

УДК 621.316.93

**О рациональном проектировании гибридных
«стале-композитных» опор ультракомпактных
воздушных линий электропередач.**

Адищев В.В., Зубков А.С., Иванов А.И., Мальцев В.В., Паничев А.Ю.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) г.Новосибирск, adishch@mail.ru; ООО «ЭЛЕКТРОМАШ» г.Новосибирск, zas@fenix-88.ru; ООО, «Сибсертификация» г.Новосибирск, panichev2008@yandex.ru

Аннотация

Исследованы возможности использования композитного материала (стеклопластика) для изготовления одноцепных (ОЦ) и двухцепных (ДЦ) промежуточных и анкерных опор ультракомпактных воздушных линий электропередач (УКВЛ) напряжением 35 и 110 кВ. Математическое моделирование проведено в программном комплексе ANSYS (лицензия ANSYS Academic Research) в расчетном модуле Static Structural, предназначенном для решения задач механики деформируемого твердого тела. Анализ результатов показал, что для промежуточных опор можно подобрать приемлемые толщины оболочек и ребер. Для анкерных опор предпочтительнее оказываются варианты с двумя стойками. При этом для анкерных опор ДЦ 35 кВ, ОЦ 110 кВ, ДЦ 110 кВ необходимо использовать гибридные стале-композитные стойки.

Ключевые слова: УКВЛ, стеклопластик, оболочка, ANSYS.

В настоящее время в отечественном электросетевом комплексе все больше внимания уделяется практическому внедрению инновационных технических решений, позволяющих сооружать воздушные линии электропередачи нового поколения с улучшенными технико-экономическими и экологическими показателями.

Основные положения этого направления сформулированы в соответствующих документах, которыми руководствуется в своей деятельности основная потребитель – ОАО «ФСК ЕЭС» (ОАО «Российские сети»).

В документе [1] в разделе 2.3 «Воздушные линии электропередачи» отмечается, что одними из основных направлений технической политики при строительстве, техническом перевооружении и реконструкции воздушных линий электропередачи, в частности являются:

- обеспечение надежности и эффективности работы;
- применение конструкций элементов и оборудования, сохраняющих расчетные параметры в течение всего срока службы;
- использование передовых, безопасных методов строительства и эксплуатации.

В документе [2] отмечается, что при создании электрических сетей нового поколения предусматривается применение новых технологий подстанций и воздушных линий (ВЛ), направленных на снижение *металлоемкости* изделий с применением новых материалов, комбинированных устройств, современных методов проектирования.

Вышеперечисленные тенденции технической политики ОАО «Российские сети» ставят вопрос о внедрении в отечественный электросетевой комплекс так называемых ультракомпактных воздушных линий (УКВЛ) электропередачи напряжением 35 и 110 кВ, сооружение которых должно осуществляться с применением следующих инновационных технических решений:

- узкобазовых конструкций быстромонтируемых опор из полимерных композитных материалов;
- изолирующих траверс с нормированной жесткостью их крепления к стойке опоры;
- самонесущих изолированных проводов с повышенными параметрами на растяжение и по рабочей температуре;
- современной концепции повышения грозоупорности воздушных линий среднего и высокого напряжения;
- прогрессивных фундаментных решений по закреплению композитных опор в грунтах с различными физико-механическими характеристиками.

Известно применение композитных опор в мировой практике [3,4,5]. Это, как правило, составные конические оболочки. Их неоспоримыми преимуществами перед стальными опорами является легкость, быстромонтируемость, отсутствие электропроводности. Отрицательным свойством композитных опор является их высокая деформативность.

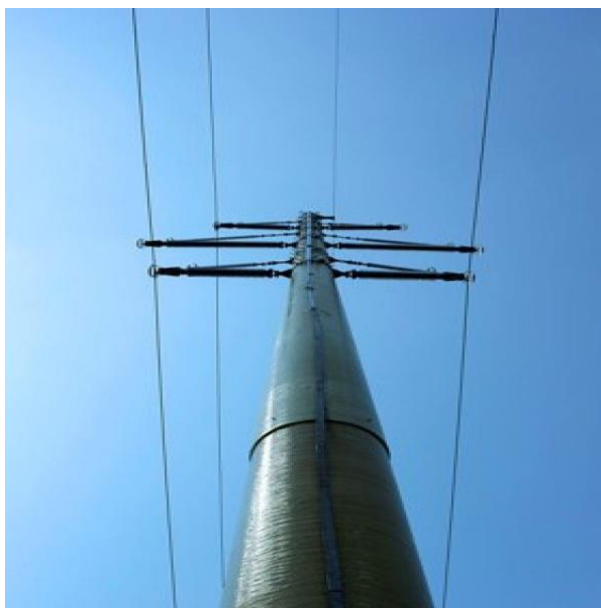


Рис. 1. Сборная композитная промежуточная опора.

