

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ  
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Кафедра ТОЭ и ЭСХ

**М.А. Юндин**

## **ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НА НАПРЯЖЕНИЕ 6-10 кВ**

*Методические указания к лабораторной работе*

Зерноград – 2016

УДК 621.316

*Печатается по решению методической комиссии по направлению подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника Азово-Черноморского инженерного института – филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде*

**Рецензент**

канд. техн. наук, доцент **Головинов В.В.**

**Юндин, М.А.** Вакуумные выключатели на напряжение 6-10 кВ: методические указания к лабораторной работе / М.А. Юндин. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016. – 11 с.

В методических указаниях приведены необходимые сведения для выполнения лабораторной работы «Вакуумные выключатели на напряжение 6-10 кВ», а также контрольные вопросы для самостоятельного изучения.

Содержание лабораторной работы направлено на формирование следующих профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника, утвержденного приказом № 955 Минобрнауки России от 03.09.2015г.: способность составлять и оформлять типовую техническую документацию (ПК-9) и готовность к составлению заявок на оборудование и запасные части и подготовке технической документации на ремонт (ПК-17).

Методические указания предназначены для студентов очной и заочной форм обучения высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата).

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Теоретические основы электротехники и электроснабжение сельского хозяйства».

Протокол № 3 от 03.11.2015 г.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией по направлению подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника.

Протокол № 3 от 16.11. 2015 г.

© Юндин М.А., 2016

© Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НА НАПРЯЖЕНИЕ 6-10 кВ

## 1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить назначение, устройство, принципы действия вакуумного выключателя и особенности гашения электрической дуги.

## 2 ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1 Изучить устройство, принцип действия вакуумного выключателя серии ВВ/TEL фирмы "Таврида Электрик".

2.2 Изучить устройство, принцип действия вакуумного выключателя ВВВ-10.

2.3 Изучить особенности процесса гашения электрической дуги в дугогасительной камере вакуумного выключателя.

## 3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Вакуумные выключатели предназначены для коммутации электрических цепей с любой силой тока при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока с изолированной, компенсированной или заземленной нейтралью частоты 50 Гц с номинальным напряжением до 10 кВ.

Вакуумные выключатели могут использоваться в ячейках КРУ внутренней и наружной установки, а также в камерах КСО, как при новом строительстве, так и при замене морально и физически устаревших выключателей прошлых лет выпуска.

Преимуществом вакуумных перед масляными выключателями являются:

- высокий коммутационный и механический ресурсы;
- отсутствие необходимости проведения текущего и среднего ремонтов;
- малое потребление мощности из сети оперативного питания;
- возможность отключения при потере оперативного питания;
- полная взаимозаменяемость с устаревшими маломасляными выключателями по главным и вспомогательным цепям;
- возможность работы в любом пространственном положении;
- малые габариты и масса.

К недостаткам вакуумных выключателей можно отнести:

- возможные коммутационные перенапряжения в электрической сети при отключении малых индуктивных токов;
- трудности при изготовлении, связанные с созданием контактных материалов, сложностью вакуумного производства, склонностью материалов контактов к сварке в условиях вакуума;

- сравнительно невысокая отключающая способность (по сравнению с элегазовыми и масляными выключателями);
- относительно большие вложения, необходимые для осуществления технологии производства, и поэтому большая стоимость.

Как видно из рисунка 1, выключатель ВВ/TEL-10 состоит из трех полюсов с пофазно встроенными электромагнитными приводами, размещенными на общем основании. Приводы каждой из фаз, расположенные внутри основания выключателя, механически соединены между собой посредством общего вала, выполняющего три функции:

- 1) обеспечивает синхронизацию фаз, предохраняя от неполнофазных режимов;
- 2) приводит в действие вспомогательные блок-контакты, используемые в цепях релейной защиты и автоматики для механической блокировки работы распредустройства, в котором установлен данный выключатель;
- 3) управляет визуальными индикаторами положения выключателя.



