

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ
ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 6(10) кВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
SOLIDWORKS И COSMOSWORKS**

И.Р. Абдулвелеев, Г.П. Корнилов

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
leggyild@mail.ru, korn_mgn@mail.ru*

Аннотация

В данной статье рассматривается проблемы низкой надежности воздушных линий электропередач напряжением 6(10) кВ и несоответствия существующих методов проектирования линий современным требованиям. Авторами предлагается новый подход к исследованию надежности линий с применением систем автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: воздушные линии электропередач, исследование надежности, статический анализ, система автоматизированного проектирования, стальная многогранная опора, железобетонная опора.

**THE RELIABILITY RESEARCH OF THE OVERHEAD
POWER TRANSMISSION LINES 6(10) kV WITH THE USE
OF COMPUTER AUTOMATED DESIGN SYSTEMS
SOLIDWORKS AND COSMOSWORKS**

I.R. Abdulveleev, G.P. Kornilov

*Nosov Magnitogorsk State Technical University
Russia, Magnitogorsk
leggyild@mail.ru, korn_mgn@mail.ru*

Abstract

The problems of the low reliability of the overhead power transmission lines 6(10) kV and disagreement the existing methods of design the lines to the state-of-the-art is examining in the given article. The authors suggest the new approach of the reliability research with using the CAD systems.

Key words: overhead power transmission lines, the reliability research, the static analysis, CAD system, polyhedral steel pole, reinforced concrete pole.

Введение

Протяженность воздушных линий (ВЛ) электропередачи всех классов напряжений на территории Российской Федерации составляет порядка 2,7 млн.км [1]. Большую часть ВЛ, почти 2,5 млн.км, составляют линии класса напряжения 6–10 кВ. При этом ВЛ именно этого класса напряжения являются наиболее аварийными и большая часть линий, на данный момент, находится в изношенном техническом состоянии. Сложившаяся ситуация во многом связана с недостатком сервисного обслуживания воздушных линий, а также отсутствием работ по их реконструкции.

На сегодняшний день удельное число аварийных отключений на 100 км длины воздушной линии 6–10 кВ составляет 6–7 раз в год, а для районов со сложными геолого-климатическими условиями – 20–30 раз в год [2]. Подавляющая часть опор данных линий выполнена на стойках из предварительно напряженного железобетона и более половины отключений связаны с разрушением железобетонной стойки опоры в результате атмосферных воздействий – давления порывов ветра и образования гололеда. Сложившаяся ситуация говорит о недостаточной надежности ВЛ с использованием железобетонных опор (ЖБО) и их несоответствии современным требованиям надежности электроснабжения.

В 70-е и 80-е годы прошлого столетия на территории СССР необходимо было срочно заменить устаревшие деревянные опоры ВЛ, и переход на железобетонные был технически и экономически оправданным. Однако, проектирование и конструирование ВЛ с применением железобетонных опор сегодня, по мнению автора не является целесообразным.

Согласно Правилам устройства электроустановок, обязательным условием расчета воздушных линий является учет ветрового давления [3]. Также, при определении климатических условий необходимо учитывать микрорельеф местности (холмы, котловины, овраги, склоны и т.д.), особенности местности, способствующие резкому увеличению скоростей ветра (высокий берег большой реки, прибрежная полоса озер, водохранилищ, морей и океанов и т.д.) и толщину стенки гололеда в данной местности [3]. Безусловно, подобные расчеты зачастую затруднены отсутствием наблюдений за силой ветра в данном районе и сложностью вычислений, связанных с громоздкими расчетами действующих на опору сил. Следовательно, необходим усовершенствованный метод принятия проектных решений, более современный и точный подход к выбору типа устанавливаемых опор и прогнозированию вероятности разрушения опоры в данной местности.

В большинстве развитых зарубежных стран уже давно наметился

переход от массовых типовых проектных решений в сторону индивидуального адаптивного проектирования с учетом всех особенностей рельефа местности, климата и т.д. [4]. Одним из результатов данного подхода является обоснованная рекомендация по установке на ВЛ напряжением 6-10 кВ стальных многогранных опор (СМО). По оценкам экспертов переход на СМО позволил снизить аварийность линий в несколько раз [4]. Авторами предлагается произвести исследование прочностных характеристик промежуточной стальной многогранной (СМ10П) и промежуточной железобетонной (ПБ10) опор ВЛ с применением моделирования в системе автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks, продемонстрировав, таким образом, качественно новый метод проектирования линий электропередачи. Данный метод инженерного анализа позволяет кардинально сократить время на поиск проектных решений, свести к минимуму количество ошибок на этапе проектирования, избежать натуральных испытаний и получить результат в максимально короткие сроки.

Создание расчетных моделей

На начальном этапе процесса инженерного анализа в среде SolidWorks необходимо спроектировать геометрические модели (CAD) опор ПБ10 и СМ10П, являющихся максимально приближенными аналогами реальных физических моделей. Для этого необходимо смоделировать составные элементы опоры (стойку, фундамент, траверсы и др.) по отдельности, а в дальнейшем осуществить сборку данных элементов. Далее для созданных объектов выбирается материал, физические свойства которого удовлетворяют свойствам проектируемой модели. Таким образом, каждый элемент опоры описывается совокупностью механических характеристик, необходимыми для прочностного исследования. Фрагменты полученных моделей приведены на рис. 1.



