

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор

А.А. Каракозов

(подпись)

« 31 » марта 2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.06 Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем

Направление подготовки:	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (код и наименование направления / специальности)
Профиль:	Электрические станции, Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии (наименование профиля / магистерской программы / специализации)
Программа:	бакалавриат (бакалавриат, магистратура, специалитет)
Форма обучения:	очная, заочная (очная, заочная, очно-заочная)


Форма обучения	Очная	Заочная
Семестр	7	9
Общая трудоёмкость в з.е./часах	6/216	6/216
Контактная работа (час.), в том числе	91	26
лекции (час.)	51	8
лабораторные работы (час.)	17	4
практические (семинарские) занятия (час.)	17	6
Самостоятельная работа (час.), в том числе	71	154
курсовой проект/работа (семестр)	21	21
Контроль (экзамен, час./зачёт)	экз., 54	экз., 36

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем» составлена в соответствии с учебным планом по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (направленности (профили) «Электрические станции» и «Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии») для 2023 года приёма по очной и заочной формам обучения.


Составитель:

Заведующий кафедрой

«Электрические станции», к.т.н.  Ткаченко С.Н.
(подпись)

Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры «Электрические станции».

Протокол от «14» 03 2023 года № 7

Заведующий кафедрой  Ткаченко С.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника».

Протокол от «23» 03 2023 года № 3

Председатель  Ткаченко С.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические станции».

Протокол от «____» _____ 20__ года № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические станции».

Протокол от «____» _____ 20__ года № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические станции».

Протокол от «____» _____ 20__ года № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

1 ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина рассматривает вопросы функционирования и принципов построения устройств и систем релейной защиты и автоматизации объектов электроэнергетических систем.

Цель дисциплины:

Формирование знаний, умений и представлений в области теории и практики применения систем релейной защиты и автоматики.

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать:

особенности аварийных и аномальных режимов работы в электроэнергетических системах различных классов напряжений; назначение, элементную базу, функциональные части и органы, основные принципы действия устройств и систем релейной защиты и автоматики, функции, свойства и требования, предъявляемые к её устройствам; особенности исполнения защиты и автоматики кабельных и воздушных линий электропередач, элементов электрических станций и подстанций, потребителей электроэнергии; схемы релейной защиты на основе аппаратных функциональных элементов; измерительные системы синусоидальных напряжений и токов, применяемые в устройствах релейной защиты и автоматики; достижения научно-технического прогресса в области релейной защиты и автоматики, перспективы её развития и совершенствования; способы согласования действия токовой защиты и устройств автоматики; вопросы микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики объектов электрических станций и энергосистем;

уметь:

анализировать научную и техническую литературу по тематике исследования; понимать и составлять схемы релейной защиты для объектов электроэнергетических систем и объектов электроснабжения;

владеть:

владеть методами выбора и обоснования релейной защиты электроэнергетических объектов, а также расчёта параметров их срабатывания, владеть методами выбора измерительных трансформаторов тока и напряжения, владеть методами проверки работоспособности устройств релейной защиты.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: ПК-3; ПК-4; ПК-5.

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

Дисциплина относится к циклу профессиональных дисциплин вариативной части учебного плана.

Базируется на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: общая физика, теоретические основы электротехники, высшая математика, электромагнитные переходные процессы, электрические машины, электрические аппараты, электротехнические материалы.

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при изучении последующих дисциплин элементы систем автоматики, автоматизация производственных процессов программы бакалаврской подготовки, микропроцессорная релейная защита, интеллектуальные защиты программы магистерской подготовки; прохождении государственной итоговой аттестации.

3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

№ те мы	Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная/заочная форма)				
		Всего	В том числе			
			Лекции	Практ.	Лабор.	СРС
1	Назначение релейной защиты и автоматики	7/7	2/1	0/0	0/0	4/6
2	Основные принципы построения релейной защиты и автоматики	9/9	4/1	2/0	0/0	3/6
3	Основные виды повреждений и аномальных режимов работы в электроустановках	8/9	4/1	0/0	0/0	4/6
4	Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий.	10/8	4/1	2/2	2/1	4/6
5	Максимальная токовая защита (МТЗ) от междуфазных коротких замыканий. Ступенчатая токовая защита (СТЗ)	8/7	4/1	2/2	2/1	4/6
6	Направленная токовая защита	10/8	4/1	0/0	2/0	4/6
7	Защиты от замыканий на землю в сетях с глухозаземленной и эффективно заземленной нейтралью	10/9	4/1	0/0	0/0	4/8
8	Защиты от замыканий на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью	12/10	2/0	2/2	2/0	6/8
9	Дистанционная защита	8/9	2/0	3/0	2/0	4/8
10	Продольная дифференциальная токовая защита	10/8	2/0	0/0	2/0	4/8
11	Поперечная дифференциальная защита	8/8	2/0	0/0	0/0	4/8
12	Релейная защита и автоматика силовых трансформаторов и автотрансформаторов	8/8	2/0	4/0	2/0	4/8
13	Релейная защита синхронных генераторов переменного тока. Особенности выполнения релейной защиты блоков ге-	8/8	2/0	0/0	0/0	4/8

