

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 17 июня 2014 года № 14.575.21.0078 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 1 в период с 17 июня 2014 года по 31 декабря 2014 года выполнялись следующие работы:

Выполнен аналитический обзор научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности работы городских распределительных сетей, по результатам которого определены основные направления дальнейших исследований и определена их методическая база. Определены недостатки существующих методов оценки энергетической эффективности работы распределительных электрических сетей.

Проведены патентные исследования на установление уровня техники в исследуемой области.

Определены основные критерии и проведен выбор электрических сетей Северо-Западного федерального округа, в выборку попали предприятия электрических сетей Вологодской области, Ленинградской области, города Санкт-Петербурга и др., а также другие возможные предприятия городов СЗФО РФ для проведения дальнейших исследований.

Для нескольких электрических сетей СЗФО РФ определены показатели энергетической эффективности работы. На основании анализа этих показателей установлено, что основными составляющими потерь электрической энергии в электрических сетях городов являются условно-постоянные потери электроэнергии в трансформаторах и нагрузочные потери электроэнергии в линиях 0,4 кВ.

Проведены сбор данных и выборочные экспериментальные исследования изменения мощности потерь холостого хода силовых трансформаторов 6-10 кВ.

Подготовлены аналитические методы исследований для статистической обработки полученных данных.

На основании предшествующей статистической обработки данных разработан метод оценки энергетической эффективности работы трансформаторов 6-10 кВ.

Определена структура бытовых потребителей электрической энергии, которая будет использована при дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях.

Разработана Программа и методика проведения выборочных экспериментальных исследований графиков электрических нагрузок потребителей.

Сформирована база данных по участкам электрических сетей и их оборудованию для проведения выборочных экспериментальных исследований.

При этом были получены следующие результаты:

В результате работ установлено, что особое внимание в настоящее время уделяется вопросам энергосбережения, энергетической эффективности и экономии топливно-энергетических ресурсов, что подтверждается нормативными документами и действующим федеральным законом №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». При этом существующие методы оценки энергетической эффективности работы электротехнических комплексов городских распределительных сетей не учитывают изменения характеристик оборудования в процессе эксплуатации и общего низкого уровня информационной обеспеченности электрических сетей напряжением 6-10 кВ и 0,4 кВ, что приводит к необъективным результатам оценок и прогнозов.

На данном этапе проекта патентоспособных тем выявлено не было. Интеллектуальная собственность на разработанный метод будет закреплена с помощью разработки на последующих этапах свидетельства на программный продукт для ЭВМ. Проведен анализ существующих патентов с целью установления уровня техники в исследуемой области.

На основании данных о значениях и структуре потерь электрической энергии, как основного показателя энергетической эффективности работы распределительных электрических сетей, установлено, что основными составляющими полных потерь электроэнергии, значение которых определяется расчетным путем и требует повышения точности расчета, являются потери в силовых трансформаторах (до 30% и более в общей структуре полных потерь) и нагрузочные потери в линиях 0,4 кВ (до 70% в общей структуре полных потерь).

В настоящее время срок эксплуатации значительной части силовых трансформаторов городских распределительных сетей с высшим напряжением 6-10 кВ превышает 25–30 лет, а фактические значения мощности потерь холостого хода существенно отличаются от паспортных значений. Действующие методики оценки энергетической эффективности не учитывают этих изменений, а проведение глобальной работы по измерению этих показателей при большом количестве единиц оборудования не представляется возможным. Все эти обстоятельства приводят к неверным оценкам и прогнозам.

При низком уровне мониторинга состояния электротехнических комплексов городских распределительных сетей значительные проблемы оценки и прогнозирования энергетической эффективности работы сетей 0,4 кВ связаны с отсутствием исходной информации о параметрах оборудования и режимах работы сетей. Это объясняется отсутствием приборов учета на питающих фидерах 0,4 кВ городских подстанций и, как следствие, отсутствием данных о графиках нагрузки и их показателях, используемых в расчетах.

