

Еще на этапе проектирования холодильных складов следует продумать меры снижения энергозатрат предприятия. Правильно подобрав холодильное оборудование, продумав варианты комбинаций использования энергосберегающих технологий, возможно значительно снизить энергозатратность эксплуатации промышленных складов.

Эффективность эксплуатации холодильных систем действующих складов также возможно повысить путем экспертизы холодильного оборудования, реконструкции и модернизации холодильных систем и внедрения новейших технологий энергосбережения.

Численный метод определения влияние режимных и климатических факторов на потери энергии в электрических сетях

Шульгат М.Е., Сукртеный Е.А.

Научный руководитель Климович С.В.

Белорусский национальный технический университет

Потребление электроэнергии в мире постоянно растет. В экономически развитых районах в часы максимального потребления нагрузки возникает проблема недостаточной пропускной способности линий электропередачи. С увеличением тока происходит увеличение потерь энергии.

Для повышения пропускной способности и снижения потерь производится строительство новых линий. Одним из путей решения проблемы является использование оценки динамического теплового режима линий передачи. Данный способ позволяет увеличить пропускную способность оборудования электроэнергетических систем.

При эксплуатации энергосистемы, чтобы предотвратить неисправности связанные с перегревом линии электропередачи при увеличении передаваемой мощности, применяются статические тепловые модели. Данные модели используются для оценки температуры провода и максимальной пропускной способности линии электропередачи при проектировании и эксплуатации. Теплота, поглощенная проводником, включает в себя теплоту от протекания тока и теплоту от освещенности солнцем поверхности провода (рис. 1).

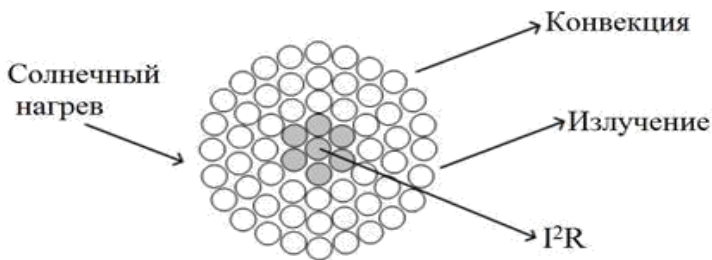


Рис. 1. Связь между приходящей и исходящей тепловой энергией в проводнике

Передача тепла от провода в окружающую среду осуществляется путем конвекции (Q_k) и теплового излучения ($Q_{\text{из}}$). Статические модели теплового режима проводов воздушных линий производят оценку нагрева провода и максимального тока, основываясь на худших условиях охлаждения.

При расчете допустимой нагрузки линий в стационарном режиме, допустимая температура алюминиевого провода со стальным сердечником принимается равной 70 °С. Температура окружающего воздуха может изменяться от 20°С до 40 °С. Как правило, при расчетах принимается средняя температура за самый жаркий месяц. Скорость ветра принимается 0,2 м/с (штиль). Мощность солнечной радиации выбирают 1000 Вт/м².

Согласно нормативным документам в электроэнергетике потребитель должен получать электроэнергию высокого качества и в полном объеме. При авариях отключается часть линий. Отключения линий происходит из-за чрезмерного нагрева проводов. Данный факт делает необходимым использование динамического теплового состояния проводов воздушных линий электропередачи. Мониторинг температуры провода осуществляется устройствами непосредственного или косвенного контроля температуры. К устройствам косвенного контроля относятся устройства, регистрирующие в реальном времени температуру окружающей среды, скорость и направление ветра, солнечный нагрев, стрелу провиса и степень натяжения провода. Полученные результаты передаются на системы расчёта.

Численное моделирование позволяет получить данные о влиянии погодных факторов на максимальный ток линии и средние потери энергии за время переходного процесса. Например на рис. 2 приведена кривая нагрева и охлаждения провода для интервала времени 60 минут и скорости ветра 0,2 м/с. Ток изменяется мгновенно от 0А до 200А, от 200А до 500А и от 500А до 0А. На практике ток изменяется постоянно. Данное изменение может происходить в большом диапазоне. Последнее обстоятельство

свидетельствует о необходимости использования динамической тепловой модели проводов.