	нератор-трансформатор					
14	Релейная защита синхронных и асинхронных электродвигателей	6/10	3/0	2/0	0/0	2/10
15	Особенности выполнения защит блоков линия-трансформатор. Высокочастотные защиты. Дифференциально-фазная защита	6/10	2/0	0/0	0/0	2/10
16	Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ). Защита сборных шин. Устройство АВР и АЧР	6/11	2/0	0/0	3/2	2/10
17	Релейная защита и автоматика системы собственных нужд электростанций и подстанций	8/10	2/0	0/0	0/0	4/10
18	Принципы построения и особенности микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики.	8/10	2/1	0/0	0/0	4/10
19	Особенности построения и функционирования систем релейной защиты и автоматики в энергосистемах с большой долей возобновляемых источников энергии концепции Smart Grid.	6/13	2/0	0/0	0/0	4/12
Контактная работа (дополнительная)		6/8				6/8
Курсовая работа (проект)		21/21				21/21
Итого по видам занятий		162/180	51/8	17/6	17/4	71/154
Контроль		54/36	54/36			
ИТОГО		216/216				

Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на выработку компетенции
ПК-3	Темы 1-19
ПК-4	Темы 1, 5-10
ПК-5	Темы 1, 4-12

3.2 Лекции

Тема 1. Назначение релейной защиты и автоматики

Содержание темы 1: Понятие релейной защиты. Краткие сведения из истории развития РЗА. Классификация реле, способы изображения.

Литература к теме 1: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 2. Основные принципы построения релейной защиты и автоматики.

Содержание темы 2: Принцип построения релейной защиты. Понятие пусковых органов и логической части. Понятие основных и резервных защит. Функции релейной защиты. Требования к релейной защите. Краткие сведения о автоматических выключателях и схемах их управления. Источники оперативного тока.

Литература к теме 2: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 3. Основные виды повреждений и аномальных режимов работы в электроустановках.

Содержание темы 3: Понятие нормального, аномального и аварийного режимов работы. Особенности аномальных режимов работы. Классификация и особенности коротких замыканий (КЗ) в электроустановках.

Литература к теме 3: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 4. Токовая отсечка от междупазных коротких замыканий.

Содержание темы 4: Основные принципы построения защит с относительной селективностью. Принцип действия токовых отсечек (ТО) мгновенного действия. ТО с выдержкой времени.

Литература к теме 4: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 5. Максимальная токовая защита (МТЗ) от междупазных коротких замыканий. Ступенчатая токовая защита (СТЗ).

Содержание темы 5: Понятие и принцип действия максимальной токовой защиты (МТЗ) от междупазных коротких замыканий. Схемы включения пусковых органов МТЗ. Выбор уставок (параметров срабатывания) МТЗ с независимой выдержкой времени. Способы повышения чувствительности МТЗ. Выбор выдержки времени МТЗ. Принцип построения и особенности функционирования ступенчатой токовой защиты (СТЗ).

Литература к теме 5: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 6. Направленная токовая защита.

Содержание темы 6: Понятие, принцип действия и обоснование необходимости установки направленных токовых защит (НТЗ). Схемы включения реле направления мощности. Требования к схемам включения. Выбор уставок НТЗ. Токовые направленные отсечки.

Литература к теме 6: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 7. Защиты от замыканий на землю в сетях с глухозаземленной и эффективно заземленной нейтралью.

Содержание темы 7: Общие сведения и специфика защит от замыканий на землю в сетях с глухозаземленной и эффективно заземленной. Токовые отсечки

нулевой последовательности. Токовые направленные отсечки нулевой последовательности (НП). МТЗ НП. Выбор параметров срабатывания МТЗ НП. Токовая направленная защита НП. Ступенчатая токовая защита НП.

Литература к теме 7: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 8. Защиты от замыканий на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью.

Содержание темы 8: Особенности переходных процессов при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ). Основные требования ПУЭ к защите (ОЗЗ). Устройство общей неселективной сигнализации от замыкания на землю. Устройство селективной сигнализации замыканий на землю в кабельных сетях напряжением 6-10 кВ. Токовые защиты, реагирующие на ёмкостной ток сети и на искусственно созданные токи нулевой последовательности. Способы получения искусственного тока. Токовая защита, реагирующая на полный ток НП. Принцип работы и устройство трансформатора тока нулевой последовательности. Принцип работы и особенности и реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-51. Определение параметров срабатывания токовой защиты от ОЗЗ. Проверка чувствительности защиты от ОЗЗ. Направленная защита, реагирующая на ёмкостной ток сети и на искусственно созданные токи НП.

