

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# **ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПОСЛЕДНЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

*Методические указания к практическим занятиям*

Благовещенск

Издательство АмГУ

2017

ББК 31.26я73  
Э45

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
Амурского государственного  
университета*

***Разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»***

*Рецензент:*

*С.А. Тимченко, начальник отдела учета электроэнергии АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» (АО «ДРСК»), г. Благовещенск)*

**Э45      **Электротехническое оборудование последнего поколения:****  
Методические указания к практическим занятиям / Сост.: А.Н. Козлов, В.А. Козлов, А.Г. Ротачева. – 2-е изд., испр. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. – 17 с.

Методическая разработка предназначена для подготовки магистров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» магистерской программы «Электроэнергетические системы и сети». Соответствует рабочей программе дисциплины и федеральному государственному стандарту ВО РФ.

Предусматривается разбор тем в аудитории под руководством преподавателя, а также самостоятельно при работе над дисциплиной.

***В авторской редакции.***

ББК 31.26я73

©Амурский государственный университет, 2017  
©Козлов А.Н., Козлов В.А., Ротачева А.Г. (составители), 2017

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Электротехническое оборудование последнего поколения» введена в учебный план подготовки магистров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» магистерской программы «Электроэнергетические системы и сети» в Амурском государственном университете по согласованию с предприятиями, принимающими на работу выпускников энергетического факультета.

**Целью** изучения дисциплины является получение знаний об особенностях конструкции и эксплуатации современного электрооборудования и основных направлениях его совершенствования.

**Задача** изучения дисциплины – правильное понимание возможностей нового оборудования и грамотное функциональное применение элегазовой и вакуумной техники – в силовой части электроэнергетических объектов и цифровых (микропроцессорных) терминалов в устройствах защиты и автоматики.

Освоение данной дисциплины помогает студенту в приобретении следующих компетенций:

- способности использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности (ОПК-4);
- готовности проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений (ПК-5);
- способности выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности (ПК-9).

Дисциплина «Электротехническое оборудование последнего поколения» относится к базовой части профессиональные цикла основной образовательной программы подготовки магистров по указанному выше направлению.

Знания, полученные при освоении дисциплины, могут быть востребованы при выполнении выпускной квалификационной работы.

Настоящая методическая разработка – очередная часть комплекта учебно-методических материалов, разрабатываемого кафедрой энергетики Амурского государственного университета в рамках реализации гранта Министерства образования и науки Российской Федерации «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера – АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» (АО «ДРСК», г. Благовещенск)

## **ВВЕДЕНИЕ**

Правильный выбор параметров и режимов работы электрических аппаратов имеет большое значение для устойчивого функционирования электроэнергетических систем и систем электроснабжения.

Знание принципов выполнения и особенностей эксплуатации современного электрооборудования обязательно для выпускника энергетического факультета. Основные сведения о правилах эксплуатации содержатся в [2] и [3]. Материалы [3] обязательны для тепловых электростанций, работающих на органическом топливе, гидроэлектростанций, электрических и тепловых сетей Российской Федерации и для организаций, выполняющих работы применительно к этим объектам. Но, поскольку ведется постоянная работа по совершенствованию электрооборудования, появляется дополнительная информация в виде отдельных статей, обзоров и справочно-информационных материалов предприятий и фирм, выпускающих те или иные электрические аппараты и приборы.

В основу настоящего учебного пособия положены материалы [1], [2], [4] и [9], дополненные сведениями, появившимися в распоряжении составителей при поиске необходимой информации в сети «Интернет».

## ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

<b>Перечень тем</b>	<b>Часы</b>	<b>Осваиваемые компетенции</b>
Контроль расхода коммутационного ресурса выключателей в условиях эксплуатации	2	ОПК- 4, ПК- 5, ПК-9,

## КРИТЕРИИ ДОСТИЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО БЛОКУ ПРАКТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Балл	Критерии оценки (содержательная характеристика)
«1»	Работа выполнена полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допуская грубые ошибки, испытывает затруднения в формулировке собственных суждений, неспособен ответить на дополнительные вопросы.
«2»	Работа выполнена полностью. Студент не владеет теоретическим материалом, допуская ошибки по существу рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.
«3»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, отсутствуют ошибки при описании теории, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«4»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«5»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.