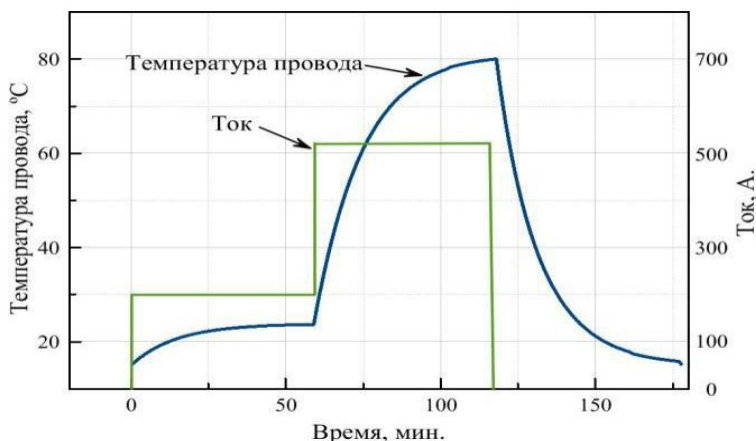


Рис. 2. Изменение температуры провода от тока нагрузки

Более подробно влияние климатических факторов на допустимый ток. Анализ начнем с температуры окружающей среды. Данный параметр в течение суток может изменяться в больших диапазонах.

Влияние температуры окружающей среды приведено на рис. 3 на токовые нагрузки проводов при условии, что температура провода не превышает 70 °C, а скорость ветра 0,2 м/с. Интенсивность солнечного освещения устанавливается равной 0 Вт/м².

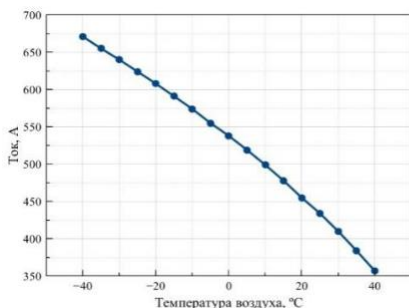


Рис. 3. Связь между допустимой токовой нагрузкой и температурой окружающей среды

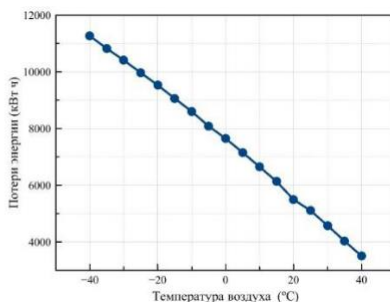


Рис. 4. Зависимость средних потерь энергии от температуры окружающей среды

Из рис. 3 видна необходимость уменьшения тока, если другие параметры остаются неизменными. Основываясь на полученной зависимости тока от температуры воздуха, можно увидеть, что при температуре -40°C ток превышает в 1,5 раза ток при 20°C . Температура 20°C принята в качестве базовой. При температуре 40°C ток меньше базового на 95А. Таким образом, улучшение пропускной способности линий электропередачи и ее надежности, возможно при учете фактической температуры окружающей среды.

На рис. 4 представлена зависимость потерь электрической энергии от температуры окружающей среды. В начальный момент времени температура провода была равна температуре окружающей среды 15°C . В дальнейшем ток изменялся до максимального значения. Максимальный ток принимался таким образом, чтобы температура провода не превышала 70°C . Задачное расчетное время 60 минут, а длина линии принималась 50 км. Скорость ветра равна 0,2 м/с, солнечное излучение не учитывается. Из рис. 4 видно, что с увеличением температуры окружающей среды потери уменьшаются. Это происходит по причине того, что при увеличении температуры окружающей среды ток протекающей через провод должен быть уменьшен, чтобы температура провода не превышала 70°C . При температуре -40°C ток значительно выше тока при $+40^{\circ}\text{C}$. При расчете средних потерь энергии учитывается квадрат тока. Поэтому график имеет такой же вид, что предельно допустимый ток.

Проведенный анализ показывает, что предлагаемый метод расчета предпочтительней при расчете допустимого тока в реальном режиме. Так как в исходных данных температуры могут принимать любые значения. Есть возможность производить решение при отрицательных температурах в широких пределах.

Важным фактором, влияющим на пропускную способность линий, является солнечная радиация. При поглощении солнечной радиации происходит дополнительный нагрев провода. Предельно допустимый ток определяется при условии, что температура провода не превышает температуры 70°C , скорость ветра – 0,2 м/с, температура окружающей среды – 15°C . Соотношение интенсивности освещения и токовой нагрузки проводов приведено на рис. 5. При увеличении нагрева провода солнечным излучением происходит снижение максимального тока. Данный факт влечет снижение и потерь энергии (рис. 6), пропорциональных квадрату тока.

Одним из важных параметров окружающей среды при расчете допустимого тока и температуры провода является скорость ветра, ветер наравне с температурой окружающей среды вносит значительный вклад в охлаждении провода. Зависимость изменения токовой нагрузки от

скорости ветра приведена на рис. 7. Минимальная скорость ветра при расчете принималась равной 0,2 м/с.