Литература к теме 8: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 9. Дистанционная защита.

Содержание темы 9: Назначение и принцип действия дистанционной защиты (ДЗ). Характеристики выдержки времени ДЗ. Упрощенная схема дистанционной защиты и особенности её работы. Блокировка от нарушения цепей напряжения. Блокировка от качаний. Характеристики срабатывания реле сопротивления. Схемы включения реле сопротивления. Оценка точности работы реле сопротивления. Выбор параметров срабатывания дистанционной защиты. Область применения дистанционных защит на объектах энергосистем.

Литература к теме 9: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 10. Продольная дифференциальная токовая защита.

Содержание темы 10: Назначение и классификация дифференциальных защит. Принцип действия продольной дифференциальной защиты (ПДЗ). Токи небаланса в дифференциальной защите. Принципы выполнения ПДЗ линий электропередач. Особенности использования дифференциальных реле с торможением.

Литература к теме 10: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 11. Поперечная дифференциальная защита.

Содержание темы 11: Назначение и принцип действия поперечной дифференциальной защиты параллельных линий электропередач. Определение параметров срабатывания. Мертвая зона поперечной дифференциальной защиты. Особенности схемы токовой поперечной дифференциальной защиты. Назначение, принцип действия и особенности исполнения направленной поперечной дифференциальной защиты.

Литература к теме 11: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 12. Релейная защита и автоматика силовых трансформаторов и автотрансформаторов.

Содержание темы 12: Анализ нормальных, аномальных и аварийных режимов работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Требования ПУЭ относительно релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности продольной дифференциальной защиты трансформаторов. Обоснование необходимости и меры по выравниванию вторичных токов в плечах ПДЗ. Токи небаланса в дифференциальной защите. Газовая защита. Защита от перегрузки и МТЗ трансформаторов. Схемы РЗ трансформаторов и автотрансформаторов.

Литература к теме 12: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 13. Релейная защита синхронных генераторов переменного тока. Особенности выполнения релейной защиты блоков генератор-трансформатор.

Содержание темы 13: Анализ нормальных, аномальных и аварийных режимов работы синхронных генераторов переменного тока. Требования ПУЭ относительно релейной защиты и автоматики синхронных генераторов. Особенности продольной дифференциальной защиты синхронных генераторов и повышающих блочных трансформаторов. Токи небаланса в дифференциальной защите. Поперечная дифференциальная защита синхронных генераторов. Защита от перегрузки токами обратной последовательности, дистанционная защита от внешних симметричных КЗ. Защита от ОЗЗ синхронных генераторов. Особенности выполнения и схемы релейной защиты блоков генератор-трансформатор.

Литература к теме 13: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 14. Релейная защита синхронных и асинхронных электродвигателей.

Содержание темы 14: Анализ нормальных, аномальных и аварийных режимов работы синхронных и асинхронных электродвигателей. Требования ПУЭ относительно релейной защиты и автоматики синхронных и асинхронных электродвигателей. Токовая отсечка электродвигателей. Особенности продольной дифференциальной защиты синхронных и асинхронных электродвигателей. Токи небаланса в дифференциальной защите. Защита от перегрузки током статора. Защита от ОЗЗ присоединения кабель-двигатель. Защита от асинхронного режима синхронного электродвигателя. Групповая защита минимального напряжения секции с двигательной нагрузкой. Схемы релейной защиты синхронных и асинхронных электродвигателей.

Литература к теме 14: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 15. Особенности выполнения защит блоков линия-трансформатор. Высокочастотные защиты. Дифференциально-фазная защита.

Содержание темы 15: Особенности выполнения защит блоков линия-трансформатор. Анализ особенностей существующих решений. Назначение, принцип действия и особенности исполнения высокочастотной дифференциально-фазной защиты (ДФЗ).

Литература к теме 15: [[1](#),[2](#),[3](#),[4](#),[5](#),[6](#)]

Тема 16. Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ). Защита сборных шин. Устройство АВР, АПВ и АЧР.

Содержание темы 16: Понятие, назначение и принцип действия устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ). Принципы построения защиты сборных шин. Понятие дифференциальной защиты шин (ДЗШ). Расчёт параметров срабатывания ДЗШ. Понятие, назначение и принцип действия устройств автоматического ввода резервного питания (АВР), автоматического повторного включения (АПВ) и автоматической частотной разгрузки (АЧР).

Литература к теме 16: [\[1,2,3,4,5,6\]](#)

Тема 17. Релейная защита и автоматика системы собственных нужд электростанций и подстанций.

Содержание темы 17: Анализ режимов работы сети собственных нужд современных электрических станций и подстанций. Требования ПУЭ и особенности релейной защиты и автоматика системы собственных нужд электростанций и подстанций.