Рисунок 1 – Общий вид одной из модификаций выключателя ВВ/TEL-10

Вакуумные дугогасительные камеры установлены внутри полых опорных изоляторов, закрепленных на общем основании. Подвижные контакты дугогасительных камер жестко соединены со своими приводами посредством изоляционных тяг, которые также располагаются внутри опорных изоляторов. Таким образом, все элементы конструкции полюса имеют общую ось симметрии, вдоль которой совершают возвратно-поступательное движение детали механизма.

Фирма "Таврида Электрик" дает следующее обозначение технических характеристик в названии выключателя.

ВВ/TEL – 10 – X/X – XX X

Выключатель вакуумный	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Фирменная марка предприятия	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Номинальное напряжение, кВ	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Номинальный ток отключения, кА	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Номинальный рабочий ток, А	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Климатическое исполнение	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Категория размещения	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Конструктивное исполнение	_____	_____	_____	_____	_____	_____

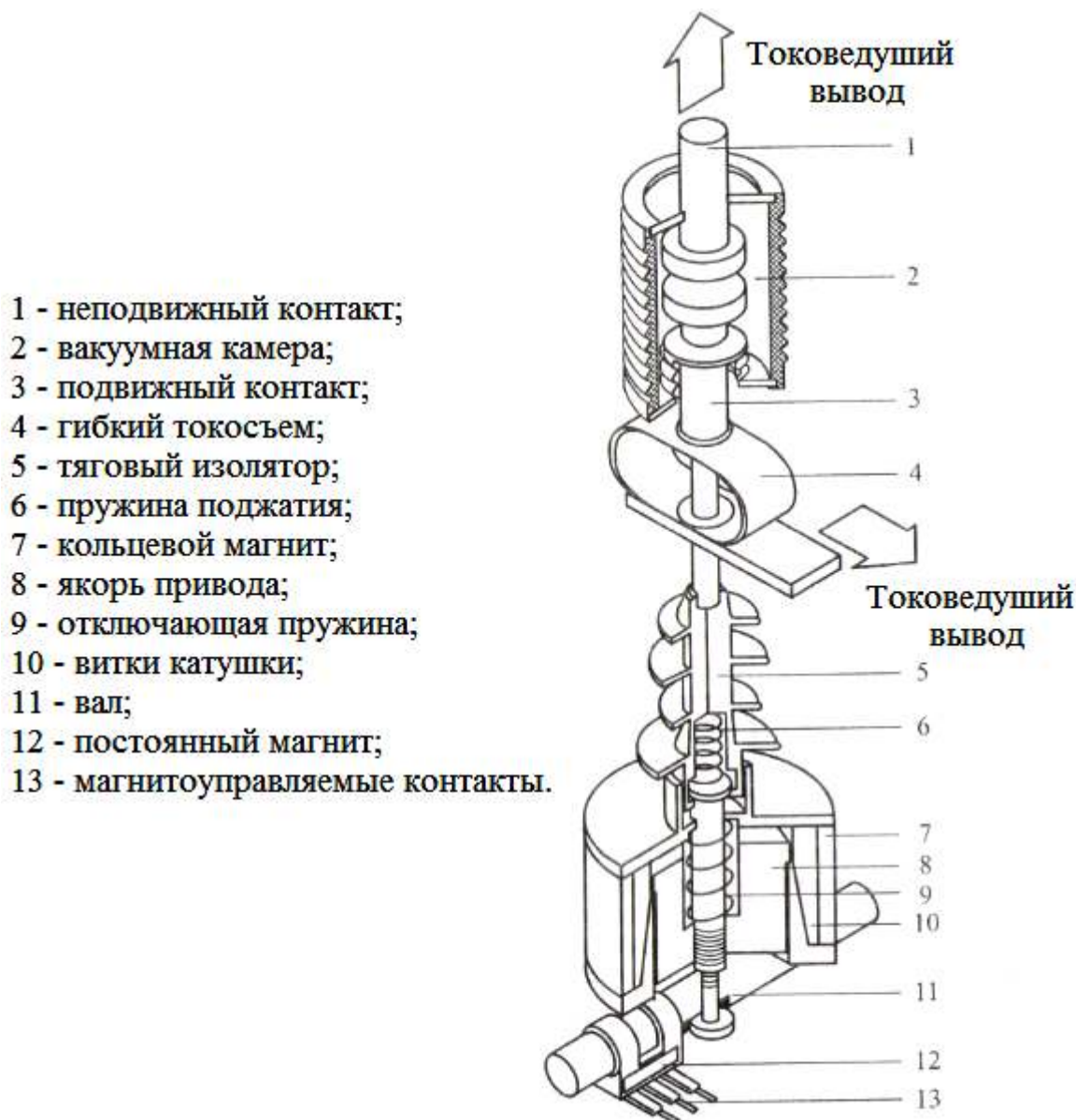


Рисунок 2 – Устройство полюса выключателя ВВ/TEL-10-12,5/1000 У2

Гашение электрической дуги происходит в вакуумной дугогасительной камере. При расхождении контактов между ними возникает электрическая дуга, представляющая собой проводящую среду из паров металла контактов. Пары металла, образованные электрической дугой коммутируемого тока,

