



ОПЫТ и ИННОВАЦИИ



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Прошло более трех лет с момента первого совещания Рабочей группы ПАО «Россети», давшего старт внедрению железобетонных опор нового поколения.

Выпуск специального издания, которое Вы держите в руках, ставит своей задачей рассказать о последних разработках и опыте внедрения современных железобетонных опор в электросетевое строительство.

Актуальность вопроса использования опор нового поколения становится очевидной, если учесть, что 70% затрат на строительство ВЛ составляет стоимость опор и фундаментов. Простые в монтаже железобетонные опоры, которые эксплуатируются уже более 60 лет, в 2 раза дешевле металлических опор, рассчитанных на восприятие тех же нагрузок. Стоимость строительства ВЛ с их применением в среднем на 30% ниже, чем при использовании металлических конструкций.

Современные железобетонные опоры, как и прежде, выполняются на базе центрифугированных стоек, изготавливаемых в конических или цилиндрических опалубках длиной 26 или 20 метров соответственно. Для сокращения расходов на перевозку длинномерных конструкций стойки делятся на две секции, которые соединяются между собой на строительной площадке при помощи болтов. Конструкция соединительного узла, помещаемого в опалубку перед центрифугированием, позволила обеспечить выпуск полностью готового изделия и отказаться от варианта приварки внешних фланцев после изготовления стоек. Короткие секции становятся более жесткими, что снижает их повреждаемость при транспортировке.

Новые конструкции обладают повышенной долговечностью за счет использования современной арматуры, бетона повышенного класса прочности В60 и водонепроницаемости не ниже W12.

К настоящему времени накоплен опыт использования железобетонных опор из секционированных стоек при техническом перевооружении существующих ВЛ. Разработаны и испытаны варианты новых опор напряжением 35–500 кВ для различных климатических условий. Предложены способы закрепления опор на специальные фундаментные секции. Большое внимание уделено разработке нормативной документации для исключения проблем при установке опор на трассы ВЛ.

Специалистами кафедры «Инженерная химия и естествознание» Петербургского государственного универ-

ситета путей сообщения и сотрудниками НИЛКЭС проведены научные исследования по созданию специальных составов бетона, разработаны специальные добавки и технологии их применения, позволяющие увеличить долговечность бетона без увеличения стоимости конструкций.

С появлением новых технологий изготовления секционированных центрифугированных стоек и современных подходов к повышению долговечности железобетона стало возможным решить задачу увеличения надежности ВЛ при существенном сокращении затрат на строительство.

Совместными усилиями ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС» и разработчиков конструкций пройдены этапы внедрения современных опор в практическое строительство:

- внесены рекомендации по использованию железобетонных опор из секционированных стоек для ВЛ 110–750 кВ в «Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе»;
- разработан и введен в действие Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.29.120.90.247-2017 «Железобетонные опоры ВЛ 35–750 кВ на базе центрифугированных секционированных стоек. Технические требования»;
- при техническом перевооружении ВЛ 35–500 кВ активно используются модифицированные типовые железобетонные опоры из секционированных стоек;
- завершается разработка серии новых железобетонных опор из секционированных стоек для ВЛ 110 кВ, выполняемых в рамках НИОКР Ленэнерго.

Накопленный опыт разработки конструкций и результаты научных исследований по получению бетонов нового поколения привели к появлению в Дорожной карте развития направления «СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА» до 2030 года новых стратегических задач, в числе которых разработка серии типовых проектов:

- опор из секционированных железобетонных стоек для ВЛ 220–500 кВ;
- железобетонных фундаментов, свай, стоек для опор ВЛ и оборудования ПС с использованием наномодифицированного бетона повышенной долговечности и современной арматуры.

Материалы сборника содержат предложения как по использованию уже готовых наработок, так и стратегические задачи по выпуску новых типовых проектов кон-



струкций, использование которых позволит сократить затраты при строительстве и эксплуатации ВЛ за счет установки недорогих долговечных опор и фундаментов ВЛ.

Выпуск содержит серию статей о поиске инновационных конструктивных решений для новых железобетонных опор, которые были опубликованы в журнале «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» с 2014 по 2017 год. Эта информация не потеряла своей актуальности и сегодня.