Рис. 1. Фрагменты модели сборки опоры СМ10П

На следующем этапе исследования, модели опор экспортируются в COSMOSWorks – приложение SolidWorks, позволяющее анализировать деформацию объектов под воздействием различных видов меха-

нических нагрузок и решать сразу несколько прочностных расчетных задач (статический, частотный, термический и др. расчеты).

Сначала в COSMOSWorks производится создание сетки, т.е. дискретизация объема, занимаемого телом, на элементарные области: для объемного тела – на тетраэдры с гранями, аппроксимируемыми линейными и параболическими функциями координат; для поверхностных моделей – плоскими или криволинейными (параболическая зависимость от координат) треугольниками [6]. Эти области именуются конечными элементами. Таким образом, геометрическая модель (CAD) преобразуется в расчетную математическую конечно-сеточную модель (CAE). Программа позволяет регулировать качество сетки, а так как качество сетки влияет на точность результатов - все исследования проводятся на максимально высоком качестве сетки.

В окне «Крепления» выбирается тип крепления «Зафиксированная геометрия», а в качестве абсолютно неподвижной грани выделяем нижнюю плоскость фундамента для сборки модели СМ10П или нижнюю плоскость стойки опоры для сборки модели ПБ10.

В окне «Внешние нагрузки» устанавливаются тип «Давление» и выделяют необходимые грани для приложения давления, а также - значение и угол приложения данного давления. Давления, действующие на модели, задают из значений определенных для одного из семи районов: 400 Па, 500 Па, 650 Па, 800 Па, 1000 Па, 1250 Па, 1500 Па [3]. Таким образом, создается возможность для сравнения деформаций железобетонной и стальной многогранной опоры для каждого нормативного значения давления.

Статическое исследование и получение результатов

На заключительном этапе инженерного анализа необходимо задать проведение статического исследования в COSMOSWorks и произвести запуск решения. Целью статического анализа является изучение реакции моделей на статическую нагрузку. Для статического анализа не рассматриваются силы, изменяющиеся во времени и применяется линейная упругая модель поведения материалов. Результат исследования представляется в виде 3D анимации направления деформаций, а также в виде цветowych диаграмм для 4 прочностных параметров: напряжение Мизеса (данный параметр характеризует момент исчерпания несущей способности модели), перемещение (значение перемещения для каждой точки в результате деформации), деформация (эквивалентная величина) и коэффициент запаса прочности. Цветовая градация модели изменяется с синего цвета на красный по мере приближения параметра к своему критическому значению. Таким образом, наблюдаются области в структуре опор, испытывающие наибольшие

механические напряжения и точки, в которых вероятнее всего, произойдет разрушение опоры.

На рис. 2 продемонстрирован один из результатов статического прочностного анализа – напряжение Мизеса для модели СМ10П при нормативном давлении 400 Па (25 м/с), соответствующего I району по ветру. Критические области деформации опоры расположены у основания опоры и испытывают максимальное значение напряжения равное 100589608 Н/м². Полученные в ходе исследования результаты сведены в табл. 1. На рис. 3 построен график зависимости коэффициента запаса прочности рассматриваемых опор от принимаемых значений ветрового давления.

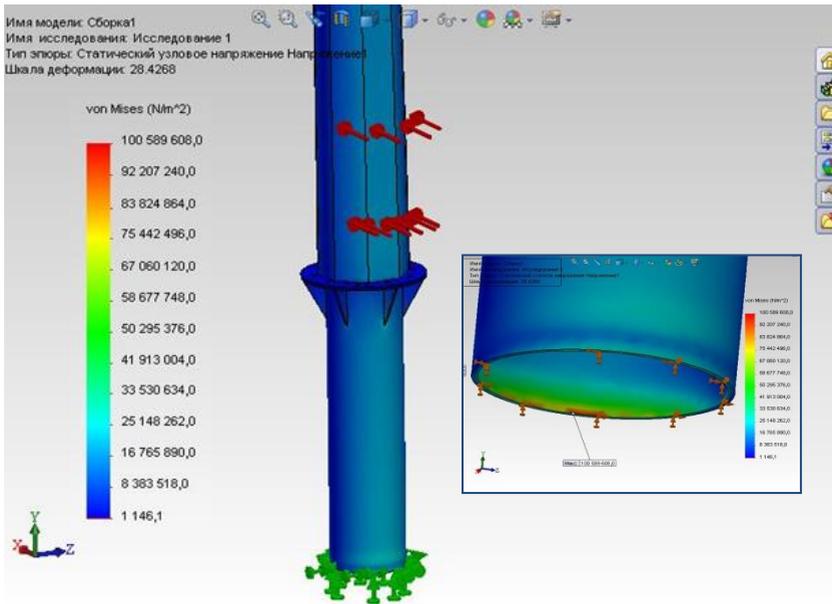


Рис. 2. Диаграмма напряжений Мизеса для модели СМ10П при давлении 400 Па (общий план и критические области)