Данная работа посвящена исследованию возможности использования композитного материала для изготовления одноцепных и двухцепных опор УКВЛ напряжением 35 и 110 кВ.

Композиционный материал стоек опор состоит из армирующих волокон (стеклянные нити, а также нанопорошки, нановолокна, нанопленки),

пропитанных связующим составом – термореактивными (термопластичными) высокомолекулярными полимерами

Физико-механические характеристики композитного материала (с армирующими элементами из стеклопластика): нормативное (разрушающее) напряжение при растяжении - 205 МПа, при сжатии - 205 МПа, при сдвиге - 25 МПа; модуль упругости 25000...30000 МПа; коэффициент Пуассона 0,185-0,350; плотность 2000 кг/м³.

Требования по жесткости для композитных одноцепных (ОЦ) и двухцепных (ДЦ) опор УКВЛ напряжением 35 и 110 кВ формулируются следующим образом. Для промежуточных одноцепных и двухцепных опор УКВЛ напряжением показатель деформативности опор (предельное отклонение верха стойки опоры) не должен превышать значения $h/30$, где h - высота стойки опоры. Для анкерных одноцепных и двухцепных опор УКВЛ показатель деформативности опор не должен превышать значения $h/100$.

Математическое моделирование проведено в программном комплексе ANSYS (лицензия ANSYS Academic Research) в расчетном модуле Static Structural, предназначенном для решения задач механики деформируемого твердого тела.

Результаты расчетов, выполненных для стоек опор из стеклопластика при действии нормативных нагрузок, представлены в сводной таблице 1. Расчеты выполнены для стоек из двух конических соосных стеклопластиковых оболочек, соединенных ребрами. Стойка такого типа (с внутренними ребрами и двумя соосными коническими оболочками) запатентована [5]. На рис. 2 изображен фрагмент опоры с ребрами.

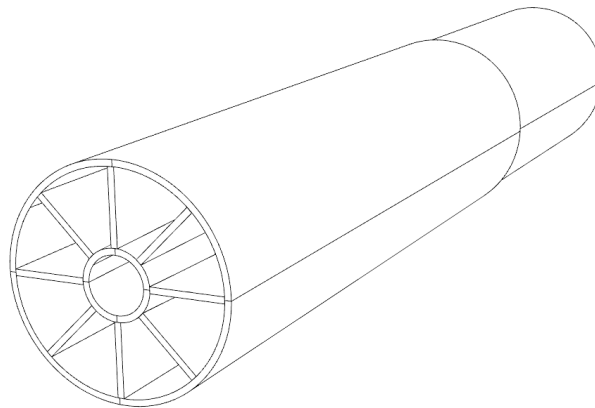


Рис. 2. Фрагмент опоры с ребрами.

Таблица 1 – Отклонения верхнего торца опор.

Тип опоры	Наличие ребер жесткости	Расчетная высота, мм	Толщина оболочки, мм	Толщина ребер, мм	Отклонение верхнего торца опоры, мм	
					Допустимые	Расчетные
Одноцепная промежуточная опора на класс напряжения 35 кВ	да	18510	20	16	617	547,39
	нет		24	-		593,37
Двухцепная промежуточная опора на класс напряжения 35 кВ	да	17650	25	22	588	539,48
	нет		32	-		564,74
Одноцепная анкерная опора на класс напряжения 35 кВ	да	11000	36	32	110	106,52
	нет		50	-		105,29
Одноцепная промежуточная опора на класс напряжения 110 кВ	да	21000	24	20	700	640,31
	нет		30	-		660,99
Двухцепная промежуточная опора на класс напряжения 110 кВ	да	22500	27	24	750	732,31
	нет		27	-		934,91

Анализ результатов показывает, что для промежуточных опор можно подобрать приемлемые толщины оболочек и ребер. Варианты без ребер требуют увеличения толщины внешней конической оболочки, что технологически может оказаться невозможным. Для анкерных опор требуемые показатели деформативности можно достичь при толщине оболочек не менее 36 мм. Более эффективными, как будет показано ниже, являются гибридные опоры с одной или двумя составными стойками-оболочками. Нижняя часть стойки – стальная оболочка, верхняя – стеклопластиковая.