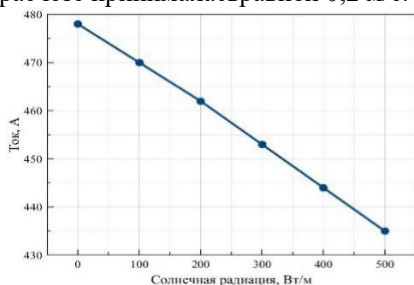


Рис. 5. Взаимосвязь между допустимой токовой нагрузкой и солнечным излучением

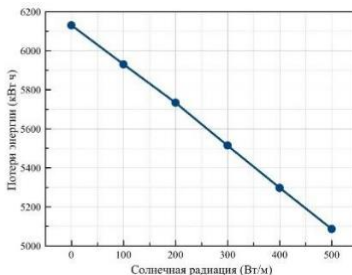


Рис. 6. Зависимость средних потерь энергии от солнечным излучением

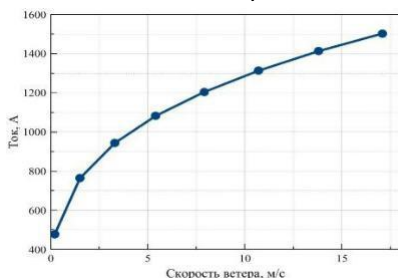


Рис. 7. Взаимосвязь между скоростью ветра и допустимой токовой нагрузкой

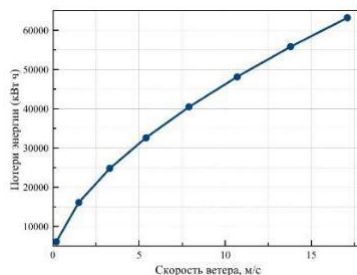


Рис. 8. Зависимость средних потерь от скорости ветра

Из приведенной зависимости видно, что увеличение скорости ветра приводит к росту допустимого тока. Данный факт объясняется тем, что с увеличением скорости ветра улучшаются условия охлаждения, что в свою очередь дает возможность дополнительно догрузить воздушную линию электропередачи. Увеличение тока приводит к увеличению потерь электрической энергии (рис. 8).

Тепловые расчеты линий электропередачи имеют важное значение. Потери электрической энергии, пропускная способность электрических сетей и стрелы провеса зависят от температуры проводов, а температура проводов зависит от токовой нагрузки, температуры окружающей среды, скорости ветра и солнечной радиации.

Режимно-климатические факторы непрерывно изменяются во времени. Это делает актуальным расчет динамического теплового режима работы

линий. Учет нестационарных тепловых режимов необходим для достоверного определения максимальной температуры провода. Это дает возможность более точно прогнозировать возможную максимальную токовую нагрузку. Рассматриваемый метод аналитического решения уравнения теплового баланса провода в нестационарном режиме работы позволяет найти как ток, так и потери электрической энергии за время переходного теплового процесса.

Литература

Yan Y., Bao W., Xin J., Lin H., Li Z., Zhong H. A thermal model based dynamic rating system for overhead transmission lines // 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT). Changsha, 2015. P. 2758–2763.

Oleinikova I., Mutule A., Grebesh E., Lvovs A. Line parameter estimation based on PMU application in the power grid // Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG) 2015 IEEE 5th International Conference on. P. 453–457.

Yang Y., Harley R. G., Divan D., Habetler T.G. Thermal modeling and real time overload capacity prediction of overhead power lines // IEEE International Symposium on Proc. "Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives" (SDEMPED 2009). DOI: 10.1109/DEMPED.2009.5292772.

Beryozkina S., Sauhats A., Banga A., Jakusevics I. Testing thermal rating methods for the overhead high voltage line // 2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Wroclaw, 2013. P. 215–220. DOI: 10.1109/EEEIC.2013.6549619.

Roberts D., Taylor P., Michiorri A. Dynamic thermal rating for increasing network capacity and delaying network reinforcements // SmartGrids for Distribution, 2008 (IET-CIRED). CIRED Seminar. DOI: 10.1049/ic:20080466.

Girshin S. S., Bigun A. Y., Petrova E. V. Analysis of dynamic thermal rating of overhead power lines in the conditions of forced convection considering non-linearity of heat transfer processes // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Chelyabinsk, 2016. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911434.

Goryunov V. N., Girshin S. S., Kuznetsov E. A., Petrova E. V., Bigun A. Y. A mathematical model of steady-state thermal regime of insulated overhead line conductors // 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, 2016. DOI: 10.1109/EEEIC.2016.7555481.

Cigré Working Group 22.12, Thermal behaviour of overhead conductors, Cigré Brochure 207, August 2002.