Надеюсь, что представленные Вашему вниманию статьи помогут специалистам увидеть объективную картину научных и производственных возможностей по разработке и изготовлению современных конструкций и послужат ускорению процесса их внедрения на объектах ПАО «Россети».

*Любовь КАЧАНОВСКАЯ,
к.т.н., заведующая НИЛКЭС
ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест»
Сентябрь, 2017*

ЭЖБИ — ОПЫТ И ИННОВАЦИИ

ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» —

управляющая компания, созданная в 2002 году, организует работу крупнейших железобетонных заводов России. Компания располагает собственным научно-техническим центром и производственным комплексом, способным решать самые сложные задачи. В состав Объединения входят:

- ООО «Рыбинскэнергожелезобетон» — РЭЖБ
- ООО «Волгоградский завод строительных материалов» — ВЗСМ
- ООО «Северо-Кавказский комбинат промышленных предприятий» — СККПП.
- ОП «Научно-исследовательская лаборатория конструкций электросетевого строительства» — НИЛКЭС.

Заводы Объединения выпускают полный спектр железобетонных изделий для энергетического строительства. В номенклатуру продукции входят как железобетонные, так и металлические конструкции опор и фундаментов воздушных линий и подстанций напряжением от 0,4 до 750 кВ.



Вибрированные сваи

По технологии ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ изготавливаются:

- стойки конические (длиной 22,6 и 26 м) с диаметром в основании 650 мм;
- стойки цилиндрические (длиной 20 и 22 м) диаметром до 800 мм.

По технологии ВИБРИРОВАНИЯ изготавливаются:

- стойки вибрированные для опор ВЛ 0,4–10 кВ и оборудования ПС;
- сборный железобетон для ОРУ подстанций;
- сваи и грибовидные фундаменты для закрепления унифицированных опор ВЛ 35–750 кВ;
- железобетонные конструкции для дорожного и гражданского строительства.

Все типы стоек для опор и фундаментов ВЛ 35–750 кВ изготавливаются в секционированном варианте, обеспечивающем сокращение затрат на этапе их транспортировки.

География поставок —

от Сахалина до Калининграда, от Мурманска до Краснодарского края. Заводы Объединения равномерно распределены по территории Европейской части России, что облегчает логистику поставок на любые объекты страны.



Испытательные полигоны

Все заводы Объединения имеют собственные полигоны, которые используются как для периодических испытаний унифицированных конструкций, так и для опытных образцов вновь разрабатываемых изделий с целью выявления оптимальных технических решений и технологий их изготовления.

Объединение научных и производственных ресурсов

ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» обеспечивает:

- разработку оптимальных технических решений по новым конструкциям;
- внедрение эффективных высокопроизводительных технологий;
- внедрение новейшего оборудования для обеспечения высокого качества продукции.

Вся номенклатура производимой продукции аттестована в ПАО «Россети».



Испытания конической стойки 26 м на заводе

Оптимизация производственных процессов и обеспечение гарантий качества достигается за счет введения на предприятиях:

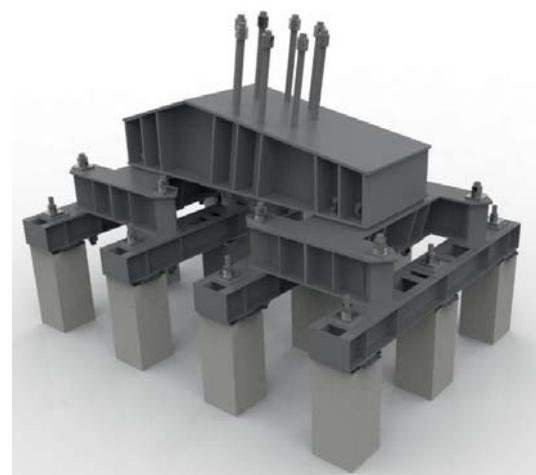
- автоматизированной системы управления технологическим циклом изготовления продукции;
- информационной системы контроля каждого изделия на всех этапах производства (база данных, доступная в интернете).