**Работа, оцененная менее, чем 3 баллами, НЕ МОЖЕТ БЫТЬ «ЗАЧТЕНА» и передается.**

## **1. КОНТРОЛЬ РАСХОДА КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ [3]**

Эффективность функционирования электротехнического оборудования (ЭО) электростанций, подстанций, электрических сетей и систем электроснабжения связана с его техническим состоянием. Надежность ЭО зависит не только от качества его изготовления, но и от применения научно обоснованной системы технического обслуживания и ремонта (ТОР). В настоящее время, согласно требованиям нормативно-технической документации, применяется система планово-предупредительных ремонтов (ППР), где основным технико-экономическим критерием является минимум простоев оборудования на основе жесткой регламентации ремонтных циклов.

Однако система ППР в условиях развития рыночных отношений в области энергоремонта во многих случаях не обеспечивает принятие оптимальных решений. Это связано с тем, что назначение профилактических работ осуществляется регламентно и не зависит от фактического технического состояния ЭО, что приводит к появлению дополнительных материальных и трудовых затрат.

Новым направлением в развитии системы ТОР является разработка методов, основанных на индивидуальном наблюдении за реальными изменениями технического состояния оборудования в процессе эксплуатации. Новое ЭО, устанавливаемое на энергетических объектах, имеет высокую безотказность и долговечность, однако со временем происходит ухудшение его эксплуатационных характеристик, уменьшается его надежность. Высоковольтные выключатели являются одним из основных типов ЭО, применяемого в распределительных устройствах станций и подстанций. Поэтому их надежность и долговечность может сильно сказаться на устойчивости работы электроэнергетической системы в целом. В современных условиях, когда износ основных производственных фондов электроэнергетической отрасли превышает 50 %, проблема обеспечения безотказной работы высоковольтных выключателей является особенно актуальной.

В связи с этим необходимо разрабатывать средства получения диагностической информации, а также математические методы и модели, позволяющие учесть все факторы, влияющие на техническое состояние выключателей. Еще более важной задачей является создание комплексного метода определения технического состояния, способного объединить разностороннюю диагностическую информацию и на этой базе рассчитать

интегральную количественную характеристику уровня технического состояния – сработанный ресурс.

Сравнивая полученное значение с допустимыми границами его изменения, можно сформулировать рекомендации о необходимости вывода выключателя в ремонт или о продолжении его эксплуатации. Кроме того, комплексный метод определения технического состояния высоковольтных выключателей должен позволять прогнозировать остаточный ресурс коммутационного аппарата.

В настоящее время некоторые специалисты считают, что определить остаточный ресурс какого-либо оборудования на сегодняшний день принципиально невозможно, что связано, в первую очередь, с отсутствием факторов, монотонно изменяющихся с течением времени в процессе эксплуатации. Другие же исследователи доказывают обратное.

Ресурс – это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние, а наработка – продолжительность или объем работы объекта [2, 3]. Величина наработки, а значит и ресурса, для различного ЭО измеряется в единицах наработки, например, часах, количествах коммутаций, количествах пусков и т.д. Единицы измерения обычно выбираются в соответствии с назначением ЭО и особенностями его работы. В литературе часто применяют временные единицы измерения ресурса. Однако это не всегда удобно, особенно для ЭО, срок службы которого зависит в основном не от количества часов, которое оно находилось под напряжением, а от количества выполненных им операций. Для выключателей часто применяют в качестве единиц наработки количество коммутаций.

Существующие методы контроля сработанного и остаточного ресурса высоковольтных выключателей можно разделить на две группы:

1. Оценка сработанного и остаточного ресурса на основе данных, предоставляемых заводом-изготовителем. Подавляющее большинство заводов-изготовителей предоставляет данные по начальному ресурсу выключателей, а также данные, необходимые для оценки сработанного и остаточного ресурса при условии работы выключателя в номинальных (расчетных) условиях работы. Эти данные предоставляются как по коммутационному, так и по механическому ресурсу.

2. Оценка сработанного и остаточного ресурса на основе методов и средств технической диагностики, т.е. на основе реального состояния коммутационных аппаратов по данным инструментального контроля.

