



ЭНИН

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМ. Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
АО «ЭНИН»,

Акционерное общество «Энергетический институт
им. Г.М. Кржижановского» (АО «ЭНИН»)
119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.19,
Тел.: +7(495) 770-31-00; +7(495) 770-31-01
Факс: +7(495) 770-31-03
E-mail: postbox@eninnet.ru
ИНН/КПП 7725054454/772501001
Р/с 40702810800100000834
в ПАО «МинБанк» г. Москва БИК 044525600
К/с 30101810300000000600



К.Т.Н.

К. А. Лунин

12

2018 г.

Цех.: 01-8/516 - ДП-КА

ОТЗЫВ

ведущей организации

Акционерного общества «Энергетический институт имени Г.М.

Кржижановского»

(АО «ЭНИН»), г. Москва

на автореферат диссертации Дворкина Дмитрия Валентиновича на тему
«Методика поиска источников несимметрии напряжения в точке общего
присоединения подстанции и оценки их фактического влияния»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические
системы».

1. Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Дворкина Д.В. посвящена вопросам идентификации нагрузок в энергосистеме, негативно влияющих на симметрию трехфазного напряжения в ее узлах, и разработке метода качественной и количественной оценки этого влияния.

Несимметрия напряжения питающей сети в энергосистеме (ЭС) в настоящее время в РФ является серьезной проблемой. Ее причина -

неравномерность подключения неполнофазной нагрузки – хорошо известна и достаточно изучена. При этом, современная нормативная база жестко диктует необходимость соответствия фактического уровня несимметрии напряжения заданным показателям качества электроэнергии (ПКЭ).

Несмотря на хорошо разработанную теоретическую базу для анализа состояния ЭС и инструментальную обеспеченность современными средствами измерений, на практике поиск потребителей, искажающих симметрию напряжения, и оценка их фактического влияния затруднена целым рядом аспектов. Ключевым из них является неполнота исходной информации для анализа режима работы сети, которая не дает в ряде случаев применить известные методики, требующие широкого набора исходных данных. В работе соискатель сосредоточился на разработке такой методики, которая позволяет, находясь в границах подстанции (ПС), точно определить весь состав неполнофазных потребителей и оценить их фактическое влияние на несимметрию трехфазного напряжения в точке их общего присоединения (ТОП).

Отдельно следует отметить, что при разработке методики в качестве исходных данных автор работы изначально предлагает использовать только измерения трехфазных токов и напряжений в границе ПС, т.е. сводит их до возможного теоретического минимума. Иными словами, тема представленной работы **актуальна**.

Объект исследования: энергосистемы (ЭС) класса напряжения 220 кВ и ниже.

Предмет исследования: влияние потребителей с неравномерным по фазам потреблением электроэнергии (ЭЭ) и мощности на несимметрию напряжения в узлах ЭС.

2. Цель диссертационной работы

Целью исследования является разработка методики поиска потребителей с неравномерным по фазам потреблением и оценки их

фактического вклада в несимметрию напряжения в условиях недостатка исходных данных для анализа.

Задачи, поставленные для достижения цели:

1) Анализ существующих методов оценки фактического вклада для оценки возможной области их применения в условиях дефицита исходных данных для анализа. Описание обобщенного подхода оценки фактического вклада в условиях широкого набора исходных данных для анализа.

2) Разработка универсальной математической модели, применимой для описания любой реальной ПС в ЭС.

3) Разработка метода поиска потребителей с несимметричным по фазам потреблением из числа потребителей исследуемой ПС, подключенных к ее точке общего присоединения, который позволяет корректно построить ее эквивалентную электрическую схему замещения. Математическое описание метода и оценка условий его работоспособности.

4) Экспериментальная проверка разработанного метода на масштабной физической модели.

5) Разработка *Matlab*-модели одиночной ПС.

6) Экспериментальная оценка погрешности разработанного метода и подтверждение справедливости принятых положений и допущений при его выводе на *Matlab*-модели одиночной ПС.

7) Разработка метода оценки фактического вклада, который позволяет учесть влияние всех описанных параметров, используемых в обобщенном подходе, но, благодаря известной эквивалентной электрической схеме замещения ПС, требует меньшего набора исходных данных.