Литература к теме 17: [\[1,2,3,4,5,6\]](#)

Тема 18. Принципы построения и особенности микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики.

Содержание темы 18: Принцип действия и конструктивные особенности микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики. Специфика настройки (наладки) цифровых терминалов. Управление и связь. Система цифровой регистрации аварийных ситуаций (РАС).

Литература к теме 18: [\[1,2,3,4,5,6\]](#)

Тема 19. Особенности построения и функционирования систем релейной защиты и автоматики в энергосистемах с большой долей возобновляемых источников энергии концепции Smart Grid.

Содержание темы 19: Понятие энергосистемы с большой долей возобновляемых источников энергии концепции Smart Grid. Особенности организации каналов связи для скоростного обмена информацией между терминалами релейной защиты в рамках протокола МЭК 61850. Место и роль микропроцессорных терминалов в иерархии управления цифровой подстанцией. Понятие адаптивных уставок.

Литература к теме 19: [\[1,2,3,4,5,6\]](#)

3.3 Практические занятия

№ п/п	Тема работы	Объем, час. очн/заочн	Литература
1	Определение тока срабатывания токовой отсечки и расчёт коэффициента чувствительности. Определение зоны действия токовой отсечки	2/1	[10]
2	Определение тока и времени срабатывания МТЗ. Определение коэффициента чувствительности МТЗ	2/1	[10]
3	Проверка трансформаторов тока на 10% погреш-	2/1	[10]

	ность		
4	Определение сопротивления срабатывания дистанционной защиты	2/1	[10]
5	Расчёт дифференциальной защиты трансформатора с использованием реле РНТ-565	2/0	[10]
6	Расчёт дифференциальной защиты трансформатора и генератора с использованием реле ДЗТ-11	2/1	[10]
7	Определения тока срабатывания токовой отсечки и защиты от перегрузки асинхронных электродвигателей	2/1	[10]
8	Определение тока срабатывания защиты от замыкания на землю присоединения кабель-электродвигатель	2/0	[10]
ИТОГО		17/6	

3.4 Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час. очн/заочн	Литература
1	Исследование электромагнитных и статических реле тока и напряжения	2/1	[7]
2	Исследование вспомогательных реле: времени, промежуточных, указательных	2/1	[7]
3	Испытание индукционного реле тока типа РТ-80	2/0	[7]
4	Исследование реле направления мощности	2/1	[7]
5	Исследование максимальной направленной токовой защиты от междуфазных коротких замыканий	2/1	[7]
6	Исследование реле типа ДЗТ-11 и дифференциальной защиты трансформатора	2/0	[7]
7	Исследование токовой защиты от замыканий на землю с использованием статического реле типа РТЗ-51, применяемой в сетях с изолированной нейтралью	2/1	[7]
8	Исследование микропроцессорного терминала релейной защиты и автоматики ABB® REF 541	3/0	[7]
ИТОГО		17/4	

3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. очн/заочн
1	Изучение лекционного материала	30/75
2	Подготовка к практическим занятиям	18/30
3	Подготовка к лабораторным работам	20/30
4	Выполнение курсового проекта	–
5	Выполнение курсовой работы	27/27
6	Выполнение индивидуального задания	0/0
ИТОГО		95/162

3.6 Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

Курсовая работа по дисциплине предусмотрена в 7-м семестре и посвящена проектированию релейной защиты и автоматики блока генератор-

трансформатор или трансформатора собственных нужд энергоблока ТЭС и двух электродвигателей [6,8]. Выполнение курсовой работы способствует углубленной проработке основных тем дисциплины.

Цель – закрепление знаний по изложенному лекционному курсу и развитие навыков самостоятельной работы при проектировании релейной защиты и автоматики объектов электроэнергетических систем.

В результате выполнения работы обучающийся должен:

- знать принципы выбора систем релейной защиты и автоматики энергообъектов;
- уметь пользоваться нормативной и справочной литературой;
- владеть методиками выбора релейной защиты электрооборудования и расчёта параметров её срабатывания.

Курсовая работа оформляется на листах формата А4. Рекомендуемый объём пояснительной записки – 30-40 страниц формата А4.

Объём учебной нагрузки при выполнении курсовой работы – 27 часов.

Индивидуальное задание по дисциплине не предусмотрено учебным планом.

4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

Составляющая компетенции – полнота знаний

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, неточные и неаргументированные ответы на вопросы. Допущено много грубых ошибок. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;
- средний уровень: даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

Составляющая компетенции – умения

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;

- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу;

- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе;

- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;

- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;

- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой производственный опыт.

Составляющая компетенции – владение навыками

- нулевой уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Не может выполнить задания;

- минимальный уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;

- пороговый уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач на пороговом уровне. Задания выполняет медленно и некачественно;

- средний уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач. Задания выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;

- продвинутый уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, иногда допуская незначительные погрешности;

- высокий уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, при необходимости демонстрируя творческий подход.

