

Кроме указанного выше, в межфазных напряжениях трехфазной сети будут отсутствовать гармоники, кратные трем, в связи с чем соотношение между фазным и междуфазным напряжениями при несинусоидальном токе становится меньше, чем $\sqrt{3}$.

Высшие гармоники оказывают неблагоприятное воздействие на состояние электроизоляционных материалов – повышение температуры. При увеличении температуры изоляции ускоряются химические реакции, протекающие в материалах изоляции, усиливаемые внутренними неоднородностями, воздействием окружающей среды, поглощенной влагой [4]. Все это снижает электрофизические свойства изоляции, что может привести к пробое изоляционного промежутка или механическому разрушению изоляции.

Негативное действие на изоляцию повышенных температур подтверждается известным правилом Миннезингера, используемым для выполнения экстраполяции результатов ускоренно проводимых испытаний на нагревостойкость: увеличение нормативной температуры на каждые 8 °С (так называемое «восьмиградусное правило») сокращает тепловой срок службы изоляции в два раза. Это является обоснованием вывода о значительном влиянии температуры нагрева изоляции, особенно превышения нормально допустимых значений, на срок ее эксплуатации и в конечном итоге на показатели надежности работы кабельных линий. Таким образом, контроль значений температуры нагрева изоляции позволяет получать обоснованную оценку состояния кабелей различного класса напряжения.

В результате, с учетом того, что они составляют большую долю в действующем значении фазных токов, общий ток в нейтрали может превышать фазные токи.

В связи с этим необходимо произвести расчет предельно допустимых токов для четырехжильного кабеля напряжением до 1 кВ для уточнения сечений кабеля при наличии в токах гармоник высшего порядка.

Литература

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий / И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.
2. Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Бодер ; пер. с англ. Е. А. Васильченко. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
3. Капустин, В. М. Компьютеры и трехфазная электрическая сеть / В. М. Капустин, А. А. Лопухин // Современные технологии автоматизации – СТА. – 1997. – № 2. – С. 104–108.
4. Ушаков, В. Я. Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты / В. Я. Ушаков. – СПб. : Томск, 2008. – 469 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПОРА ВЕТРА НА ПРОВОДА ВОЗДУШНЫХ ЛЭП МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Э. Ж. Серкенов

Рудненский индустриальный институт, Республика Казахстан

Научный руководитель А. И. Барулин

Надежность работы воздушных линий электропередач зависит от многих факторов: конструкции опор, типов проводов, сроков эксплуатации, климатических условий и др. Сейчас для оценки надежности электрических сетей используются справочные показатели надежности. Однако они не являются универсальными для разных регионов, сезонов года и т. д. Поэтому результаты расчета не могут достоверно отображать реальную ситуацию и, соответственно, обоснованно проводиться мероприятия по повышению надежности электроснабжения и снижению аварийных режимов.

Для расчета напряженно деформированного состояния проводов линий электропередач в условиях влияния на него ветровой нагрузки можно использовать метод конечных элементов (МКЭ), разработанный русским инженером Александром Хренниковым в 30-е гг. прошлого века и получивший широкое распространение с изобретением компьютеров из-за простоты и высокой точности.

Метод конечных элементов позволяет оценить деформацию провода, воздействие на него неблагоприятных погодных условий, разной высоты установки опор и многих других факторов. МКЭ имеет надежное физико-математическое обоснование.

Метод конечных элементов – это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными. Исследуемая область разделяется на небольшие, контактирующие друг с другом области – конечные элементы. Для каждого такого элемента записываются линеаризованные уравнения равновесия. Затем составляется общая система таких линейных уравнений конечных элементов и она решается методом Гаусса при известных начальных и граничных условиях. В качестве граничных выступают условия, возникающие в матрице жесткости исследуемого объекта за счет жесткой фиксации отдельных узлов конечных элементов, т. е. невозможности их перемещения при любых условиях или величины заранее заданных смещений отдельных узлов. За начальные условия принимаются геометрия исследуемого объекта, действующие силы заданной величины и направления.

