

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

Пахомова А.О., Кац И.М.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Инженерная школа энергетики, 09.04.03. Прикладная информатика: Информационные технологии в электроэнергетике, группа О-5КМ11

Введение. В условиях реальной эксплуатации стохастический характер изменчивости параметров режима работы ЭЭС создают случайные флуктуации напряжений в узлах и потоков мощности по ЛЭП, которые оказывают влияние на величины эффективности средств регулирования напряжения (СРН), что может привести к тому, что информация об эффективности СРН, указанная в нормативных документах, может не соответствовать их фактической эффективности. Поэтому в рамках данной работы разрабатывается метод, оценивающий эффективность СРН на основе вероятностных подходов, который позволит на основе анализа эффективности в большой совокупности режимов работы ЭЭС определить ее наиболее вероятное значение для большинства возможных режимов работы ЭЭС.

Методика определения СРН на основе вероятностного подхода. В данной работе оценка эффективности СРН осуществляется на основе вероятностного подхода. Для его реализации был использован метод Монте-Карло. Он заключается в том, что вместо аналитических вычислений различных вероятностных характеристик производится моделирование («розыгрыш») возможных режимов работы ЭЭС с помощью массивов случайных чисел, в качестве которых выступают влияющие на эффективность СРН факторы. Далее проводится моделирование установившегося режима работы ЭЭС, оценка допустимости получившегося режима на предмет его физических ограничений (МДП в КС, уровни напряжений и т.д.). После этого осуществляется вычисление эффективности СРН. По результатам моделирования собираются статистические данные по эффективности СРН. Далее строится гистограмма эффективности СРН применительно к конкретному контрольному пункту по напряжению [1].

Если использования рассматриваемого метода оценки эффективности производится в первый раз, то тогда необходимо

осуществить сбор статистической информации и ее обработку. В качестве исходной статистической информации используются архивные данные по загрузке генерирующего оборудования электрических станций, влияющих на перетока в КС, состояние коммутируемых СРН, влияющих на напряжение в контрольном пункте. При этом, в качестве источника информации используется ОИК СК-11. Статистическая обработка информации заключается в том, что по полученным статистическим данным за период не менее 1 года осуществляется аппроксимация выборки данных законом распределения. После чего осуществляется генерация случайных величин на основе полученного закона распределения с требуемыми параметрами.

Выявление влияющих на эффективность СРН факторов.

Для решения данной задачи были рассмотрены характерные режимы работы ЭЭС: режим зимнего максимума; режим зимнего минимума; режим летнего максимума; режим летнего минимума.

В качестве контрольного пункта для расчётов была выбрана подстанция 500 кВ Ново-Анжерская. У данной подстанции есть 2 управляемых средства регулирования напряжения: СТК на ПС 500 кВ Заря и УШР-500 на ПС 500 кВ Томская. Расчёты выполнялись в соответствии с действующей методикой определения эффективности СРН, которая подразумевает фиксацию регулируемых СРН. При этом также исследовалась зависимость эффективности СРН от режима их работы. Для выполнения расчётов использовался программный комплекс RastrWin3. В качестве базового режима был принят режим зимнего максимума нагрузки [2].

Анализ параметров электрических режимов показал, что эффективность СРН главным образом зависит от перетока мощности в КС и загрузки генерирующего оборудования следующих станций Беловской ГРЭС, Саяно-Шушенской ГЭС, Берёзовской ГРЭС и Назаровской ГРЭС. Например, в режиме летнего максимума наблюдается снижение эффективности СРН при увеличении перетока мощности в КС относительно режима зимнего максимума и большей загрузки генерирующего оборудования.

Также в процессе проведения исследований был выявлен еще один влияющий фактор: влияние состояния коммутируемых СРН на плавно-регулируемые СРН. При проведении исследований в качестве регулируемых СРН были выбраны УШР-500 ПС 500 кВ Томская и СТК-1 ПС 500 кВ Заря. Оценка их эффективности производилась по отношению к КП по напряжению ПС 500 кВ Ново-Анжерская,

Беловская ГРЭС, ПС 500 кВ Юрга, ПС 500 кВ Барнаульская и ПС 500 кВ Новокузнецкая.

В качестве влияющих коммутируемых СРН принималось разное коммутационное состояние ШР-500 на ПС 500 кВ Томская, Р-532 на ПС 500 кВ Заря и Р-1, Р-2 на ПС 500 кВ Ново-Анжерская. Расчёты выполнялись в два этапа на первом этапе коммутируемые СРН находились во включенном состоянии. Для каждого контрольного пункта выставлялся случайный переток в контролируемом сечении. И рассчитывались значения эффективности. На втором этапе производилось отключение коммутируемых СРН. И повторялись расчёты эффективности СРН. Из полученных результатов следует, что при отключении коммутируемых СКРМ эффективность снижается в большинстве рассмотренных случаев.

В итоге в качестве влияющих факторов в данной работе будем рассматривать загрузку генерирующего оборудования, переток по контролируемому сечению и состояние коммутируемых СКРМ.