Как коммутационный, так и механический ресурс подразделяются на начальный, сработанный и остаточный [3]. Данные по начальному ресурсу отражены в специализированной нормативно-технической документации, а



также в инструкциях, поставляемых с конкретным выключателем. Начальный ресурс можно представить как располагаемый «запас прочности», который имеет конкретный выключатель на начальный момент работы.

**Сработанный** ресурс отражает степень износа деталей и узлов конкретной единицы оборудования. При этом под сработанным коммутационным ресурсом для выключателя понимают степень износа дугогасительной камеры, а механический ресурс характеризуется числом циклов включение – произвольная пауза – отключение, выполняемых без тока в главной цепи выключателя [3].

Под **остаточным** ресурсом понимают остаток ресурса выключателя после определенного периода эксплуатации и числа операций по отключению и включению нагрузочных токов и токов КЗ [3]. На практике необходимо знать вероятность отказа выключателя при отключении (включении) им тока, т.е. произведет выключатель операцию отключения (включения) или откажет. Под остаточным ресурсом, определяющим вывод выключателя в ремонт, следует понимать такой уровень технического состояния выключателя, при котором при отключении им номинального тока отключения его располагаемый ресурс примет отрицательное значение. В условиях эксплуатации очень важно знать величину располагаемого ресурса, так как данный параметр отражает реальное состояние выключателя и позволяет произвести коррекцию межремонтных периодов с учетом обеспечения безотказности работы.

### ***Метод 1.***

Сработанный ресурс рассчитывается по известным значениям отключаемых токов путем округления их значений в заданных пределах отключаемых токов (30–60 %, 60–100 % и т.д. от номинального тока отключения выключателя). В первоначальном виде этот метод [3] давал требования к суммарному числу отключений и включений токов КЗ. При этом допустимое число отключений должно было составлять не менее  $2/3$  суммарного числа коммутаций. В настоящее время после внесения в стандарт изменений нормируется только допустимое число отключений, что соответствует международной практике и стандартам МЭК. Для большинства выключателей, у которых функции включения и отключения осуществляются одной и той же контактной системой, износ дугогасительного устройства при включении существенно меньше, чем при отключении, и им можно пренебречь при нормальных условиях работы выключателей. Для некоторых типов выключателей, например воздушных серии ВВН и ВВБ, у которых функции включения и отключения выполняют разные контактные системы, целесообразно допустимое число включений указывать в технической документации дополнительно к допустимому числу отключений. Однако

кривые зависимости допустимого количества отключений и включений лежат рядом, поэтому имеет смысл заменить их одной универсальной кривой. При этом стоит отметить, что для некоторых типов выключателей, в связи с их специфическими особенностями, такое усреднение проводить не следует.

Расход коммутационного ресурса выключателя за все операции по отключению тока  $I$  определяется согласно следующему выражению:

$$r_i = \frac{N_{\text{факт.}i}}{N_{\text{доп.}i}};$$

где  $N_{\text{доп.}}$  – допустимое число отключений тока определенной величины  $I$  (определяется согласно данным инструкций завода-изготовителя),

$N_{\text{факт.}i}$  – число отключений выключателем тока  $I$ .

Расход коммутационного ресурса выключателя за все операции определяется как

$$R_{\text{сраб.}} = \sum_{i=1}^n r_i = \sum_{i=1}^n \frac{N_{\text{факт.}i}}{N_{\text{доп.}i}};$$

где  $n$  – число различных значений отключаемых токов.

Остаточный коммутационный ресурс выключателя определяется следующим образом:

$$R_{\text{ост.}} = 1 - R_{\text{сраб.}}$$

В случае контроля оперативным персоналом сработанного и остаточного коммутационного ресурса могут быть уточнены сроки вывода выключателя в средний или капитальный ремонт. При этом условием, отражающим необходимость ближайшего вывода выключателя в ремонт, является возможность полной сработки коммутационного ресурса выключателя при очередном отключении (включении) им номинального тока отключения

### **Метод 2.**

Настоящий метод [3] позволяет унифицировать методы определения расхода коммутационного ресурса и допустимого количества отключений токов, после которого выключатель должен быть выведен в ремонт. Расход коммутационного ресурса и количество коммутаций до вывода выключателя в ремонт определяются по кривым зависимости допустимого количества отключений (включений) от тока, которые строятся на основании данных предприятий-изготовителей. Кривые зависимости допустимого количества отключений (включений) от тока строятся на основании данных предприятий-

изготовителей, приводимых в инструкциях по эксплуатации. По согласованию с НИЦ ВВА, могут использоваться результаты специально проведенных исследований и материалы, опубликованные в технической литературе или приводимые в протоколах испытаний. Данные по коммутационному ресурсу выключателей могут быть заданы в инструкциях по эксплуатации различными способами. Способ задания коммутационного ресурса определяет метод построения кривых зависимости допустимого количества отключений (включений) от тока. В [4] рассматриваются следующие методы построения кривых:

1. Коммутационный ресурс задан в виде кривых зависимости допустимого числа отключений от тока.