Математическая модель электрического провода воздушной ЛЭП для оценки его напряженно-деформированного состояния при воздействии любых внешних факторов МКЭ достаточно простая и представлена в виде серии, примыкающих друг к другу конечных элементов 50-метрового интервала между двумя опорами, как показано на рис. 1. Граничные условия ограничивали перемещение торцевых концов провода исследуемого интервала, а начальные обеспечивали фиксированную величину силы от сильного ветра в продольном направлении воздушной линии электропередач.



Рис. 1. Математическая модель провода ЛЭП

Физико-механические свойства провода для расчетов МКЭ (удельная плотность, модуль линейной упругости, прочность на разрыв, коэффициент Пуассона) приняты по ГОСТ 839–80.

Для решения была использована авторская *SW*, составленная на языке объектно-ориентированного программирования *Visual Basic 6*. С помощью данной программы мы исследовали ранее провес от гололеда провода трех типов сталеалюминевых проводов: АС 200/11.1, АС 800/101.3 и АС 1120/47.3 [3].

Для оценки предельно допустимой ветровой нагрузки на провода линий электропередач использовали только один тип сталеалюминевых проводов – АС 800/101.3. Вначале рассчитана деформация провода без ветрового давления, т. е. под действием собственного веса. Эти данные необходимы для оценки степени влияния на деформации провода ветровой нагрузки. Далее для расчета отклонения провода под влиянием

ветровой нагрузки задавались продольными силами вдоль направления проводов и тросов ЛЭП. Четырьмя шагами приращения изменялась продольная нагрузка от 1 до 1000 кг. Результаты расчетов с разными ветровыми усилиями, выполненные МКЭ, сведены в таблицу.

Расчет отклонение провода ЛЭП от ветровой нагрузки

Давление ветра, кг/м ²	0	8,1	81,4	366,4	814,1
Отклонение провода по оси X, м	0,000009	0,004	0,043	0,193	0,413
Количество итераций решения	4	4	8	64	58

Решение числовых задач производится методом итерационного улучшения начального решения. Расчет выполнялся с точностью определения смещений провода в 3 мм. После каждого решения проверялось состояние, в котором находятся все конечные элементы математической модели провода ЛЭП, на тот случай, чтобы ни один из конечных элементов провода не претерпел пластического вытягивания. Наибольшее отклонение электрического провода, полученное для типа АС 800/101.3 при нагрузке 81,4 кг/м², показано на рис. 3.

Анализ состояния конечных элементов показал, что провод сохранил свои упругие свойства по всей длине под ветровой нагрузкой до 814,1 кг/м², но дальнейшее увеличение оказалось достаточным, чтобы провод перешел в необратимое деформирование. Подобные аварии приносят значительный экономический ущерб и на их устранение необходимо много времени.

По сравнению с результатом провеса провода, полученного без учета действия ветра и с учетом напора ветра (рис. 2), установлено, что за счет действия ветрового напора провес провода в одной и той же точке уменьшился приблизительно в 2,5 раза. В то же время смещение этого же участка провода в направлении ветра возросло приблизительно в 5000 раз. График зависимости отклонения провода от напора ветра $\Delta X = f(P)$ представлен на рис. 3.