Обобщенная оценка сформированности компетенций

- нулевой уровень: на нулевом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;

- минимальный уровень: на минимальном уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;

- пороговый уровень: на пороговом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;

- средний уровень: на среднем уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;

- продвинутый уровень: на продвинутом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на высоком уровне;

- высокий уровень: на высоком уровне сформированы все составляющие компетенций.

4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета

Вопросы к экзамену:

1. Назначение релейной защиты и автоматики. Понятие релейной защиты. Краткие сведения из истории развития РЗА. Классификация реле, способы изображения.

2. Принцип построения релейной защиты. Понятие пусковых органов и логической части. Понятие основных и резервных защит.

3. Функции релейной защиты. Требования к релейной защите. Краткие сведения о автоматических выключателях и схемах их управления. Источники оперативного тока.

4. Понятие нормального, аномального и аварийного режимов работы. Особенности аномальных режимов работы. Классификация и особенности коротких замыканий (КЗ) в электроустановках.

5. Основные принципы построения защит с относительной селективностью. Принцип действия токовых отсечек (ТО) мгновенного действия. ТО с выдержкой времени.

6. Понятие и принцип действия максимальной токовой защиты (МТЗ) от междуфазных коротких замыканий. Схемы включения пусковых органов МТЗ.

7. Выбор уставок (параметров срабатывания) МТЗ с независимой выдержкой времени. Способы повышения чувствительности МТЗ.

8. Выбор выдержки времени МТЗ. Принцип построения и особенности функционирования ступенчатой токовой защиты (СТЗ).

9. Понятие, принцип действия и обоснование необходимости установки направленных токовых защит (НТЗ). Схемы включения реле направления мощности. Требования к схемам включения. Выбор уставок НТЗ. Токовые направленные отсечки.

10. Общие сведения и специфика защит от замыканий на землю в сетях с глухозаземленной и эффективно заземленной. Токовые отсечки нулевой последовательности. Токовые направленные отсечки нулевой последовательности (НП). МТЗ НП. Выбор параметров срабатывания МТЗ НП.

11. Токовая направленная защита НП. Ступенчатая токовая защита НП.

12. Особенности переходных процессов при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ). Основные требования ПУЭ к защите (ОЗЗ). Устройство общей неселективной сигнализации от замыкания на землю. Устройство селективной сигнализации замыканий на землю в кабельных сетях напряжением 6-10 кВ.

13. Токовые защиты, реагирующие на ёмкостной ток сети и на искусственно созданные токи нулевой последовательности. Способы получения искусственного тока. Токовая защита, реагирующая на полный ток НП. Принцип работы и устройство трансформатора тока нулевой последовательности.

14. Принцип работы и особенности и реле тока нулевой последовательности типа РТЗ-51. Определение параметров срабатывания токовой защиты от ОЗЗ. Проверка чувствительности защиты от ОЗЗ.

15. Направленная защита, реагирующая на ёмкостной ток сети и на искусственно созданные токи НП.

16. Назначение и принцип действия дистанционной защиты (ДЗ). Характеристики выдержки времени ДЗ. Упрощенная схема дистанционной защиты и особенности её работы. Блокировка от нарушения цепей напряжения. Блокировка от качаний.

17. Характеристики срабатывания реле сопротивления. Схемы включения реле сопротивления. Оценка точности работы реле сопротивления. Выбор параметров срабатывания дистанционной защиты. Область применения дистанционных защит на объектах энергосистем.

18. Назначение и классификация дифференциальных защит. Принцип действия продольной дифференциальной защиты (ПДЗ). Токи небаланса в дифференциальной защите. Принципы выполнения ПДЗ линий электропередач. Особенности использования дифференциальных реле с торможением.

19. Назначение и принцип действия поперечной дифференциальной защиты параллельных линий электропередач. Определение параметров срабатывания. Мертвая зона поперечной дифференциальной защиты.

20. Особенности схемы токовой поперечной дифференциальной защиты. Назначение, принцип действия и особенности исполнения направленной поперечной дифференциальной защиты.

21. Анализ нормальных, аномальных и аварийных режимов работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Требования ПУЭ относительно релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов и автотрансформаторов.

22. Особенности продольной дифференциальной защиты трансформаторов. Обоснование необходимости и меры по выравниванию вторичных токов в плечах ПДЗ. Токи небаланса в дифференциальной защите.

23. Газовая защита. Защита от перегрузки и МТЗ трансформаторов. Схемы РЗ трансформаторов и автотрансформаторов.

24. Анализ нормальных, аномальных и аварийных режимов работы синхронных генераторов переменного тока. Требования ПУЭ относительно релейной защиты и автоматики синхронных генераторов.