Собраны данные и проведены выборочные измерения значений мощности потерь холостого хода силовых трансформаторов в распределительных сетях

СЗФО РФ. Установлен факт роста потерь холостого хода в процессе эксплуатации оборудования. Проведен предварительный анализ полученных данных и разработаны возможные условия отбраковки данных для дальнейших исследований.

В качестве основного метода разработки регрессивных математических моделей выбран метод наименьших квадратов с учетом сопутствующих этапов обработки данных: выбор и оценка уровня значимости влияющих факторов, формирование выборки данных, предположение и проверка гипотезы о нормальном законе распределения данных, корреляционный анализ, регрессионный анализ, анализ вариантов математических моделей с оценкой их адекватности к экспериментальным данным и точности описания, окончательный выбор моделей.

На основании предшествующей статистической обработки данных разработан метод оценки энергетической эффективности работы трансформаторов 6(10)/0,4 кВ. По результатам анализа предложен способ построения расчетной модели с заменой одной зависимости $\Delta P_{xx}^*, \% = f(T_{сл})$ двумя линейными: 1) от нуля до полученного значения корня линейной зависимости $T_{сл}(\Delta P_{xx}^*, \% = 0) \approx 20$ лет – линейной зависимостью $\Delta P_{xx}^*, \% = 0$ ($\Delta P_{xx} = \Delta P_{xx.пасп}$); 2) от полученного значения корня $T_{сл}(\Delta P_{xx}^*, \% = 0) \approx 20$ лет – линейной зависимостью $\Delta P_{xx}^* = a_1 \cdot \Delta P_{xx.пасп}$, где значение коэффициента $a_1 = 1,75 \%$ получено по экспериментальным данным. Для трансформаторов со сроками эксплуатации более двадцати лет зависимость $\Delta P_{xx}^*, \% = f(T_{сл})$ может быть описана уравнением $\Delta P_{xx}^*, \% = 1,75 \% \cdot (T_{сл} - 20)$, в соответствии с которым расчетное значение мощности потерь холостого хода силовых трансформаторов увеличивается на 1,75 % за каждый год эксплуатации трансформатора.

Определена структура бытовых потребителей электрической энергии, которая будет использована при дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях. В соответствии с этой структурой бытовые потребители разделены на следующие группы по принципам различия графиков электропотребления: потребители частного сектора, потребителя малоэтажной застройки, потребители пятиэтажной застройки, потребители девятиэтажной застройки и потребители инфраструктуры

Разработаны Программа и методика проведения выборочных экспериментальных исследований графиков электрических нагрузок потребителей, которая будет использована на втором этапе проекта.

Сформирована база данных по участкам электрических сетей и их оборудованию для проведения выборочных экспериментальных исследований, на основании которой и сделан вывод о делении потребителей на группы в зависимости от формы графика.

Элемент новизны работы заключается в разработанном методе расчета мощности потерь холостого хода силовых трансформаторов с различными

сроками эксплуатации на основе математической модели изменения мощности потерь в зависимости от срока службы, что позволит наиболее точно оценивать энергетическую эффективность работы силовых трансформаторов при их эксплуатации и замене без проведения дорогостоящих измерений, а так же в разработке расчетных методов определения графиков электрических нагрузок потребителей городских распределительных сетей и их показателей, что позволит повысить точность оценок энергетической эффективности их работы при эксплуатации и модернизации. Все разработанные методы смогут применяться не только при эксплуатации электрических сетей, но и при проведении работ и разработке мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

По результатам проведенных работ опубликована статья «Methods of assessing and predicting the energy efficiency of electrical complexes of urban distributive power grids» («Методы оценки и прогнозирования энергетической эффективности электротехнических комплексов городских распределительных сетей»), в которой на основании обзора научно-технической и нормативной литературы представлены основные направления дальнейших исследований и подход к ним.

На данном этапе исследований можно сделать вывод о том, что полученные результаты соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту, а проведение дальнейших исследований имеет перспективы.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.