конденсируются на поверхности контактов в течение нескольких микросекунд после гашения дуги, теряя при этом свои токопроводящие свойства. После расхождения контактов электрическая дуга гасится при первом переходе тока через ноль. Пары металлов в очень малом количестве конденсируются на поверхности коммутационной камеры, которая защищает керамические изоляторы от напыления проводящим металлическим слоем, сохраняя их изоляционные свойства. В это же время на разведенных контактах восстанавливается приложенное к ним напряжение.

Таблица 1 – Технические характеристики вакуумных выключателей серии ВВ/TEL

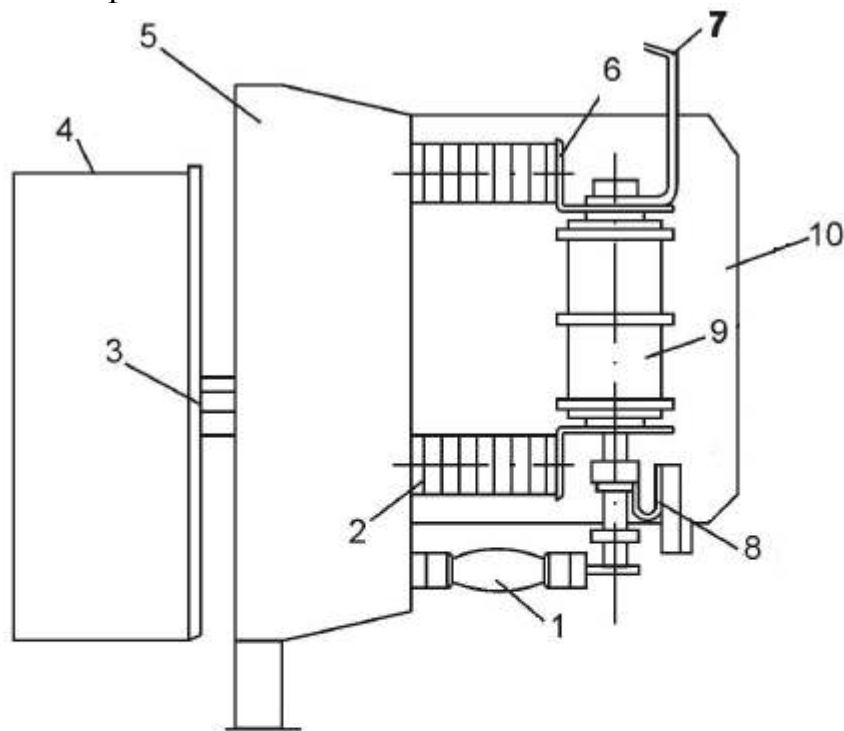
Параметр	ВВ/TEL-10-12,5/1000 У2	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	ВВ/TEL-10-20/1600 У2	ВВ/TEL-10-25/1600 У2
Номинальное напряжение, кВ	10	10	10	10
Номинальный ток, А	630, 1000	630, 1000	1600	1600
Номинальный ток отключения, кА	12,5	20	20	25
Ток динамической стойкости, (наибольший пик), А	32	51	51	64
Испытательное кратковременное напряжение (одноминутное) промышленной частоты, кВ	42	42	42	42
Ресурс по коммутационной стойкости, а) при номинальном токе, циклов "ВО" б) при номинальном токе отключения, операций "О" в) при номинальном токе отключения, циклов "ВО"	50000 100 100	50000 150 100	30000 150 50	30000 50 50
Собственное время отключения, мс, не более	15	15	15	15
Полное время отключения, мс, не более	25	25	25	25
Собственное время включения, мс, не более	70	70	70	70
Верхнее/нижнее значение температуры окружающего воздуха, °С.	+55/-40	+55/-40	+55/-40	+55/-40
Стойкость к механическим воздействиям, группа по ГОСТ 17516.1-90	M7	M7	M7	M7
Срок службы до списания, лет	25	25	25	25