25. Особенности продольной дифференциальной защиты синхронных генераторов и повышающих блочных трансформаторов. Токи небаланса в дифференциальной защите. Поперечная дифференциальная защита синхронных генераторов.

26. Защита от перегрузки токами обратной последовательности, дистанционная защита от внешних симметричных КЗ. Защита от ОЗЗ синхронных генераторов. Особенности выполнения и схемы релейной защиты блоков генератор-трансформатор.

27. Анализ нормальных, аномальных и аварийных режимов работы синхронных и асинхронных электродвигателей. Требования ПУЭ относительно релейной защиты и автоматики синхронных и асинхронных электродвигателей. Токовая отсечка электродвигателей.

28. Особенности продольной дифференциальной защиты синхронных и асинхронных электродвигателей. Токи небаланса в дифференциальной защите. Защита от перегрузки током статора. Защита от ОЗЗ присоединения кабель-двигатель.

29. Защита от асинхронного режима синхронного электродвигателя. Групповая защита минимального напряжения секции с двигательной нагрузкой. Схемы релейной защиты синхронных и асинхронных электродвигателей.

30. Особенности выполнения защит блоков линия-трансформатор. Анализ особенностей существующих решений.

31. Назначение, принцип действия и особенности исполнения высокочастотной дифференциально-фазной защиты (ДФЗ).

32. Понятие, назначение и принцип действия устройства резервирования от-каза выключателя (УРОВ).

33. Принципы построения защиты сборных шин. Понятие дифференциальной защиты шин (ДЗШ). Расчёт параметров срабатывания ДЗШ.

34. Понятие, назначение и принцип действия устройств автоматического ввода резервного питания (АВР), автоматического повторного включения (АПВ) и автоматической частотной разгрузки (АЧР).

35. Анализ режимов работы сети собственных нужд современных электрических станций и подстанций. Требования ПУЭ и особенности релейной защиты и автоматика системы собственных нужд электростанций и подстанций.

36. Принцип действия и конструктивные особенности микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики. Специфика настройки (наладки) цифровых терминалов. Управление и связь. Система цифровой регистрации аварийных ситуаций (РАС).

37. Понятие энергосистемы с большой долей возобновляемых источников энергии концепции Smart Grid. Особенности организации каналов связи для скоростного обмена информацией между терминалами релейной защиты в рамках протокола МЭК 61850.

38. Место и роль микропроцессорных терминалов в иерархии управления цифровой подстанцией. Понятие адаптивных уставок.

Пример экзаменационного билета:

ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Уровень высшего профессио-
нального образования:

бакалавриат

(бакалавриат, специалитет, магистратура)

Направление подготовки (спе-
циальность):

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

(код, название)

Профиль:

Электрические станции

(название)

Семестр:

VII

Учебная дисциплина:

Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем

БИЛЕТ № 1

1. Классификация нормальных, аномальных и аварийных режимов работы объектов энергосистем;
2. Виды повреждений асинхронных (АД) и синхронных (СД) электродвигателей переменного тока и причины их возникновения. Релейная защита и автоматика АД и СД;
3. Рассчитать ток срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ), установленной на стороне высшего напряжения для трансформатора T (см. рис.1), и проверить её чувствительность.
4. Определить токи небаланса, срабатывания защиты, длину мёртвой зоны поперечной дифференциальной защиты параллельных ЛЭП напряжением 110 кВ (см. рис.1), а также проверить её чувствительность.

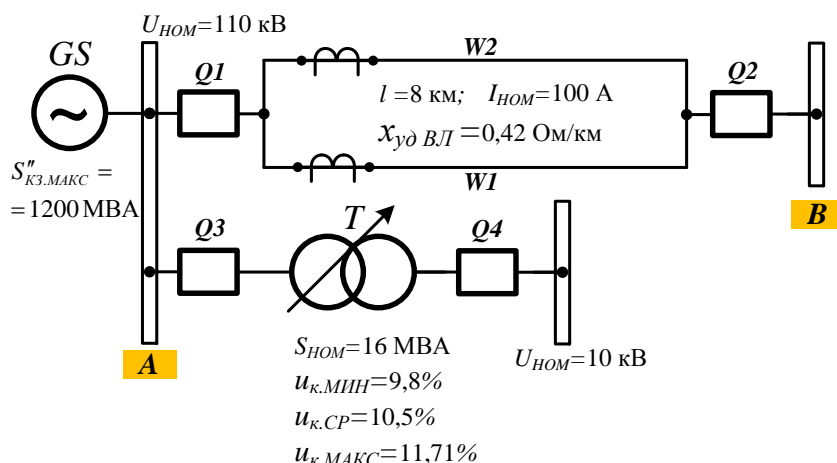


Рис.1

Утверждено на заседании кафедры «Электрические станции»
протокол № 1 от 31 августа 2022 г.

