллельно разделов дисциплин (кореквизиты): «Теория электропривода», «Математическое моделирование электромеханических систем», «Монтаж, наладка и диагностика общепромышленных электроприводов», «Математическое моделирование в электротехнике», «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования», «Математическое моделирование в электромеханике»

В результате успешного освоения дисциплины студент будет

**знать:**

- знать схему подключения преобразователя частоты и асинхронного двигателя с соблюдением требований электромагнитной совместимости;
- марки проводов, применяемых для подключения преобразователя частоты и асинхронного двигателя;
- законы регулирования при скалярном управлении;
- способы регулирования скорости асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;

**уметь:**

- производить выбор электротехнического оборудования;

- выбирать сечение проводов в зависимости от значения тока;
- рассчитывать параметры схемы замещения;
- рассчитывать параметры системы «ПЧ-АД» с положительной обратной связью по току

- работать в программах Mathcad и MATLAB;

**владеть:**

- опытом проектирования электропривода переменного тока по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» с положительной обратной связью по току;
- опытом анализа переходных процессов.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

### Тема 1. Схема замещения асинхронного двигателя, ее параметры. Статические характеристики.

Физические процессы, параметры, схема замещения, режимы работы асинхронных машин. Естественные и искусственные статические характеристики. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя и его механических и электромеханических характеристик.

Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по справочным данным. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным.

Неподвижная, жестко связанная со статором координатная система  $\alpha, \beta$ . Вращающаяся со скоростью  $\omega_{\text{кв}}$  произвольно ориентированная координатная система  $x, y$ .

Учет эффекта вытеснения тока в обмотке ротора и насыщения магнитной системы.

**Рекомендуемая литература:** [1, разд. 2], [3, разд.1].

#### Методические указания

**Знать.** Режимы работы асинхронных машин. Схему замещения. Порядок расчета параметров схемы замещения. **Изучить.** Схемы замещения в неподвижной и во вращающейся координатных системах. Статические характеристики. Влияние эффекта вытеснения тока в обмотке ротора на характеристики

#### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Назовите элементы схемы замещения.
2. Что такое механическая и электромеханическая характеристики асинхронного двигателя?
3. Как влияет эффект вытеснения тока в обмотке ротора и насыщение магнитной системы на статические характеристики?
4. Как определяются параметры схемы замещения асинхронного двигателя по справочным данным?
5. Что такое вращающаяся система координат?

## **Тема 2. Регулирование скорости асинхронного двигателя**

Принципы управления координатами асинхронного короткозамкнутого двигателя в разомкнутой структуре при неизменной скорости поля. Регулирование скорости АД с фазовым регулированием угловой скорости. Тиристорные пусковые устройства. Регулирование скорости изменением напряжения обмоток статора.

Регулирование скорости асинхронных двигателей изменением частоты напряжения статора. Преобразователи частоты для электроприводов переменного тока. Автономные инверторы тока и напряжения. Скалярное управление и законы регулирования. Система «преобразователь частоты-асинхронный двигатель» с положительной обратной связью по току. Структурные схемы.

**Рекомендуемая литература:** [1, разд. 3,4], [3, раздел 3,4].

### **Методические указания**

**Знать.** Способы регулирования скорости асинхронного двигателя. Законы регулирования при скалярном управлении. Классификацию преобразователей частоты. **Изучить.** Принцип действия преобразователей частоты. Систему «преобразователь частоты-асинхронный двигатель» с положительной обратной связью по току

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Что из себя представляет тиристорное пусковое устройство?
2. Назовите основные модули преобразователя частоты.
3. Напишите законы регулирования при скалярном управлении и нарисуйте их характеристики.
4. К какому классу преобразователей частоты относятся автономные инверторы тока и напряжения?
5. Поясните принцип синусоидальной широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

## 3. ЗАДАНИЕ НА КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЕКТ

### 3.1. Общие методические указания

В соответствии с учебным планом предусмотрено выполнение Комплексного проекта. Оно заключается в выборе электрооборудования, расчете параметров схемы замещения асинхронного двигателя, расчете статических и динамических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

### 3.2. Требования к оформлению пояснительной записки комплексного проекта

При оформлении проекта необходимо соблюдать следующие требования.

1. Комплексный проект должен иметь титульный лист, оформленный в соответствии со стандартами ТПУ. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы, шифр. **Образец оформления и шаблон титульного листа** размещены на сайте ЦЦОТ в разделе СТУДЕНТУ → ДОКУМЕНТЫ (<http://portal.tpu.ru/ido-tpu>).

2. Пояснительная записка комплексного проекта оформляется отдельным файлом.

3. Текст записки набирается в текстовом редакторе Microsoft Word. Шрифт – Times New Roman, размер 12–14 pt, для набора формул рекомендуется использовать редактор формул Microsoft Equation.

4. Оформление результатов должно быть подробным, с включением промежуточных расчётов, указанием использованных формул, моделей и структурных схем.

5. Страницы пояснительной записки должны иметь сквозную нумерацию.

6. В записку включается список использованной литературы.