Таблица 1

Результаты проведенных исследований

Нормативное ветровое давление, Па (м/с)	Напряжение Мизеса, 10 ⁸ Н/м ²		Максимальное перемещение, мм		Деформация		Коэффициент запаса прочности	
	СМ10	ПБ10	СМ10	ПБ10	СМ10	ПБ10	СМ10	ПБ10
400 (25)	1,01	1,80	42,29	6,28	0,22	1,51	2,03	1,14
500 (29)	1,26	2,25	52,87	7,85	0,28	1,88	1,62	0,90
650 (32)	1,63	2,92	68,72	10,21	0,36	2,45	1,25	0,70

Окончание табл. 1

800 (36)	2,01	3,61	84,58	12,57	0,44	3,02	1,01	0,56
1000 (40)	2,51	4,50	105,7	15,70	0,56	3,77	0,81	0,45
1250 (45)	3,14	5,63	132,2	19,64	0,70	4,72	0,65	0,36
1500 (49)	3,77	6,75	158,6	23,58	0,84	5,65	0,54	0,30

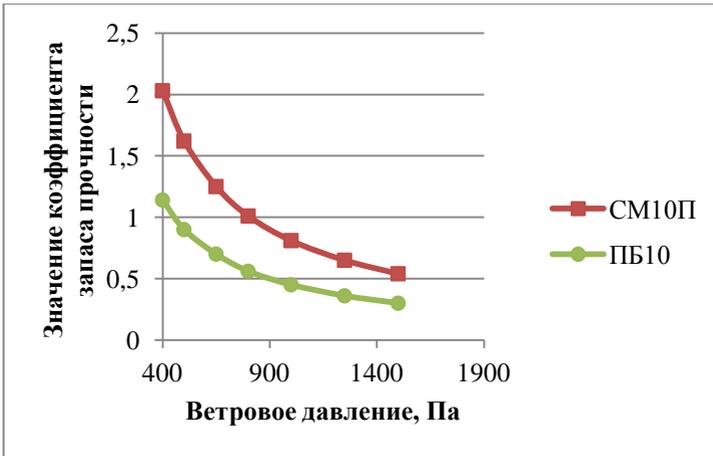


Рис. 3. График зависимости коэффициента запаса прочности опор СМ10П и ПБ10 от значения ветрового давления

Выводы

В ходе исследования, установлено, что железобетонные опоры ПБ10 менее надежны, чем стальные СМ10П; они имеют более низкие значения коэффициентов запаса прочности, испытывают практически в 2 раза большие напряжения Мизеса и претерпевают практически в 7 раз большие внутренние деформации. Заметим, что в проведенных исследованиях не учитывались следующие основные особенности железобетона, еще более ухудшающие его прочностные характеристики, а именно: образование трещин и неустойчивость к агрессивным средам в почве и осадках. Кроме того, следует отметить малые по сравнению со стальной опорой смещения крайней точки железобетонной опоры, что говорит о неэластичности железобетона по сравнению с оцинкованной сталью. На основании чего можно сделать вывод, что применение стальных многогранных опор СМ10П при проектировании ВЛ более целесообразно, чем железобетонных опор ПБ10.

Таким образом, использование предложенных систем автоматизированного проектирования SolidWorks и COSMOSWorks позволило получить более точные данные относительно деформации опор ВЛ

при воздействии на них ветровой нагрузки. Авторами рекомендуется использовать продемонстрированный метод при проектировании воздушных линий, в том числе и нетиповых, для более точного и технически обоснованного выбора типа прокладываемых опор в заданных условиях и учета воздействующих на них механических нагрузок. Метод применим для любого типа местности и рельефа, достаточно прост, а также позволяет значительно улучшить качество проектирования линий электропередачи и существенно уменьшить число аварий на линиях, обеспечив тем самым необходимую надежность электроснабжения потребителей.

Список литературы

1. Minenergo.gov.ru: Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. – Режим доступа: <http://www.minenergo.gov.ru/activity/powerindustry/>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Абдулвелеев И.Р. Выбор типа опор воздушных линий электропередачи с использованием систем автоматизированного проектирования // Отраслевые аспекты технических наук. – 2012. - №5 (17). – С. 37-41.

3. Библия электрика : ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. – М.: Эксмо, 2010. (Российское законодательство. Техническая литература). – С.- 191

4. Линт Н.Г., Казаков С.Е., Семенко О.В. Экономика строительства линий электропередачи на стальных многогранных опорах // Электр. – 2007. - №6. – С. 47-53.

5. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. – М.: ДМК Пресс, 2010., ил. (Серия «Проектирование») – 252 с.

УДК 621.311.1.004.12:621.311.2:621.165

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ И КОТЛОАГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.В. Кочкина, А.В. Малафеев, Н.А. Курилова, Р.П. Нетунский

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
aleksandra-khlamova@yandex.ru, malapheev_av@mail.ru,
EC091@mail.ru, romanet30@mail.ru*