Статистическая обработка исходных данных. Влияющими электрическими станциями являются Беловская ГРЭС, Саяно-Шушенская ГЭС, Берёзовская ГРЭС и Назаровская ГРЭС. Поэтому для данных электрических станций были собраны значения по генерации активной мощности за период с 17 апреля 2022 года по 17 апреля 2023 года. Для сбора данных был использован программный комплекс СК-11, а именно Навигатор данных.

Для дальнейшей обработки статистических данных использовался программный пакет для статистического анализа Statistica. На основе анализа данных по загрузке генерирующего оборудования были подобраны законы распределения случайных величин, которые будут определять параметры возможных электрических режимов.

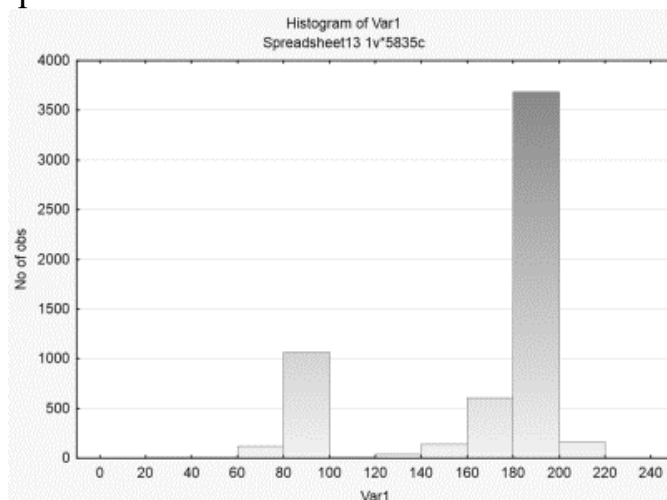


Рис. 1 – Гистограмма для активной мощности Г-1 Беловской ГРЭС

Для большинства единиц генерирующего оборудования электрических станций характерна картина распределения мощности, представленная на рисунке 2.

Как видно из рис. 2 характерной загрузкой генерирующего оборудования является то, что весь диапазон возможных значений можно разделить на несколько интервалов, для которых далее подбираются соответствующие законы распределения.

Например, анализ исходных данных показал, что величина мощности генераторов Беловской ГРЭС лежит в 2 интервалах: от 20-120 МВт и от 130-220 МВт (рис.1). Поэтому было принято решение разделить данный диапазон на области и определить для каждого диапазона свой закон распределения.

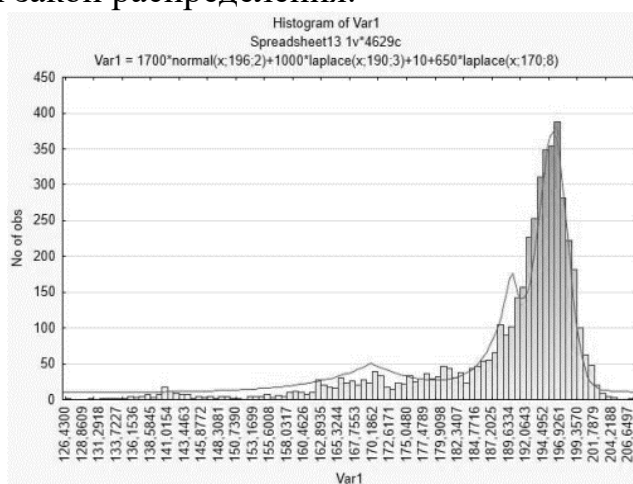


Рис.2 – Смешенный закон распределения для Г-1 Беловской ГРЭС для второго интервала

Для участка № 2 из-за ярко выраженной правосторонней асимметрии использование только нормального закона распределения не представляется возможным, поэтому наиболее точное описание можно получить на основе закона распределения, который объединяет в себе равномерное распределение, нормальное распределение и распределение Лапласа (см. рис. 2).

Данные исследования были проведены и с другими генераторами на других влияющих станциях. Результаты получились аналогичные. С помощью построенных гистограмм мы получили законы распределения для мощности генерирующего оборудования. Мощность генерирующего оборудования выступает в данной работе влияющим фактором.

Далее моделирование случайной величины методом Монте-Карло будем осуществлять в 2 этапа. На первом этапе выбирается диапазон загрузки станции. На втором этапе выбирается случайная величина

загрузки генерирующего оборудования станции на основе полученного закона распределения вероятностей.

Расчёт вероятностных показателей эффективности. Оценка работоспособности разработанной в данной работе методики осуществлялась на примере пяти контрольных пунктов: ПС 500 кВ Ново-Анжерская, Беловская ГРЭС, ПС 500 кВ Юрга, ПС 500 кВ Барнаульская и ПС 500 кВ Новокузнецкая. Используя полученные законы распределения, было произведено моделирование случайных режимов. Для каждого режима была посчитана эффективность СРН для каждого контрольного пункта. Также была определена вероятностная оценка величины эффективности СРН и было осуществлено сравнение со значениями, используемыми в соответствии с ПУР [2].