8) Формирование на основе разработанных методов единой методики, позволяющей в границах любой реальной ПС в ЭС определить всех несимметричных потребителей, подключенных к точке общего присоединения, и их фактическое влияние на несимметрию напряжения в этом узле.

3. Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- 1) Разработана универсальная математическая модель ПС с постоянно симметричным источником питания, справедливая для любой ПС в ЭС. Доказана справедливость линеаризации функций изменения значений фазных токов всех фидеров ПС при равномерном распределении нагрузки по ним.
- 2) Предложен критерий разделения потребителей ПС на 2 группы: с симметричным и несимметричным по фазам потреблением. На его основе разработан метод определения несимметричных потребителей ПС при изменяющихся во времени параметрах ЭС, позволяющий сформировать корректную эквивалентную схему замещения ПС обратной и нулевой последовательности.
- 3) Разработан метод ранжирования потребителей по степени влияния на несимметрию напряжения в точке общего присоединения ПС, применимый в условиях дефицита исходных данных для анализа.

4. Практическая значимость исследования работы

Практическая значимость исследования заключается в:

- 1) Разработанной методике поиска несимметричных потребителей ПС и оценки их фактического влияния на уровень несимметрии напряжения в точке общего присоединения в условиях низкой наблюдаемости ЭС, когда набор исходных данных ограничен.
- 2) Линеаризованной модели ПС, дающей возможность считать, что в ее эквивалентной схеме токи во всех ветвях, подключенных к трансформатору, зависят от изменения любого параметра этой схемы линейно, что позволяет существенно упростить эквивалентирование и анализ многоузловых ЭС.

3) Инструкции по моделированию отдельной ПС или целой ЭС в ПВК *Matlab* в задачах оценки КЭЭ в различных структурах ЕЭС и вузах для учебных целей.

5. Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных в работе результатов обеспечена применением корректных математических методов и моделей, проверка их корректности - сопоставлением с результатами физического моделирования, применением апробированных программно-вычислительных комплексов и проведёнными с их применением расчётами.

В работе сформулированы следующие положения, выносимые на защиту:

1) Универсальная линеаризованная математическая модель ПС, точка общего присоединения которой электрически удалена от симметричного источника питания несимметричным сопротивлением внешней сети.

2) Критерий разделения потребителей ПС на симметричных и несимметричных и метод поиска несимметричных потребителей на его основе.

3) Метод оценки фактического вклада потребителя ПС на основе оценки мощности искажения в его фидере, работоспособный в условиях неполноты исходных данных для анализа.

6. Структура и содержание работы.

Диссертация написана на 195 страницах и содержит титульный лист, введение, четыре главы, заключение, список литературы из 80 наименований, список принятых сокращений и три приложения, включая 109 рисунков и 61 таблицу.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель исследования и задачи, решение которых

необходимо для ее достижения, показана научная новизна и практическая ценность работы, описана ее структура и объем.

В 1-ой главе автор проводит анализ существующих методик для анализа состояния ЭС, поиска несимметричных потребителей ПС и оценки их влияния на несимметрию напряжения в узлах ЭС. Автор, отмечая существенный вклад отечественных и зарубежных исследователей, приходит к выводу, что существующие подходы, зачастую реализуемы только в благоприятных условиях избытка исходных данных для анализа и требуют информации о параметрах сети, часто недоступных на практике. Таким образом, автор сосредотачивает свои усилия на разработке методики, которая работоспособна в условиях теоретического минимума исходных данных – измерений токов и напряжений в границах ПС.

Во 2-ой главе автор предлагает математическую модель ПС, основанную на двухузловой схеме, где первым узлом является ТОП, а вторым – точка нулевого потенциала. В модели внешняя сеть представлена идеальным источником питания, электрически удаленным от ТОП некоторым несимметричным по фазам сопротивлением. Потребители ПС, в зависимости от их типа и частоты, на которой проводится оценка состояния ЭС, представлены пассивными и активными элементами. Автором обосновано, что данная модель справедлива для любой реальной ПС в ЭС. На базе этой модели автором проводится описание разработанной методики поиска несимметричных потребителей ПС и оценка их влияния на несимметрию напряжения в ТОП. Методика включает два метода:

1) **Метод поиска несимметричных потребителей**, основанный на оценке корреляции измеренных значений фазных токов фидеров ПС.

2) **Метод оценки фактического вклада** потребителя в искажение симметрии напряжения в ТОП ПС, основанный на оценке значений и направлений протекания активных, реактивных и полных мощностей искажений, измеренных во всех фидерах ПС.

Автором представлено детальное математическое описание методов, для удобства восприятия сведенное в блок-схемы, описаны условия работоспособности разработанной методики, рассмотрено влияние введенных допущений. В завершении автор представляет набор ситуаций, в которых предложенная им методика превосходит ранее разработанные, показав, что во всех остальных случаях она им не уступает.

В 3-ей главе автор рассматривает среду *Matlab*, в которой в дальнейшем проводится серия математических экспериментов. Итогом работы над главой является *Matlab*-модель ПС, которая соответствует ранее представленной в 1-ой главе математической модели. Для подтверждения ее адекватности автор проводит серию расчетов на модели и сравнивает результаты с более традиционными средствами расчета установившихся режимов ЭС.

В 4-ой главе автор экспериментально проверяет все положения 2-ой главы. Для проверки работоспособности методики на практике автор использует физическую модель на базе стендов «Учебная техника». На базе *Matlab*-модели из 3-ей главы автор проводит численную оценку методической погрешности, вызванную введенными допущениями при разработке Метода поиска несимметричных потребителей. Эксперименты показали, что реальная погрешность метода низка.

В заключении автор подытоживает результаты проделанной работы и обосновывает соответствие поставленных во введении целей и задач достигнутым результатам. Таким образом можно заключить структурную целостность работы и ее соответствие ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

7. Апробация работы и публикации по работе

По теме диссертации опубликовано шесть (6) работ. Из них две (2) в изданиях, входящих в список рецензируемых научных журналов ВАК; две (2) в изданиях IEEE и IOP, одна (1) из которых – кросс-реферируемая в SCOPUS:

1) Дворкин Д.В., Силаев М.А., Тульский В.Н., Палис Ш. Проблемы оценки вклада потребителя в искажение качества электрической энергии – Электричество. Москва – 2017. – №7. – С. 12-19.

2) Дворкин Д.В., Тульский В.Н., Палис Ш. Ранжирование потребителей по степени влияния на несимметрию напряжения в условиях дефицита исходных данных – Электричество. Москва – 2018. – №8. – С. 18-23.

3) Дворкин Д.В., Тульский В.Н. Наблюдаемость энергосистемы // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать третья Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (2-3 марта 2017 г., Москва): Тез. д., Т. 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2017, с. 312.

4) I.S. Metelev, D.V. Dvorkin, R.G. Isakov. “Different load types modelling using MatLab”. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering – IOP Publishing, Vol. 240, 2017.

5) D. Dvorkin, S. Palis, M. Silaev, V. Tulsy. “Balanced Load Identification Based On The Correlation Of The Phase Currents” – IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) – Riga Technical University, 12-13 Oct., 2017.

6) D. Dvorkin, V. Tulsy. Practical use of methods of consumer actual impact estimation into power quality distortions at the point of common coupling // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать четвертая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов 15-16 марта 2018 г., М.: Тез. докл. – М.: ООО «Центр полигр. услуг “Радуга”», 2018. — с. 1017.

8. Замечания по работе

В целом, диссертация Дворкина Д. В. заслуживает высокой оценки, но имеется ряд замечаний:

1) В работе не обосновано отождествление понятия «точка общего присоединения», часто встречающееся в научной литературе, и понятия «узел передачи ЭЭ пользователям сетей высокого, среднего и низкого напряжения», применяемое в актуальном ГОСТ.

2) В работе не указано, учитывается ли случайный характер несимметрии напряжения в узлах сети и каким образом.

3) Объект исследования – электрические сети 220 кВ и ниже, однако известно, что несимметрия напряжения чаще всего наблюдается в сетях 0,4 кВ и в сетях питания тяговой нагрузки. С чем связано исследование сетей 35 кВ и выше?

4) Из работы не ясно, до какого уровня эквивалентируются потребители ПС.

5) Из работы не ясно, с какой целью в третьей главе проводился анализ *Matlab*-модели несинусоидальной нагрузки, если разработанная методика направлена на поиск несимметричных потребителей и оценки их флиания.

6) В работе уделяется большое внимание влиянию на работу метода поиска несимметричных потребителей устройства регулирования под нагрузкой трансформатора (РПН) и его автоматики регулирования коэффициента трансформации, однако устройство переключения без возбуждения (ПБВ) никак не рассматривается. Почему?

9. Заключение по работе

Представленные недостатки носят частный характер и в целом не влияют на качество представленной работы. Содержание работы в полной мере отражено в печатных работах соискателя. Содержание автореферата полностью соответствует материалам, изложенным в диссертации.

Диссертация является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой. На основании выполненных автором исследований решена задача, имеющая существенное значение для совершенствования методологии анализа установившихся режимов ЭС и оценки качества электрической энергии в ее узлах. По научному уровню проведенных разработок и исследований и полученным результатам работа

отвечает требованиям «Положения присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тема и содержание работы соответствуют специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, а ее автор достоин присвоения степени кандидата технических наук по этой специальности.

Работа была рассмотрена на заседании лаборатории преобразовательной техники им. К.А. Круга АО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского» «24» ноября 2018 года (протокол заседания № 11/18).

Заместитель директора по научной работе,
направление – энергетические и
электротехнические технологии, д.т.н., проф.


Панфилов Д.И.

Зав. лабораторией преобразовательной техники
им. К.А. Круга, к.т.н., доц.


Асташев М.Г.

Подписи заверяю.

Нач. Отдела управления персоналом


Ломаченко В.В.



Сведения о ведущей организации

диссертации Дворкина Дмитрия Валентиновича «Методика поиска источников несимметрии напряжения в точке общего присоединения подстанции и оценки их фактического влияния», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Полное и сокращённое наименование организации	Акционерное общество «Энергетический институт имени Г. М. Кржижановского (АО «ЭНИН»)
Место нахождения	19991 г. Москва, Ленинский проспект, д. 19
Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта в сети Интернет	119991 г. Москва, Ленинский проспект, д. 19, postbox@eninnet.ru, +7 495 770 3100 (доб. 1000), http://www.enin.su/ http://xn--h1ajb5d.xn--p1ai/.
ФИО, должность подписавшего отзыв	1. Панфилов Дмитрий Иванович (д.т.н., проф., Заместитель Директора по научной работе), panfilov@eninnet.ru 2. Асташев Михаил Георгиевич (к.т.н., проф., Заведующий лабораторией преобразовательной техники имени К.А. Круга)
Основные публикации работников организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)	1. Асташев М.Г., Новиков М.А., Панфилов Д.И., Рашитов П.А., Ремизевич Т.В., Федорова М.И. Неполнофазные режимы работы схем регулирования транспортных потоков мощности в интеллектуальной распределительной электрической сети – Известия Российской академии наук. Энергетика. Москва – 2015. – №4 – С. 18-23. 2. Панфилов Д.И., Рывкин А.А., Шими́на А.О. Реализация функций измерения показателей качества электрической энергии в устройствах мониторинга процессов в воздушных линиях – Электротехника. Москва – 2014. – №6. – С. 2-7. 3. Лачугин В.Ф., Панфилов Д.И., Смирнов А.Н., Образцов С.А., Рывкин А.А., Шими́на А.О. Многофункциональное устройство регистрации процессов контроля качества электроэнергии и определения места повреждения на линиях электропередачи – Электричество. Москва – 2013. – №8. – С. 29-36. 4. Молодюк В.В., Исамухамедов Я.Ш., Баринов В.А. Основные проблемы электроэнергетики России и пути их решения (часть 1). – научно-техническая фирма «Энергопрогресс». Москва – 2016. – №12. – С. 1-106. 5. Молодюк В.В., Исамухамедов Я.Ш., Баринов В.А.

Основные проблемы электроэнергетики России и пути их решения (часть 3). – научно-техническая фирма «Энергопрогресс». Москва – 2016. – №12. – С. 1-106.

Заместитель директора по научной работе,
направление – энергетические и
электротехнические технологии, д.т.н., проф.


Панфилов Д.И.

Зав. лабораторией преобразовательной техники
им. К.А. Круга, к.т.н., доц.


Асташев М.Г.

Подписи заверяю.

Нач. Отдела управления персоналом


Ломаченко В.В.