2. Коммутационный ресурс задан в виде кривых зависимостей допустимого суммарного количества отключений и включений от тока.

3. Коммутационный ресурс задан в виде одного, двух или трех значений допустимого количества отключений, отнесенных к конкретным значениям тока, например к номинальному току отключения ( $I_{откл.ном.}$ ), токам  $0,6I_{откл.ном.}$  и  $0,3I_{откл.ном.}$ .

4. Коммутационный ресурс задан в виде одного, двух или трех значений допустимого суммарного количества отключений и включений, отнесенных к конкретным значениям тока.

5. Коммутационный ресурс задан в виде одного, двух или трех значений допустимого количества отключений, отнесенных к интервалам значений отключаемого тока, например от  $0,6I_{откл.ном.}$  до  $I_{откл.ном.}$ ; от  $0,3I_{откл.ном.}$  до  $0,6I_{откл.ном.}$ ; от  $0,1I_{откл.ном.}$  до  $0,3I_{откл.ном.}$ .

6. Коммутационный ресурс задан в виде одного, двух или трех значений допустимого суммарного количества отключений и включений, отнесенных к интервалам значений отключаемого тока. Основным отличием данного метода от описанного выше является то, что известные значения отключаемых токов не округляются в заданных интервалах. Вместо этого строится монотонная зависимость одним из способов, приведенных выше. Расход коммутационного ресурса за одно отключение тока  $I$  равен величине, обратной допустимому количеству отключений при данном токе:

$$\rho_{0i} = \frac{1}{n_{0i}}.$$

Расход коммутационного ресурса после нескольких отключений (включений) определяется путем суммирования расходов ресурса за каждую

операцию отключения (включения). Расход коммутационного ресурса за  $K$  отключений определяется как

$$R_{OK} = \sum \rho_{0i} = \sum \frac{I}{n_{0i}}.$$

Расход коммутационного ресурса определяется для каждого полюса выключателя, необходимость вывода выключателя в ремонт – по полюсу с наибольшим расходом ресурса. Выключатель (полюс выключателя) должен быть выведен в ремонт, если при следующем отключении полюсом выключателя тока КЗ расход его коммутационного ресурса может превысить единицу. Таким образом, условие вывода выключателя в ремонт имеет вид

$$\sum \frac{I}{n_{0i}} > 1 - \frac{I}{n_{0.\min}}. \quad (1)$$

где  $n_{0.\min}$  – допустимое количество отключений при наибольшем токе, возможном в месте установки выключателя. Для выключателей серии ВВБ предприятие-изготовитель в качестве критерия необходимости вывода в ремонт вместо (1) принимает выражение

$$\sum \frac{I}{n_{0i}} \geq 1. \quad (2)$$

т.е. считается возможным срабатывание коммутационного ресурса до значений, превышающих единицу на величину вплоть до  $I/n_{0.\min}$ . Это связано с наличием запасов по коммутационной износостойкости. Выражением (2) можно пользоваться только для выключателей серии ВВБ, а для других выключателей – только при согласии предприятия-изготовителя. При ограничениях предприятиями-изготовителями выключателей количества включений на токи КЗ расход коммутационного ресурса следует определять как по отключениям, так и по включениям. Метод определения расхода коммутационного ресурса при включении и критерий вывода выключателя в ремонт аналогичны указанным выше для операций отключения. Расход ресурса при включении:

$$\rho_{vi} = \frac{I}{n_{vi}}. \quad (3)$$

Наработка ресурса:

$$R_{vK} = \sum \frac{I}{n_{vi}}. \quad (4)$$

Критерий вывода в ремонт:

$$\sum \frac{I}{n_{vi}} > I - \frac{I}{n_{e.min}} . \quad (5)$$

Ресурс считается исчерпанным, если удовлетворяется любое неравенство (1) или (5). В [4] также рассматривается возможность прогнозирования допустимого количества отключений и включений тока. Методы прогнозирования количества отключений (включений) применяются для выключателей, установленных на линиях электропередачи, при отсутствии возможности регистрации токов КЗ. При этом расчет допустимого количества отключений (включений) производится по известным расчетным значениям токов КЗ в начале и в конце линии с определенной доверительной вероятностью в предположении постоянной плотности распределения вероятности возникновения токов КЗ вдоль защищаемой выключателем линии.