**Номер варианта комплексного проекта определяется по последним двум цифрам номера зачетной книжки. Если образуемое ими число больше 20, то следует взять сумму этих цифр. Например, если номер зачетной книжки Д-5А10/11, то номер варианта задания равен 11. Если номер зачетной книжки З-5А10/25, то номер варианта задания равен 7.**



### 3.3. Варианты заданий

№ варианта	Тип двигателя*	Синхронная частота вращения, об/мин	Число пар полюсов, $p$	Закон регулирования**
1	АИР160S6	1000	3	$\frac{U}{f} = const$
2	5A90L6K	1000	3	$\frac{U}{f^2} = const$
3	1LG4160L	3000	1	$\frac{U}{\sqrt{f}} = const$
4	АИР112М4	1500	2	$\frac{U}{f} = const$
5	6A315S8	750	4	$\frac{U}{f^2} = const$
6	АИР112МА8	750	4	$\frac{U}{f} = const$
7	1LG4225S	1500	2	$\frac{U}{\sqrt{f}} = const$
8	5A225S4K	1500	2	$\frac{U}{f^2} = const$
9	1LA6315L	1500	2	$\frac{U}{\sqrt{f}} = const$
10	АИР315S8	750	4	$\frac{U}{f} = const$
11	1LA6160M	750	4	$\frac{U}{\sqrt{f}} = const$
12	АИР132М2	3000	1	$\frac{U}{f^2} = const$
13	6A160L6	1000	3	$\frac{U}{\sqrt{f}} = const$
14	1LA6280S	1000	3	$\frac{U}{\sqrt{f}} = const$
15	АИР250М4	1500	2	$\frac{U}{f} = const$
16	5A90L2K	3000	1	$\frac{U}{\sqrt{f}} = const$

17	1LG4200L	750	4	$\frac{U}{f^2} = const$
18	AIP225M8	750	4	$\frac{U}{f} = const$
19	6A160L4	1500	2	$\frac{U}{f^2} = const$
20	AIP100L6	1000	3	$\frac{U}{f} = const$

**\*Все двигатели рассчитаны на напряжение  $U_{1л} = 380 В$ .**

**\*\*Принимаем скалярное управление.**

**В рамках данного проекта необходимо разработать электропривод переменного тока по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель». Комплексный проект должен включать разработку следующих вопросов:**

1. Согласно варианту, определить дополнительные параметры двигателя, приведенные в справочных материалах.
2. Рассчитать параметры и выбрать электрооборудование, используя справочные материалы – преобразователь частоты, трехполюсный выключатель, предохранители, сглаживающие индукционные фильтры и дроссели, питающий кабель.
3. Рассчитать параметры схемы замещения асинхронного двигателя.
4. Построить статические характеристики двигателя.
5. Рассчитать динамические характеристики прямого пуска двигателя с нагрузкой и без.
6. Построить статические характеристики системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ-АД) с учетом положительной обратной связи по току при  $k_{кМ} = 0,25; 0,5; 0,75$ .
7. Рассчитать динамические характеристики в системе «ПЧ-АД», изменяя постоянную времени задатчика интенсивности (время разгона – 2 с; 5 с; 10 с) и  $k_{кМ} = 0,25; 0,5; 0,75$  при различных частотах задания (5 – 50 Гц, взять три значения).
8. Для частот 10 Гц, 30 Гц и 50 Гц рассчитать динамические характеристики при различных моментах нагрузки (время разгона и коэффициент обратной связи  $k_{кМ}$  принять любым)
9. Обработать статические и динамические характеристики.
10. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

## **4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1. Литература обязательная**

1. Дементьев Ю.Н. Электрический привод: учебное пособие для академического бакалавриата / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2-е изд.. — Москва: Юрайт, 2016. — 223 с.: ил..

2. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод типовых производственных механизмов: учебное пособие / Ю. Н. Дементьев [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — 404 с.: ил.

3. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов учебное пособие: Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод / Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин ; Томский политехнический университет . — 2-е изд., перераб. и доп. . — Томск . — 2014. — 648 с.: ил.

### **4.2. Литература дополнительная**

4. Акимова Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: учеб. пособие для среднего профессионального образования / Н.А. Акимова; под ред. Н.Ф. Котеленца. — 2-е изд., стер. — М.: Академия, 2004. — 296 с.

5. Дайнеко В. А. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики : учебное пособие / В. А. Дайнеко, Е. П. Забелло, Е. М. Прищепова. — Минск; Москва: Новое знание Инфра-М, 2015. — 333 с.: ил.

6. Монтаж и наладка электрооборудования: учебник / под ред. Б. И. Кудрина. — Москва: Академия, 2016. — 240 с.: ил.. — Высшее образование. Электротехника. —Бакалавриат. — Библиогр.: с. 237.

7. Библия электрика: ПУЭ, ПОТ, ПТЭ: [сборник нормативных документов]. — Новосибирск: Норматика, 2016. — 672 с.: ил.

8. Нестеренко В. М. Технология электромонтажных работ: учебное пособие для начального профессионального образования / В. М. Нестеренко, А. М. Мысьянов. — 12-е изд., стер.. — Москва: Академия, 2015. — 590 с.: ил.

9. Кисаримов Р. А. Монтаж электрооборудования: справочник. — Москва: РадиоСофт, 2015. — 512 с.: ил.

10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Атомиздат, 1999. – 432 с.

11. Фролов Ю. М. Регулируемый асинхронный электропривод: учебное пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 463 с.: ил.

### 4.3. Интернет-ресурсы

12. СТО ТПУ 2.5.01-2011. Система образовательных стандартов. Работы выпускные, квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления / ТПУ [Электронный ресурс]. – Томск, 2011.

13. electroprivod.com: интернет-магазин электротехники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electroprivod.com/>, вход свободный.

14. [https://www.owen.ru/uploads/rpr\\_pchv\\_002.pdf](https://www.owen.ru/uploads/rpr_pchv_002.pdf)

15. <http://en-el.ru/cables>

16. [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgeng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgeng-ls/)

17. <https://www.elec.ru/viewer?url=files/127/000001066/attfile/01.pdf>

18. <http://kabel-vvg.ru/tehnicheskie-harakteristiki-kabelya-vvg/>

Учебное издание

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЕКТ

Методические указания

*Составитель*  
ЧЕРНЫШЕВ Игорь Александрович


Рецензент  
*кандидат технических наук,  
доцент ОЭЭ ИШЭ  
Данекер В.А.*



Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета  
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)