Для токов отключения до 10 кА электрическая дуга равномерно распределена по поверхности контактов (случай диффузной вакуумной дуги). При более высоких токах электрическая дуга в вакуумной камере сосредоточена в одной точке. С целью исключения термических перегрузок контактов при токах короткого замыкания до 40 кА в выключателе применена камера с аксиальным магнитным полем (так называемая АМФ система). Идея этой системы состоит в наличии одного витка в структуре контакта выключателя, который создает аксиальное магнитное поле, удерживающее дугу равномер-

но распределенной по поверхности контакта при любой величине отключаемого тока, т.е. создает, так называемую диффузионную дугу.

Выключатель типа ВВВ-10-2/320 состоит из приводного устройства 1, 3, отсека привода и релейной защиты 4 и вакуумной дугогасительной камеры 9 типа КДВ-21 (рисунок 3). Вакуумный выключатель 9 смонтирован на неподвижной раме 5 и размещается в корпусе ячейки. Ячейка имеет два отсека: отсек выключателя и отсек управления и защиты 4 (рисунок 3).

Дугогасительная камера типа КДВ выполнена из керамического корпуса, вакуумно-плотно закрытого с обоих торцов металлическими фланцами. Внутри корпуса расположены неподвижный 2 и подвижный 3 контакты (рисунок 4). Они припаяны к токовводам. Перемещение подвижного контакта обеспечивается сильфоном 4, который вакуумно-плотно соединен с корпусом 8 и подвижным контактом 3. Камера КДВ-21 имеет нормально замкнутые контакты, сила сжатия (около 240 Н) обеспечивается атмосферным давлением на сильфон.