Зав. кафедрой, _____ Ткаченко С.Н.
экзаменатор (подпись)

4.3 Критерии оценивания

Текущий контроль знаний студента очной формы обучения осуществляется по результатам лабораторных работ; студента заочной формы обучения – по результатам выполнения контрольной работы.

Выполнение лабораторных работ с защитой отчёта, выполнение индивидуального задания (контрольной работы с получением отметки преподавателя о выполнении), предусмотренных рабочей программой дисциплины, является необходимым условием допуска студента к экзамену.

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена. Экзамен проводится письменно по билетам. В каждом билете содержится два теоретических вопроса (задания №1 и №2) и две задачи (задания №3 и №4). Заданиям присваиваются следующие

весовые коэффициенты: 0,2 0,2, 0,3 и 0,3. Сумма весовых коэффициентов равна единице.

Ответ на каждое задание оценивается по 100-балльной шкале.

Для каждого теоретического вопроса оценка «100» ставится в случае полного системного раскрытия вопроса без каких-либо неточностей. Баллы снимаются, если в ответе упущены какие-либо второстепенные моменты (до 10 баллов), допущены несущественные неточности (до 10 баллов), допущены существенные неточности при правильном ответе в целом (до 25 баллов), при недостаточном представлении материалов (баллы снимаются как процент недостающего материала с учетом его значимости). В случае неверного ответа на теоретический вопрос обучающийся получает за него ноль баллов.

Для задачи оценка «100» ставится в случае представления полного решения с правильным ходом и точным ответом, при верном указании единиц измерения всех физических величин, наличии поясняющих комментариев к расчету и выполненном полном анализе результатов (если требуется в задаче). Баллы снимаются, если в решении есть несущественные неточности, не повлиявшие на результат (до 15 баллов), неверно указаны или не указаны единицы измерения физических величин (до 15 баллов), допущены отдельные неточности в ходе решения, не искажившие ход решения в целом (до 25 баллов), неточность численных результатов (до 15 баллов), ошибки в анализе результатов (до 20 баллов). При отсутствии выполнения задания обучающийся получает ноль баллов.

Итоговая оценка за экзамен рассчитывается как сумма произведений оценок за каждое задание на их соответствующий весовой коэффициент и округляется до целого значения в большую сторону.

При оценивании студента на экзамене преподаватель руководствуется критериями, приведенными в таблице 1. **Максимально возможное количество баллов – 100.**

Пример расчета итоговой оценки по экзамену.

В билете имеется три задания с весовыми коэффициентами 0,2, 0,2, 0,3 и 0,3. Пусть оценки за каждое задание по 100-балльной шкале составили: 60, 90, 90 и 85, соответственно. Тогда итоговая оценка по экзамену составляет:

$$0,2 \cdot 60 + 0,2 \cdot 90 + 0,3 \cdot 90 + 0,3 \cdot 85 = 81,5 \approx 82,5 \text{ балл.}$$

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по национальной шкале и шкале ESTS. Для рассмотренного примера это оценки «хорошо» и «В» соответственно.

Таблица 1 – Распределение баллов по семестровому экзамену

Форма контроля		Максимально возможное количество баллов
Ответ на вопросы и решение задачи экзаменационного билета	вопрос 1	20
	вопрос 2	20
	задача 1	30
	задача 2	30
ИТОГО:		100

Сумма баллов по 100-бальной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо
75-79	C	
70-74	D	
60-69	E	Удовлетворительно
35-59	FX	
0-34	F*	Неудовлетворительно

* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

4.5 Пример текущего опроса на занятиях

На примере темы «Исследование электромагнитных и статических реле тока и напряжения».

1. Объясните сущность электромагнитного принципа на примере магнитной системы реле РТ-40?
2. Почему якорь электромагнитного реле тока движется ускоренно?
3. Что такое ток уставки? Что такое ток срабатывания (возврата)?
4. Что такое коэффициент возврата? Почему ток возврата максимальных реле меньше тока срабатывания?
5. Почему при втягивании якоря возникает вибрация подвижной системы?
6. Как отрегулировать ток срабатывания реле?
7. Как изменить ток возврата реле без изменения тока срабатывания?
8. Назовите параметры реле РТ-40/20?
9. Почему при переключении обмоток реле с последовательного соединения на параллельное ток срабатывания увеличивается в два раза?
10. Что такое провал контактов и как он связан с нажатием в контактах?
11. Чем ограничена «мощность контактов»?
12. Почему магнитная система реле шихтована, а якорь сплошной?
13. Назовите конструктивные отличия реле тока и реле напряжения.
14. Чем отличаются минимальные реле напряжения от максимальных?
15. Назовите конструктивные отличия реле серий ЭТ-520 и РТ-40?
16. Почему изменение подключения обмоток с последовательного на параллельное различно сказывается на параметрах срабатывания у реле тока и реле напряжения?