### ***Метод 3.***

В настоящее время особенно актуальным стал вопрос о применении инструментальных методов контроля состояния высоковольтных выключателей. Это связано с тем, что данные методы позволяют выявить ряд дефектов, которые не могут быть выявлены с помощью проведения ремонтной диагностики, а также позволяют более точно спрогнозировать величину сработавшего и остаточного ресурса. На базе различных инструментальных методов контроля (инфракрасная термография, вибродиагностика и т.д.) с применением современной вычислительной техники создаются автоматизированные экспертные системы, ярким примером которых является система диагностики состояния и оценки остаточного ресурса высоковольтных выключателей «Никта» фирмы ПФФ «ВИБРОЦЕНТР». Данная система контролирует следующие параметры работы высоковольтных выключателей:

- время замыкания и размыкания главного контакта каждой из трех фаз с точностью до 0,1 мс;
- скорость движения контактов в процессе замыкания, динамические удары в моменты «распускания» привода, касания контактов, фиксации привода;
- характер, время «установления» и величину сопротивления цепи главного контакта;
- временные фазы и динамические нагрузки в механической системе выключателя в процессе коммутации;
- процессы затухания собственных резонансных колебаний выключателя в различные фазы коммутации.

По итогам обработки замеров экспертная часть системы «Никта» автоматически определяет параметры технического состояния выключателя:

- остаточный технический ресурс выключателя в процентах от ресурса условно «нового» выключателя;

- остаточный коммутационный ресурс выключателя в процентах от начального ресурса;

- коэффициент обобщенного технического состояния выключателя, коэффициент состояния главного контакта выключателя и коэффициент состояния механической системы выключателя.

Также большой интерес вызывают представленные в расширенной справке 23 параметра, взятые из графиков происходящих процессов (вибрация, ток управления, ток через главные контакты, напряжение на главных контактах, их сопротивление и, при подключенном датчике перемещения, скорость движения контактов). Эти параметры представлены в [3].

Метод 3 может применяться только с использованием ЭВМ, так как необходимо автоматически контролировать входные параметры и постоянно рассчитывать значения коэффициентов, что требует наличия соответствующего программного обеспечения. Также необходимо иметь средства накопления информации о состоянии выключателя и для хранения экспертной базы знаний.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильева В.Я., Дробиков Г.А., Лагутин В.А. Эксплуатация электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие. – Чебоксары: Чувашский гос. ун-т, 2000. – 864 с.

2. Грудинский П.Г., Мандрыкин С.А., Улицкий М.С. Техническая эксплуатация основного электротехнического оборудования станций и подстанций / под ред. П.И. Устинова. М.: Энергия, 1974. – 570 с.

3. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей. [Электронный ресурс]. URL: [http://ispu.ru/files/str.\\_69-84.pdf](http://ispu.ru/files/str._69-84.pdf) (дата обращения 25.12.2014).

4. Методические указания по определению расхода коммутационного ресурса выключателей при эксплуатации. – М.: ОРГРЭС, 1992.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Перечень тем практических занятий	5
Критерии достижения результатов обучения по блоку практических дисциплин	6
1. Контроль расхода коммутационного ресурса выключателей в условиях эксплуатации	7
Библиографический список	15



**Составители:**

**Козлов Александр Николаевич,**  
*доцент кафедры энергетики АмГУ, канд. техн. наук;*

**Козлов Виталий Александрович,**  
*ведущий специалист службы перспективного развития Дальневосточной  
распределительной сетевой компании;*

**Рогачева Алла Георгиевна,**  
*доцент кафедры энергетики АмГУ*

**Электротехническое оборудование последнего поколения:**  
*Методические указания к практическим занятиям.*

---

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,04.