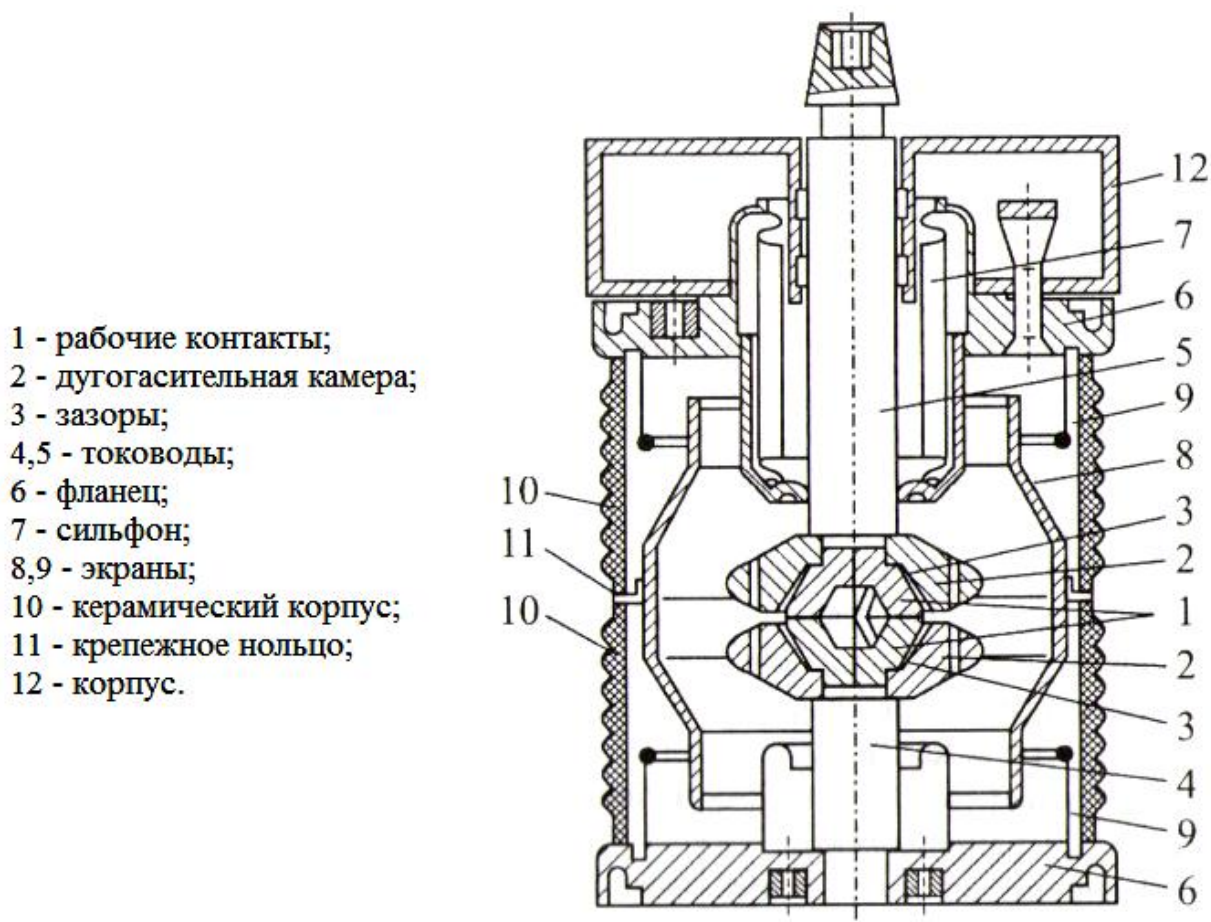
- 1 - рычаг - изолятор; 2- опорный изолятор;  
 3 - тяга электромагнитного привода;  
 4- отсек привода и релейной защиты; 5- рама;  
 6- кронштейн крепления камеры; 7 - шина;  
 8 - шины с гибким токоотводом; 9-вакуумная камера;  
 10 - изоляционный барьер;

Рисунок 3 – Конструкция выключателя ВВВ

В процессе размыкания силовых контактов количество контактных точек между ними уменьшается, а плотность тока, протекающего через контактные точки, растет. В результате этого, на завершающей стадии размыкания происходит расплавление и испарение материала контактов. В парах ме-



талла возникает электрический разряд в промежутке между контактами, переходящий в дуговую стадию. Благодаря низкому давлению вокруг контактов происходит интенсивная диффузия (деионизация) дугового столба, и дуга гаснет.



- 1 - рабочие контакты;
- 2 - дугогасительная камера;
- 3 - зазоры;
- 4,5 - тоководы;
- 6 - фланец;
- 7 - сильфон;
- 8,9 - экраны;
- 10 - керамический корпус;
- 11 - крепежное нольцо;
- 12 - корпус.

Рисунок 4 – Устройство вакуумной камеры КДВ-10-1600

Частицы испарившегося материала контактов оседают на поверхностях вакуумной камеры. При этом быстро, со скоростью 5–50 кВ/мкс, восстанавливается электрическая прочность между контактами. Скорость восстановления электрической прочности в вакуумных выключателях выше, чем у других типов выключателей. Благодаря высокой электрической прочности вакуумных промежутков ход подвижных контактов невелик, всего 10–20 мм.