Текущий контроль знаний студентов производится по результатам контрольных опросов в ходе проведения лабораторных занятий (15 минут вначале лабораторной работы).

5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Основная литература

1. Богданов, А. В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах: учебное пособие / А. В. Богданов.

нов, А. В. Бондарев. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 82 с. – ISBN 8-987-903550-43-2. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/69913.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

2. Ершов, А. М. Релейная защита в системах электроснабжения напряжением 0,38-110 кВ: учебное пособие для практических расчетов / А. М. Ершов. – 2-е изд. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 608 с. – ISBN 978-5-9729-0511-9. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/98353.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

II Дополнительная литература

3. Малышева, Н. Н. Микропроцессорные релейные защиты. Ч.1 : учебное пособие / Н. Н. Малышева. – Нижневартовск : Нижневартовский государственный университет, 2019. – 95 с. – ISBN 978-5-00047-512-6. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/92802.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

4. Всережимное математическое моделирование релейной защиты электроэнергетических систем: монография / М. В. Андреев, Н. Ю. Рубан, И. С. Гордиенко [и др.]. – Томск: Томский политехнический университет, 2016. – 176 с. – ISBN 978-5-4387-0712-7. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/83996.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

5. Захаров, О. Г. Надежность цифровых устройств релейной защиты : показатели. Требования. Оценки / О. Г. Захаров. – Москва : Инфра-Инженерия, 2014. – 128 с. – ISBN 978-5-9729-0073-2. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/23316.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

6. Релейная защита электроэнергетических систем. Принципы выполнения защит. Защиты линий электропередач : учебное пособие / О. Н. Шелушенина, И. И. Добросотских, С. Н. Синельникова, А. С. Ведерников. – 2-е изд. – Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. – 237 с. – ISBN 978-5-7964-1797-3. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/90906.html> – Режим доступа: для авторизир. Пользователей.

6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методические издания, разработанные в ДонНТУ:

7. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем» [Электронный ресурс] : (для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профили «Электрические станции», «Электроэнергетические системы и сети», «Электроснабжение») / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. «Электрические станции»; [сост.: С.Н. Ткаченко, С.В. Деркачёв]. – 2,471 Мб. – Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2021. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. : доступ через личный кабинет студента;

8. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем» [Электронный ресурс] : (для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профили «Электрические станции», «Электроэнергетические системы и сети», «Электроснабжение») / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. «Электрические станции»; [сост.: С.Н. Ткаченко, С.В. Деркачёв]. – 0,39 Мб. – Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2021. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. : доступ через личный кабинет студента;

9. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем» [Электронный ресурс] : (для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электрические станции») / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. «Электрические станции»; [сост.: С.Н. Ткаченко, С.В. Деркачёв]. – 0,306 Мб. – Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2021. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. : доступ через личный кабинет студента.

10. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем» [Электронный ресурс] : (для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профили «Электрические станции», «Электроэнергетические системы и сети», «Электроснабжение») / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. «Электрические станции»; [сост.: С.Н. Ткаченко, С.В. Деркачёв]. – 0,306 Мб. – Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2021. – 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. : доступ через личный кабинет студента.

Электронно-информационные ресурсы

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.ru/library;>

IPR SMART - <http://www.iprbookshop.ru/>.

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Лекционные занятия:

Учебная аудитория №8.514 учебный корпус 8 для проведения лекций, лабораторных работ, курсовых проектов и работ, самостоятельной работы студентов, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля (мультимедийное оборудование, специализированная мебель: доска аудиторная, парты, стулья

ученические, компьютеры: Intel Pentium Dual Core 2,8 GHz, 2048 Mb dual, 320 Gb, Windows 7 Professional, мониторы TFT (Samsung 943N, 1280x1024), мультимедийный проектор EPSON, экран). Возможность подключения к сети «Интернет».

7.2 Лабораторные работы:

1. Лаборатория релейной защиты и автоматики электрических систем №8.515 учебный корпус 8 для проведения лекций и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование, специализированная мебель: лабораторные стенды, доска аудиторная, парты, стулья ученические, компьютер Intel Celeron 1,0 GHz, 256 Mb single, 1 Tb, Windows XP Pro SP3, мультимедийный проектор EPSON, экран).

7.3 Практические занятия:

1. Лаборатория релейной защиты и автоматики электрических систем №8.515 учебный корпус 8 для проведения лекций и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование, специализированная мебель: лабораторные стенды, доска аудиторная, парты, стулья ученические, компьютер Intel Celeron 1,0 GHz, 256 Mb single, 1 Tb, Windows XP Pro SP3, мультимедийный проектор EPSON, экран).

7.3 Самостоятельная работа:

Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2,3 (Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС - Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 - общественная лицензия MPL 2.0, Grub loader for ALT Linux - лицензия GNU LGPL v3, Mozilla Firefox - лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) - лицензия GNU GPL).