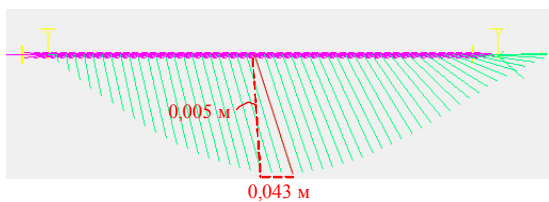


Рис. 2. Наибольшее отклонение провода при нагрузке 81,4 кг/м²

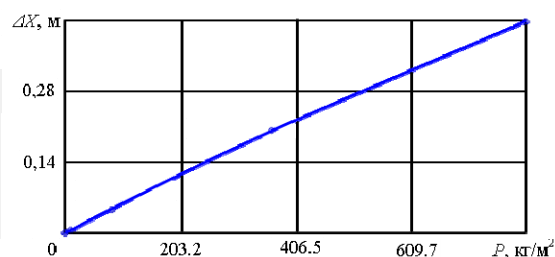


Рис. 3. График зависимости отклонения провода от напора ветра

Анализ очертаний кривой графика показывает, что провод АС 800/101.3 сохранил исходную упругость при ветровом давлении до 814,1 кг/м², о чем свидетельствует линейный характер анализируемой зависимости, т. е. удлинения провода прямо пропорциональны напору ветра. Следует отметить, что напор в 814,1 кг/м² создает ветер, имеющий штормовую скорость 34 м/с. Такие ветры в северном Казахстане происходят с периодичностью 27 лет, а подобные критические последствия проявляются на воздушных линиях передач, ориентированных только соосно направлению этого ветра, т. е. не на всех участках ЛЭП.

Литература

1. Шилин, А. А. Методика определения координат установки датчиков аварийных режимов / А. А. Шилин, О. И. Доронина // *Электрика*. – 2013. – № 5. – С. 42–45.
2. Левченко, И. И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах / И. И. Левченко. – М. : Издат. дом МЭИ, 2007. – 494 с.
3. Михеев, В. П. Контактные сети и линии электропередачи : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / В. П. Михеев. – М. : Маршрут, 2003. – 416 с.
4. Моделирование зависимости ветрового напора на пластически обжатые сталеалюминиевые неизолированные провода АСВП СТО 71915393-ТУ 120-2012 с площадью сечения алюминиевых проволок 371–461 мм² : отчет о НИР / Волгоград. гос. техн. ун-т ; рук. темы Л. М. Гуревич. – Волгоград, 2017. – 57 с. – Режим доступа: http://energoserwise.com/files/vetrovovoe_vozdeistvie_na_ASVP_ASVT.pdf.

**СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА И ТЕПЛОНАСОСНЫХ
УСТАНОВОК ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛОГО ДОМА**

Е. Б. Бобров

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. В. Овсянник

Альтернативой установки электродкотлов на ТЭЦ и котельных является внедрение систем электроотопления и электробойлеров непосредственно у потребителей.

При этом установка систем электроотопления и электробойлеров взамен электродкотлов на районных котельных однозначно принесет экономический эффект за счет:

- ликвидации потерь в теплотрассах;
- снижения расхода электроэнергии на привод сетевых насосов.

В то же время в последнее десятилетие в нашей стране наблюдается значительный интерес к тепловым насосам (ТН). Наибольшее распространение получили ТН парокомпрессионного типа с приводом от электродвигателя. Они отличаются компактностью, простотой, пожаробезопасностью, низким уровнем шума и повышенной надежностью. Для индивидуального теплоснабжения жилого дома с использованием электроэнергии ТН парокомпрессионного типа является оптимальным источником теплоты.

Для систем теплоснабжения, использующих ТН, традиционные радиаторы не подходят, так как они рассчитаны на температуру горячей воды 95–105 °С. При температуре горячей воды 40–50 °С предпочтительно применение систем панельно-лучистого отопления (теплые полы), которые обеспечивают в современных условиях наивысший тепловой комфорт за счет эффекта саморегулирования, который тем действеннее, чем меньше разница между температурой теплоотдающей поверхности и реальной температурой воздуха регулируемой среды [1].

С точки зрения потребителя большой интерес представляет не экономия энергоресурсов, а экономия денежных средств и повышение качества микроклимата. Таким образом, необходимо произвести сравнение различных систем отопления с точки зрения экономического эффекта. При этом система отопления «теплый пол» при сравнительно одинаковых экономических затратах выглядит более предпочтительной в связи с более комфортным распределением температуры в помещении.

Для сравнения различных схем индивидуального теплоснабжения с использованием тепловой энергии выберем объект для исследования. Примем в качестве объекта для исследования жилой дом размерами 10 × 10 м, высотой потолка 2,8 м.