

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

203-1

**20-22 октября 2022 года**

---

**УДК 621.316.35.027:621.311**

Н.А. Волохов, аспирант гр. А9-42 (НИ ТПУ)  
А.О. Пахомова, студентка гр. 5АМ1Р (НИ ТПУ),  
Научный руководитель: И.М. Кац, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)  
Г. Томск

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОГРАНИЧЕНИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВА-  
НИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯ-  
ЖЕНИЯ**

Напряжение является одним из параметров электроэнергетического режима, контроль за которым и поддержание на определённом уровне входит в задачу управления режимом электроэнергетической системы[1].

Контроль и регулирование напряжения в электрической сети номинальным напряжением 110 кВ и выше осуществляется в контрольных пунктах по напряжению (КП), а также на иных объектах электроэнергетики, на которых установлены средства регулирования напряжения (СРН), не являющихся КП [2].

Основной характеристикой СРН является его эффективность. Эффективность СРН – это величина, связывающая изменение генерации/потребления реактивной мощности СРН и напряжение в КП.

На основании величины эффективности СРН принимается решение о его использовании диспетчерским персоналом при управлении режимом работы ЭЭС.

При определении перечня СРН, необходимого для обеспечения заданных уровней напряжения, требуется последовательно оценить влияние каждого из них на напряжение в КП и исключить СРН, не отвечающие требованиям по эффективности. Причем существующая в настоящее время методика не ограничивает район ЭЭС, в котором необходимо осуществлять данный анализ, что приводит к значительным трудозатратам.

Наиболее эффективным способом снижения трудоёмкости является ограничение района поиска и, как следствие, уменьшение количества проверяемых СРН.

Например, на модели реальной ЭЭС, содержащей более 7000 узлов, содержится 650 узлов с неуправляемыми и управляемыми СРН. При этом, если руководствоваться нормативной документацией АО СО ЕЭС определяющей метод выявления СРН, используемых при управлении режимом, то

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

203-2

**20-22 октября 2022 года**

---

около 90% этих устройств при любых схемно-режимных ситуациях не могут оказывать влияние на напряжение в КП на требуемом нормативными документами уровне.

Разработанная в рамках данной работы методика ограничения района, в котором необходимо проводить исследование эффективности СРН, заключается в следующем:

1. На первом шаге осуществляется фиксация (отключение возможности изменения потребляемой/генерируемой реактивной мощности) для исключения взаимного влияния управляемых СРН, к которым относятся: управляемый шунтирующий реактор, синхронный компенсатор, статический тиристорный компенсатор, которые осуществляют регулирование напряжение за счёт изменения заданного значения напряжения (уставки по напряжению) на первом шаге можно выполнить фиксацию данных СРН, в особенности данный шаг актуален для исследования узлов, рядом с которыми расположены указанные СРН, так как они в значительной степени будут влиять на результат.
2. На следующем шаге, путем инъекции реактивной мощности в КП осуществляется расчёт двух режимов, в которых достигается изменение напряжения в нем на некоторую величину  $\pm dU$ . Максимальное значение:

$$U_{ном} + U_{ном} * dU,$$

Минимальное значение:

$$U_{ном} - U_{ном} * dU,$$

где  $dU$  – коэффициент изменения напряжения в исследуемом узле, задаваемый для выполнения расчёта;  $U_{ном}$  – номинальное значение напряжения в узле:

3. После проведения расчётов определяется значения напряжения в каждом узле модели и определяется изменение напряжения между двумя режимами. Данное изменение напряжения определяется в относительных единицах по формуле:

$$dU_{*i} = \frac{U_{min\ i} - U_{max\ i}}{U_{ном\ i}},$$

где  $U_{ном\ i}$  – номинальное значение напряжения в  $i$ -том узле;  $U_{min\ i}$  – значение напряжения в узле  $i$  при минимальном напряжении;  $U_{max\ i}$  – значение напряжения в узле  $i$  при максимальном напряжении.

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

203-3

**20-22 октября 2022 года**

---

---

Полученное значение  $dU_{*i}$  для каждого узла сравнивается с определённым значением (dUall), заданным для выполнения расчёта, и, если вычисленное значение будет больше данного значения, то узел добавляется в список узлов, необходимых для дальнейшего исследования эффективности.

4. При применении описанного выше подхода не применяется фиксация всех управляемых СРН, к которым относятся генераторы электростанций, что приводит к тому, что данные узлы могут быть не выявлены, ввиду возможности потребления/генерации реактивной мощности. Для каждого такого узла в модели необходимо провести дополнительное исследование. В данном случае инъекция реактивной мощности выполняется в узле, содержащем СРН, на определённую величину, заданную перед началом расчёта (dQ). Проводится расчёт двух режимов со значениями инъекции:  $Q_{\max} = +dQ$  и  $Q_{\min} = -dQ$ , в которых, соответственно определяются  $U_{\min}$  и  $U_{\max}$  в исследуемом узле и вычисляется значение влияния изменения реактивной мощности в узле с СРН на значения напряжения в исследуемом узле:

$$Q_{\text{уд}} = \frac{|Q_{\max} - Q_{\min}|}{|U_{\max} - U_{\min}|}$$

Которое сравнивается с величиной, заданной перед началом расчёта, и если оно имеет меньшее значение, то узел добавляется в список узлов. После проведения исследования для одного узла значение генерации/потребления реактивной мощности в данном узле устанавливается в значение до расчёта, для исключения изменения режима.

Работоспособность данной методики была проверена и подтверждена на модели энергосистемы, содержащей 7500 узлов и 700 СРН различного типа для узлов различного класса напряжения и в различных схемно-режимных условиях.

Для проверки и подтверждения методики сравнивались результаты определения эффективных СРН при расчётах с использованием данного метода ограничения района и без его использования. В результате выполнения данных расчётов были получены одинаковые результаты, при сокращении времени расчёта (при прочих равных условиях) на 75%.

**Результаты.** В рамках данной работы был разработан метод определения границ энергорайона, в котором необходимо осуществлять оценку

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

203-4

**20-22 октября 2022 года**

---

эффективности СРН. Снижение трудоемкости, которая достигается с помощью рассматриваемого метода заключается в том, что предварительная оценка эффективности СРН позволяет снизить количество проверяемых узлов в задаче поиска эффективных СРН.

Апробация метода на при расчётах по определению эффективности СРН показала его эффективность и возможность его применения для данной задачи.

Список литературы:

1. Постановление Правительства РФ от 13.08.2018 N 937 (ред. от 08.12.2018) "Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации".
2. СТО 59012820.27.010.002-2016 Стандарт ОАО «СО ЕЭС» «Правила перехода на работу в вынужденном режиме в контролируемых сечениях диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС», утв. приказом ОАО «СО ЕЭС» от 25.04.2016 № 103, в редакции Приказа ОАО «СО ЕЭС» от 13.02.2019 № 99.

Информация об авторах:

Волохов Николай Александрович, аспирант гр. А9-42, НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина д. 30, [mytryenin@gmail.com](mailto:mytryenin@gmail.com).

Пахомова Алёна Олеговна, студентка гр. 5АМ1Р, НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина д. 30, [aop26@tpu.ru](mailto:aop26@tpu.ru)

Кац Илья Маркович, к.т.н., доцент, НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина д. 30, [katz@tpu.ru](mailto:katz@tpu.ru)