Материал контактов оказывает большое влияние на характеристики вакуумного выключателя. Металлы, используемые для контактов, должны обладать механической прочностью, стойкостью относительно эрозии и сваривания. Перенапряжения при использовании медных контактах в 2,5 раза ниже, но они более подвержены свариванию и износу. Эти противоречия устраняются, если часть контактной поверхности выполнена из дугостойкого металла (молибден), а другая часть – из материала с высоким давлением паров (сурьма). Хорошие результаты дает специальная металлокерамика. Применяют сплавы меди с небольшим количеством висмута, железа, бора. Эти сплавы отличаются более высокой электро- и теплопроводностью по сравнению с ранее применявшимися материалами, например, вольфрамом.



Контакты находятся в глубоком вакууме и поэтому не окисляются, благодаря чему достигается высокая износостойкость контактов. Они работают без обслуживания в течение всего срока службы камеры.

Таблица 2 – Технические характеристики выключателя ВВВ-10-2/320

Параметр	Единица измерения	Номинальное значение
Номинальное напряжение	кВ	10
Номинальный ток	А	320
Ток динамической устойчивости	кА	10
Число циклов	–	$5 \cdot 10^4$
Сопротивление контактных полюсов	МОм	0,3
Время отключения	с	0,08
Напряжение цепи включения	В	220 + 10%–20%
Напряжение цепи отключения	В	220 + 20%–25%
Ток цепи включения	А	25
Ток цепи отключения от защиты	А	$3 \div 7$
Ход контактов выключателя	мм	$4 \div 5$

Большая экономия при эксплуатации делает вакуумные выключатели высокоэффективными, что обуславливает их все более широкое распространение (в Японии, например, более 50% всех выключателей вакуумные).

#### 4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Ознакомиться с техническими характеристиками выключателей ВВВ-10 и ВВ/TEL-10, записав в отчет основные из них.

4.2 Изучить особенности конструктивного исполнения выключателей ВВВ-10 и ВВ/TEL-10, обратив особое внимание на кинематику перемещения подвижных контактов.

4.3 Изучить устройство дугогасительных камер вакуумных выключателей ВВВ-10 и ВВ/TEL-10 и принципы гашения электрической дуги, возникающей при коммутации токов нагрузки и короткого замыкания.

4.4 Ознакомиться с приводами вакуумных выключателей. Произвести оперативные операции включения и отключения выключателей ВВВ-10 и ВВ/TEL-10.

## 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет о проделанной работе следует включить основные технические характеристики изученных вакуумных выключателей, разрез полюса выключателя с указанием основных элементов, выводы о проделанной работе и краткие ответы на контрольные вопросы.

## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности конструктивного исполнения и основные достоинства вакуумных выключателей?
2. Как происходит гашение электрической дуги у вакуумных выключателей?
3. Объясните конструкцию дугогасительной камеры вакуумного выключателя.
4. Чем объясняется высокая износостойкость контактов вакуумного выключателя?
5. Из каких основных частей состоит полюс выключателя ВВ/TEL-10?
6. Каковы конструктивные отличия вакуумного выключателя ВВВ-10 от ВВ/TEL-10?
7. Какими достоинствами и недостатками обладают вакуумные выключатели?
8. Как управляется вакуумный выключатель?

**Юндин Михаил Анатольевич**  
кандидат технических наук, профессор

## **ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НА НАПРЯЖЕНИЕ 6-10 кВ**

*Методические указания к лабораторной работе*

Редактор Н.П. Лучинкина  
Верстка Г.С. Кудрявцева  
Дизайн обложки С.П. Вдовикина

Подписано в печать 9.12.2015 г.  
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 0,6. Тираж 25 экз. Заказ № 397.

РИО Азово-Черноморского инженерного института  
ФГБОУ ВО Донской ГАУ

347740, г. Зерноград Ростовской области, ул. Советская, 15.

М.А.Юндин

# ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НА НАПРЯЖЕНИЕ 6-10 кВ

Методические указания  
к лабораторной работе



Зерноград – 2015 г.