В качестве примера возьмем контрольный пункт на ПС 500 кВ Ново-Анжерская. По результатам исследований зависимости эффективности управляемых СРН на ПС 500 кВ Ново-Анжерская (СТК-1 ПС 500 кВ Заря) от перетока в контролируемом сечении «Красноярск, Кузбасс – Запад» была построена гистограмма, представленная на рисунке 3.

Главной целью построения гистограмм по полученным результатам было выявление наиболее вероятных значений эффективности средств регулирования напряжения.

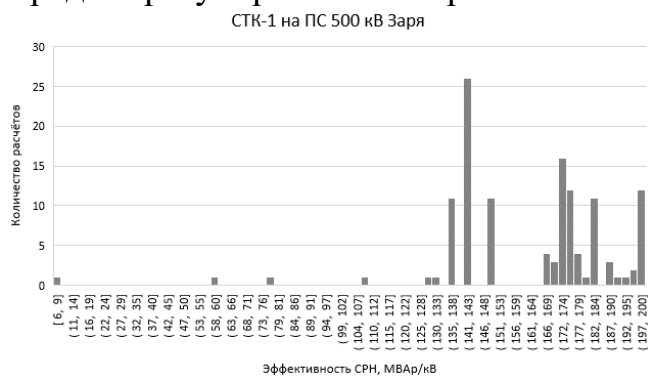


Рис.3 – Гистограмма для СТК-1 на ПС 500 кВ Заря

По рисунку 3 можно сделать вывод о том, что для СТК на ПС 500 кВ Заря наиболее вероятное значение эффективности 142 МВАр/кВ. Полученное значение эффективности СРН отличается от значения, принятого на текущий момент времени на 12,7%.

Далее приведены результаты исследований зависимости эффективности коммутируемых СРН на ПС 500 кВ Ново-Анжерская (ШР-500 ПС 500 кВ Томская) от перетока в контролируемом сечении «Красноярск, Кузбасс – Запад».

По полученным результатам построим гистограммы для каждого средства регулирования напряжения.

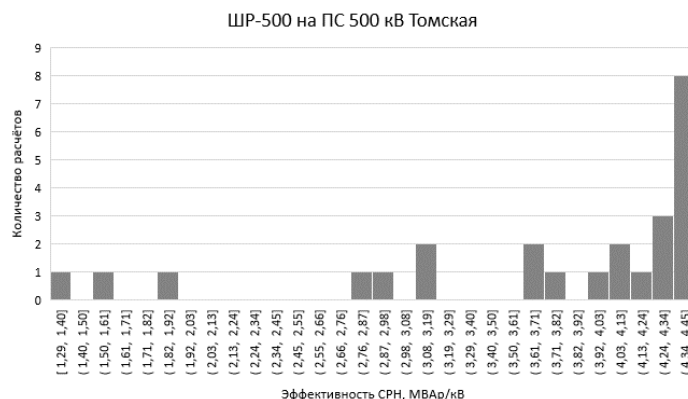


Рис. 4 – Гистограмма для ШР-500 на ПС 500 кВ Томская

По рисунку 4 можно сделать вывод о том, что для реактора на ПС 500 кВ Томская наиболее вероятное значение 4,4 МВАр/кВ, что отличается от значения, указанного в ПУР на 13,6%.

Далее приведены результаты исследований зависимости эффективности изменения реактивной мощности энергоблока станции, которые относятся к СРН ПС 500 кВ Ново-Анжерская (Берёзовская ГРЭС) от перетока в контролируемом сечении «Красноярск, Кузбасс – Запад».

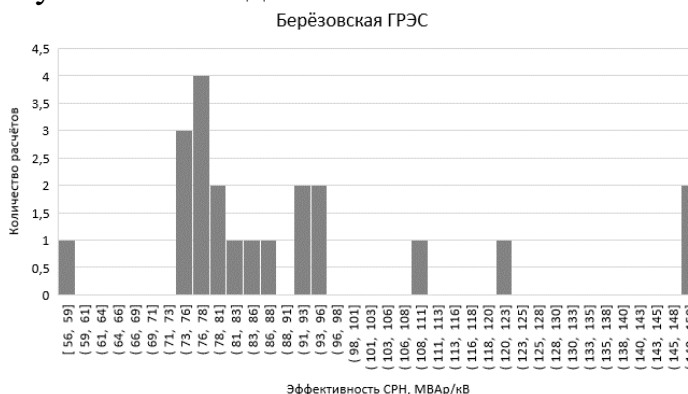


Рис. 5 – Гистограмма для Берёзовской ГРЭС

По рисунку 5 можно сделать вывод о том, что для энергоблока Берёзовской ГРЭС наиболее вероятное значение эффективности 77 МВАр/кВ. Различие со значением, указанным в ПУР, составляет 18,5%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Кузин Л.Т. Основы кибернетики. Т.1. Математические основы кибернетики. – М.: Энергия, 1973.
2. Положение по управлению режимами работы энергосистем в операционной зоне Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири.

Научный руководитель: И.М. Кац, к.т.н., доцент отделения ОЭЭ
ИШЭ, «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет».