

О Т З Ы В

официального оппонента докт. техн. наук Горюнова Владимира Николаевича на диссертационную работу Беляевского Романа Владимировича «Повышение энергоэффективности территориальных сетевых организаций при оптимизации потребления реактивной мощности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Диссертационная работа Беляевского Романа Владимировича состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста и включает в себя 37 рисунков, 7 таблиц, а также список литературы из 102 наименований.

По диссертационной работе имеется 50 публикаций в научных изданиях, которые с достаточной полнотой отражают ее содержание и основные результаты исследований. В том числе 12 статей опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях международного и всероссийского уровня и с этих позиций удовлетворяют требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Актуальность работы. Электросетевой комплекс является одной из наиболее сложных и ответственных составных частей Единой энергетической системы России. На сегодняшний день ключевой тенденцией, определяющей ход развития электросетевого комплекса, является постоянный рост спроса на электроэнергию со стороны потребителей. Данные темпы обусловлены постепенным повышением энергоэффективности электрических сетей. При этом согласно Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации, в течение ближайших 10–15 лет России предстоит внедрять технологии, которые уже используются в электросетевых комплексах развитых стран. В частности, будут широко внедряться технологии «умных» электрических сетей Smart Grid, которые позволят уменьшить потери электроэнергии, увеличить пропускную способность электрических сетей и значительно повысить надежность электроснабжения.

С этих позиций тема и цель диссертационной работы Беляевского Р.В., заключающаяся в снижении потерь электроэнергии в распределительных сетях территориальных сетевых организаций (РС ТСО) и повышении их энергоэффективности при оптимизации потребления реактивной мощности, является актуальной и полностью отвечает требованиям времени.

Содержание работы. *Первая глава* посвящена анализу текущего состояния РС ТСО. Представлена подробная характеристика РС ТСО, описана структура технологических потерь электроэнергии в электрических сетях, а также основные мероприятия по их снижению. Выполнен анализ нормативно-правовой базы в части нормирования и снижения потерь электроэнергии. Результатом первой главы диссертационной работы является определение и формулирование задач дальнейших научных исследований.

Вторая глава посвящена исследованию процесса потребления реактивной мощности в РС ТСО. Проведен анализ влияния реактивной мощности на параметры РС ТСО. На основании исследований получены зависимости от носительных значений параметров электрических сетей (пропускной способности, потерь электроэнергии и потерь напряжения) от передаваемой реактивной мощности. Кроме того, сформулированы уравнения зависимости коэффициента реактивной мощности от коэффициента загрузки асинхронных двигателей и силовых трансформаторов. На основании паспортных данных оборудования получены соответствующие графики зависимости и проведена оценка эффективности организационных мероприятий по компенсации реактивной мощности, потребляемой силовыми трансформаторами в РС ТСО.

Третья глава посвящена разработке алгоритма оптимизации размещения компенсирующих устройств (КУ) в РС ТСО. Дано представление задачи оптимизации размещения КУ с позиции системного подхода. На основе теории многоуровневых систем предложена иерархическая модель оптимизации размещения КУ в РС ТСО. Подобное представление дает возможность структурировать задачу выбора КУ на разных этапах ее реализации. Далее задача оптимизации размещения КУ сформулирована математически. На основе метода неопределенных множителей Лагранжа получена и решена система уравнений, позволяющая определить оптимальные значения мощности вновь устанавливаемых КУ при условии минимума потерь активной мощности в РС ТСО. На основании полученных результатов исследований разрабо-

тан алгоритм оптимизации размещения КУ с учетом предварительной оценки коэффициентов загрузки трансформаторов в РС ТСО.

В четвертой главе произведена оценка эффективности оптимизации размещения КУ в РС ТСО на основе разработанного алгоритма. Построена имитационная модель РС ТСО в среде MATLAB Simulink. На основе данной модели произведена оптимизация размещения КУ на стороне 6 кВ и 0,4 кВ РС ТСО. В результате установлено, что потери электроэнергии в сети значительно снизились. Экономический эффект при оптимизации размещения КУ на стороне 6 кВ РС ТСО составит 833,6 тыс. руб., на стороне 0,4 кВ – 1032 тыс. руб. при сроке окупаемости менее 1 года. Полученные результаты подтверждают достаточно высокую эффективность предложенного алгоритма.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в ходе диссертационного исследования, подтверждается корректным использованием современных методов математического анализа, оптимизации и моделирования, а также корректностью принятых допущений при постановке задач исследования.

Достоверность представленных в диссертационной работе научных положений и выводов также подтверждается путем имитационного моделирования РС ТСО, основанного на фактических данных о нагрузках сети, полученных по показаниям приборов учета, и экспериментального исследования разработанного алгоритма.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые получены кубические зависимости относительного изменения параметров РС ТСО (пропускной способности, потерь электроэнергии и потерь напряжения) при изменении величины коэффициента реактивной мощности сети.

2. Установлены оптимальные диапазоны нагрузок, при которых целесообразно производить замену малозагруженных асинхронных двигателей и трансформаторов, отличающиеся от известных на практике меньшим критическим значением коэффициента загрузки.

3. Предложен алгоритм оптимизации размещения КУ в РС ТСО, основанный на методе неопределенных множителей Лагранжа, отличающийся от известных алгоритмов предварительной оценкой коэффициентов загрузки трансформаторов, установленных в электрической сети.

4. Разработана имитационная модель РС ТСО, отличающаяся от известных моделей возможностью осуществлять управление реактивной мощностью в электрической сети в зависимости от коэффициентов загрузки установленных трансформаторов.

Практическая значимость работы заключается в разработке научно обоснованного алгоритма оптимизации размещения КУ в РС ТСО. Предложенная имитационная модель РС ТСО позволяет осуществлять оптимизацию размещения КУ и осуществлять управление реактивной мощностью в электрической сети в зависимости от коэффициента загрузки установленных трансформаторов, с учетом минимизации потерь электроэнергии. Полученные результаты могут использоваться при разработке программ энергосбережения в электросетевом комплексе и на промышленных предприятиях.

Замечания по диссертационной работе.

1. На стр. 34 приведена формула для доли d тока, потерь энергии или потерь напряжения, обусловленной передачей реактивной мощности. В дальнейшем эта величина называется относительным значением параметра. Однако относительное значение может быть вычислено и по-другому: путем деления на параметр при отсутствии реактивной мощности. При этом полученные зависимости от коэффициента реактивной мощности окажутся совсем иными и значительно более наглядными.

2. В работе утверждается, что относительные значения тока, потерь энергии и напряжения имеют кубическую зависимость от коэффициента реактивной мощности. В действительности имеется в виду, что эти зависимости хорошо аппроксимируются полиномом третьей степени, в то время как под кубической зависимостью обычно подразумевается, что параметр пропорционален третьей степени переменной. Полином же третьей степени может соответствовать кривым самой разной формы. Кроме того, вообще не ясна необходимость аппроксимации, так как величины d и без этого выражаются через коэффициент реактивной мощности по достаточно простым аналитическим формулам.

3. В диссертации рассмотрен пример технико-экономического обоснования замены малозагруженных трансформаторов на меньшую мощность. На странице 60 приведена стоимость замены трансформатора (1472, 9 тыс. руб.). В результате получен срок окупаемости 2 года. Последнее значение представляется сомнительным. Скорее всего, при его расчете (как и при расчете

приведенных затрат) были учтены потери энергии во всех трансформаторах, а стоимость – только для одного трансформатора.

4. На стр. 71 введено допущение, что при оптимальном выборе компенсирующих устройств не учитываются потери мощности в них вследствие малости этих потерь. В действительности такое допущение требует обоснования. Величина потерь в компенсирующих устройствах играет важную роль, когда в одной сети применяются устройства разных типов (и даже разных номинальных напряжений). Кроме того, эти потери если и малы, то только для БСК.

5. В работе для оптимального выбора компенсирующих устройств выбран метод множителей Лагранжа. Однако применение этого метода связано с несколькими проблемами:

- он не позволяет непосредственно учитывать ограничения неравенства;
- решение получается только для непрерывных величин, в то время как мощности БСК дискретны, а простое округление ведет к большим отклонениям от оптимального решения;
- шкала стоимостей БСК неравномерна и точно может быть представлена только в виде таблицы, в то время как метод Лагранжа требует аналитических зависимостей.

Не вполне ясно, как решаются эти проблемы в представленной работе.

Заключение. Представленная диссертационная работа является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней решена важная задача отраслевого значения по снижению потерь электроэнергии и повышению энергоэффективности РС ТСО при оптимизации потребления реактивной мощности. Содержание диссертации полностью соответствует ее названию и поставленным задачам. Основные выводы и заключение сформулированы достаточно полно и отражают суть результатов, полученных в ходе диссертационного исследования.

Диссертационная работа «Повышение энергоэффективности территориальных сетевых организаций при оптимизации потребления реактивной мощности» полностью соответствует требованиям, установленным в пп. 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к квалификационным работам на со-

искание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Беляевский Роман Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор

Горюнов
Владимир Николаевич

Шифр и наименование специальности: 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты».

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет».

Должность: Заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий.

Адрес организации: Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11.

Адрес электронной почты: kpk@эспп.рф.

Телефон: +7 (3812) 65-21-74.