Рассмотрим три варианта анкерных одноцепных гибридных опор классом напряжения 35 кВ.

Вариант 1. Опора состоит из двух стоек, расстояние в свету между стойками в уровне земли 1000 мм. Стойки соединены между собой металлическими стержнями-связями (рис.). Высота стойки 10000 мм. Стойка - коническая композитная оболочка. Высота 10000 мм, внешний диаметр в нижней части 600 мм, толщина 20 мм. Угол конусности оболочки 89,37 град. Стойки соединены между собой в центральной части металлическим каркасом, в верхней части металлической рамой. Элементы каркаса и рамы – металлические, имеют квадратное поперечное сечение 60*60 мм. Расстояние между рамой и каркасом 1000 мм. Расстояние между тремя рамами образующими каркас 1380 мм.

Вариант 2. Опора состоит из двух стоек, расстояние в свету между стойками в уровне земли 1000 мм. Стойки соединены между собой металлическими стержнями-связями (рис.). Высота стойки 10000 мм. Стойка - коническая композитная оболочка. Высота 10000 мм, внешний диаметр в нижней части 782 мм, толщина 16 мм. Угол конусности оболочки 89,37 град. Стойки соединены между собой в центральной части металлическим каркасом, в верхней части металлической рамой. Элементы каркаса и рамы – металлические, имеют квадратное поперечное сечение 60*60 мм. Расстояние между рамой и каркасом 1000 мм. Расстояние между тремя рамами образующими каркас 1380 мм.

Вариант 3. Опора состоит из стойки высотой 10000 мм. Нижняя секция стойки – цилиндрическая стальная оболочка. Высота 6000 мм, внешний диаметр 820 мм, толщина стенки оболочки 18 мм. Верхняя секция - коническая композитная оболочка. Высота 5250 мм, внешний диаметр в нижней части 782 мм, толщина 20 мм. Угол конусности оболочки 89,37 град. Композитная секция стойки вставляется в стальную с нахлестом 750 мм. Для этого внутри стальной секции устраивается фланец.

Для сравнения ниже рассмотрим также **вариант 4** анкерной опоры с одной композитной стойкой.

На рисунке 3 изображен общий вид анкерной гибридной опоры, на рисунке 4 – схема нагружения анкерной опоры, состоящей из двух стоек.

Стойки опор крепятся к стальной свае-фундаменту через фланец, либо к гибриднему фундаменту (стеклопластик-сталь), запатентованному авторами [6].

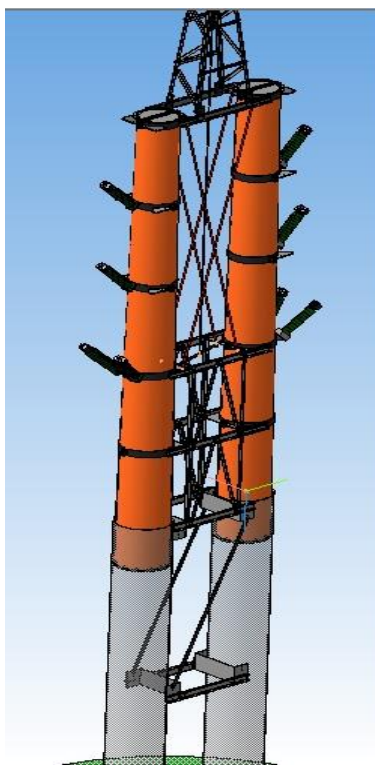


Рис. 3. Общий вид анкерной
опоры с двумя стойками.

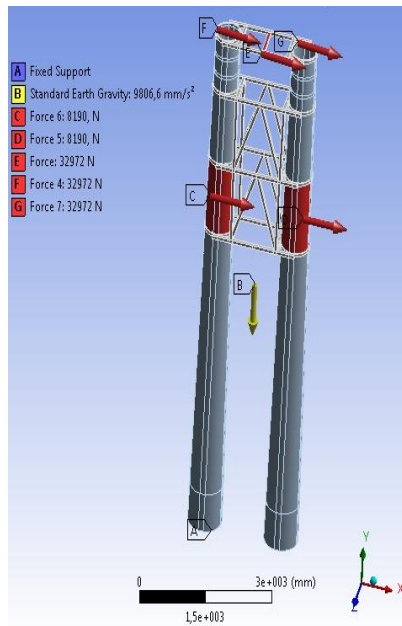


Рис. 4. Схема нагружения анкерной опоры.

Расчеты выполнены для вышеперечисленных опор, а также для ДЦ 35 кВ, ОЦ 110 кВ, ДЦ 110 кВ. Схемы нагружения нормативными нагрузками одинаковы для всех анкерных опор (рис. 4)

Двухцепная опора классом напряжений 35 кВ (ДЦ 35 кВ). Опора состоит из двух стоек, расстояние в свету между стойками в уровне земли 1000 мм. Стойки соединены между собой металлическими стержнями-связями. Высота стойки 12500 мм. Нижняя секция стойки – цилиндрическая стальная оболочка. Высота 3000 мм, внешний диаметр 820 мм, толщина стенки оболочки 18 мм. Верхняя секция - коническая композитная оболочка. Высота 10250 мм, внешний диаметр в нижней части 782 мм, толщина 20 мм. Угол конусности оболочки 89,37 град. Композитная секция стойки вставляется в стальную с нахлестом 750 мм. Для этого внутри стальной секции устраивается фланец. Стойки соединены между собой в центральной части металлическим каркасом, в верхней части металлической рамой. Элементы каркаса и рамы – металлические, имеют квадратное поперечное сечение 60*60 мм. Расстояние между рамой и каркасом 1000 мм. Расстояние между тремя рамами образующими каркас 1380 мм.

Одноцепная опора классом напряжений 110 кВ (ОЦ 110 кВ). Опора состоит из двух стоек, расстояние в свету между стойками в уровне земли 1000 мм. Высота стойки без грозотроса 10500 мм. Нижняя секция стойки – цилиндрическая стальная оболочка. Высота 1000 мм, внешний диаметр 8020 мм, толщина стенки оболочки 18 мм. Верхняя секция - коническая композитная оболочка. Высота 10250 мм, внешний диаметр в нижней части 782 мм, толщина 20 мм. Угол конусности оболочки 89,37 град. Компо-

зитная секция стойки вставляется в стальную секцию с нахлестом 750 мм. Для этого внутри стальной секции устраивается фланец. Стойки соединены между собой в центральной части металлическим каркасом, в верхней части металлической рамой. Элементы каркаса и рамы – металлические, имеют квадратное поперечное сечение 60*60 мм. Расстояние между рамой и каркасом 2000 мм. Расстояние между тремя рамами образующими каркас 1380 мм.

Двухцепная опора классом напряжений 110 кВ (ДЦ 110 кВ). Опора состоит из двух стоек, расстояние в свету между стойками в уровне земли 1000 мм. Стойки соединены между собой металлическими стержнями-связями (рис. 1). Высота стойки без грозотроса 13500 мм. Нижняя секция стойки – цилиндрическая стальная оболочка. Высота 6000 мм, внешний диаметр 820 мм, толщина стенки оболочки 18 мм. Верхняя секция - коническая композитная оболочка. Высота 8250 мм, внешний диаметр в нижней части 782 мм, толщина 20 мм. Угол конусности оболочки 89,37 град. Композитная секция стойки вставляется в стальную с нахлестом 750 мм. Для этого внутри стальной секции устраивается фланец. Стойки соединены между собой в центральной части металлическим каркасом, в верхней части металлической рамой, а также стеклопластиковыми стержнями-связями. Элементы каркаса и рамы – металлические, имеют квадратное поперечное сечение 60*60 мм. Расстояние между рамой и каркасом 4500 мм. Расстояние между тремя рамами образующими каркас 1380 мм. Поперечное сечение стержней-связей 30*30 мм.

На рисунках 5,6 изображены изополя горизонтальных перемещений и эквивалентных напряжений в опоре вариант 1. Изополя для варианта 2 аналогичны. Варианты 1, 2 опор состоят и двух стеклопластиковых стоек, варианты 3, 4 состоят из одной стойки, при этом вариант 3 гибридный, а вариант 4 полностью стеклопластиковый. Допустимые отклонения верхнего торца анкерной опоры составляет 110 мм. Изополя перемещений опор вариантов 3 и 4 представлены на рисунках 7 и 8.

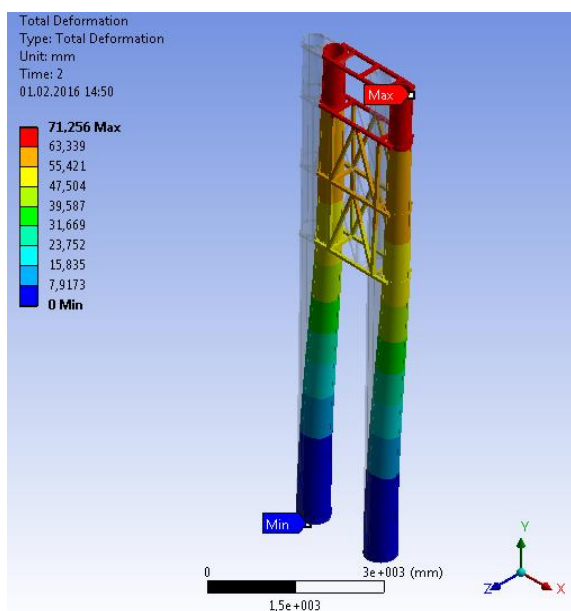


Рис. 5. Изополю перемещений, мм.
Вариант 1.

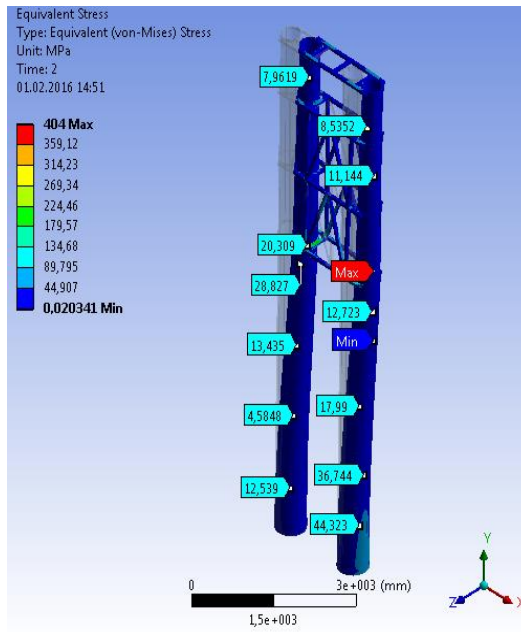


Рис. 6. Изополю эквивалентных напряжений, МПа. Вариант 1.

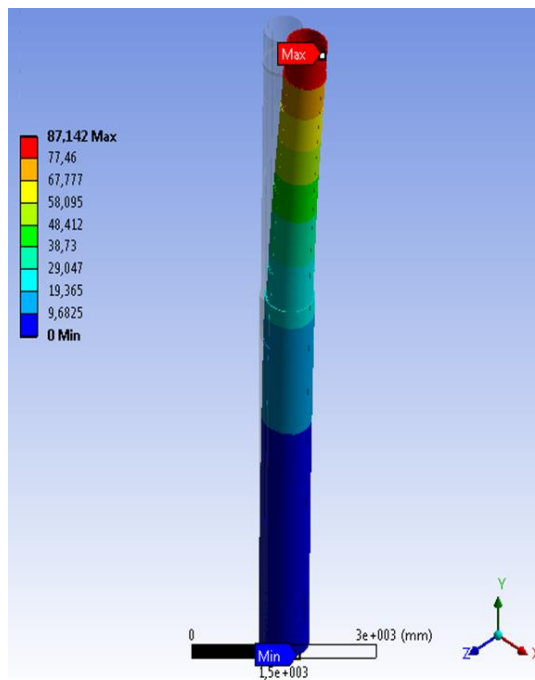


Рис. 7. Изополю перемещений, мм.

Вариант 3.

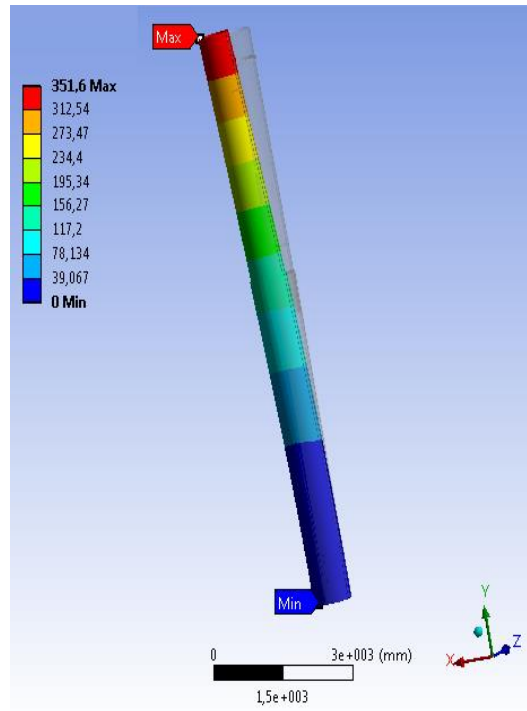


Рис. 8 Изополя перемещений, мм.

Вариант 4.

Результаты расчетов, представленные в таблице 2, очевидно показывают предпочтительность для анкерных опор вариантов с двумя стойками, связанными стальным каркасом. При этом для опор ДЦ 35 кВ, ОЦ 110 кВ, ДЦ 110 кВ, как показывают расчеты, варианты с одной стойкой и полностью композитные не приемлемы.

Таблица 2 – Результаты расчетов анкерных опор.

Параметр	ОЦ 35 кВ				ДЦ 35 кВ	ОЦ 110 кВ	ДЦ 110 кВ
	1	2	3	4			
max(Δ) от- клонения, мм	71,26	47,37	87,14	351,60	79,88	63,11	79,05
max($\sigma_{\text{ЭКВ}}$) композит- ной части, МПа	45,12	46,25	43,66	131,37	14,79	17,47	16,86
max($\sigma_{\text{ЭКВ}}$) стальной части, МПа	-	-	132,35	-	84,57	64,52	65,70

На основании выполненных исследований, ЗАО «Феникс-88» проектирует линейку гибридных анкерных опор УКВЛ напряжением 35 и 110 кВ. Пример такой опоры приведен на Рисунке 9.

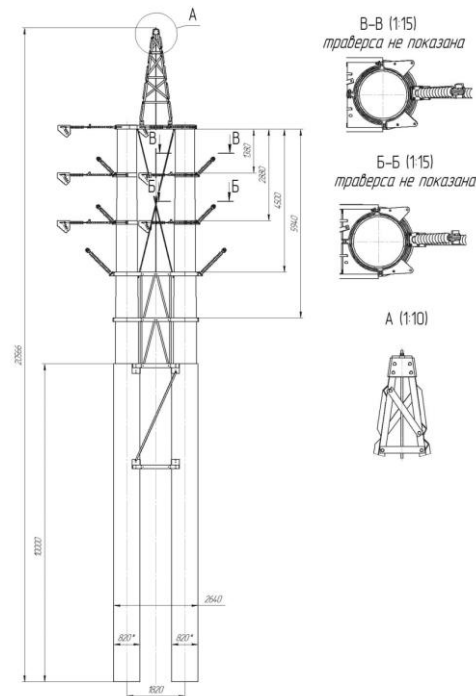


Рис. 9. Габаритный чертеж двухцепной анкерной опоры 110 кВ.

Заключение.

С использованием программного комплекса ANSYS исследованы возможности использования композитного материала (стеклопластика) для изготовления одноцепных и двухцепных промежуточных и анкерных опор УКВЛ напряжением 35 и 110 кВ.

Анализ результатов показал, что для промежуточных опор можно подобрать приемлемые толщины оболочек и ребер. Предложены ориентировочные геометрические характеристики промежуточных опор.

Для анкерных опор предпочтительнее оказываются варианты с двумя стойками, связанными стальным каркасом. При этом для опор ДЦ 35 кВ, ОЦ 110 кВ, ДЦ 110 кВ необходимо использовать гибридные стале-композитные стойки. Для анкерных опор также предложены геометрические характеристики.

Список использованных источников

1. Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС. Москва, 2011 г.- 199 с.
2. Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. ОАО РАО "ЕЭС России". Москва, 2008 г., 90 с.
3. Patent NO.: US 6,397,545 B1
Jerome P. Fanucci, James J. Gorman, Date of Patent: Jun. 4, 2002.
4. Patent Number US 5,704,187
Gregory Sander, John Franklin Boozer, Robert Ashley Pollard, John Richard Lewis, Date of Patent Jan. 6, 1998.
5. Patent NO.: US 7,866,121 B2
Dimos Polyzois, Nibong Ungkurapinans, Date of Patent: Jan. 11, 2011
6. Пат. 160426 Россия, МПК E02D 27/42 (2006.01). Устройство крепления полой композитной опоры к опорной плите фундаментной конструкции / Адищев В.В., Зубков А.С., Мальцев В.В., Иванов А.И., Паничев А.Ю. - 2015143970/03; Заявлено 13.10.2015; Опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (мероприятие 1.4 Программы) , заявка 2014-14-582-0002-025, по проекту «Разработка опор из композитных материалов и технических решений для ультракомпактных высоковольтных линий (УКВЛ) на различные классы напряжений (35 кВ, 110 кВ)», соглашение № 14.582.21.0001, уникальный идентификатор RFMEFI58214X0001.