УМНЫЕ КОНСТРУКЦИИ —

Научно-исследовательская лаборатория конструкций электросетевого строительства (НИЛКЭС), созданная в 1974 году на базе Северо-Западного отделения института «Энергосетьпроект» для разработки унифицированных конструкций опор и фундаментов ВЛ и ПС, вошла в состав ПО с 2015 года.

Опыт, приобретенный специалистами НИЛКЭС при разработке типовых проектов 1960–1990 годов, активно использован при разработке:

- базовой серии многогранных опор и фундаментов для ВЛ напряжением 330–500 кВ;
- создании серии многогранных порталов для ВЛ 330 кВ, которые уже установлены на ПС «Западная» в Санкт-Петербурге;
- проектировании опор и фундаментов для двух больших переходов ВЛ 220 кВ через Волгу в районе Балаково;
- типового проекта фундаментов из винтовых свай для всех типов решетчатых и многогранных опор ВЛ;



Фундамент для перехода через Волгу



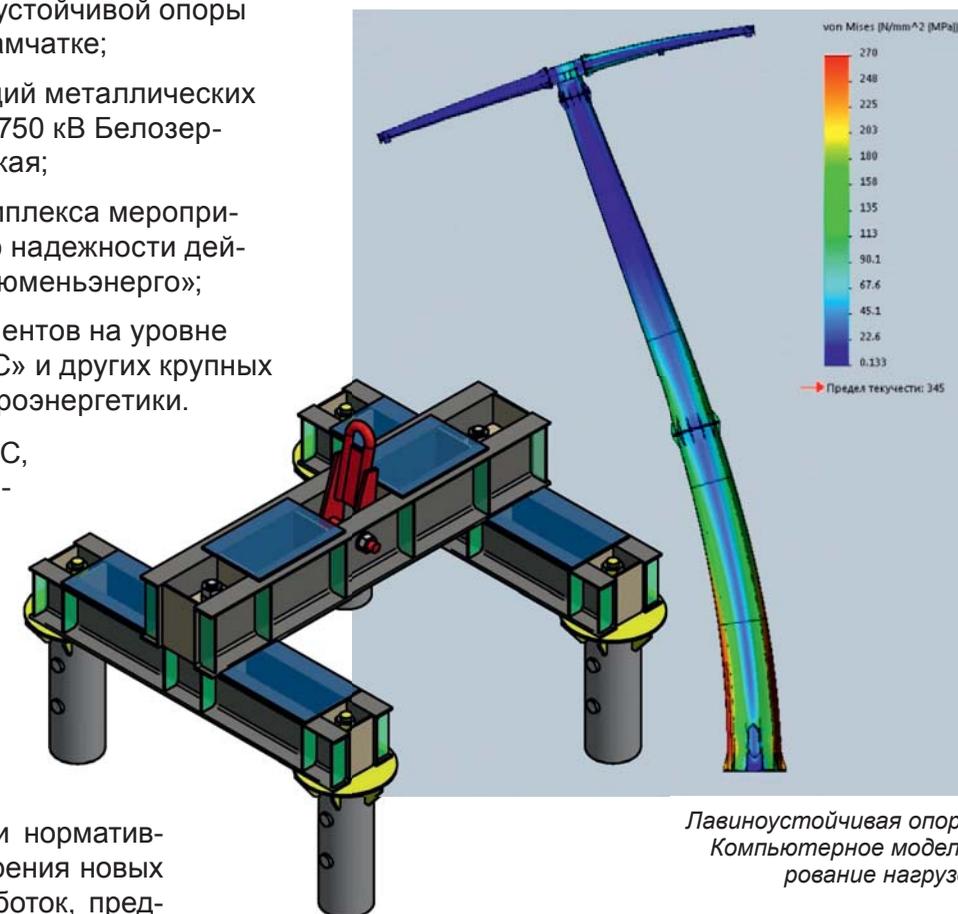
Порталы из многогранных стоек на подстанции «Западная»

ПУТЬ К СНИЖЕНИЮ ЗАТРАТ НА ПЕРЕДАЧУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- уникальной лавиноустойчивой опоры для ВЛ 220 кВ на Камчатке;
- болтовых конструкций металлических ростверков для ВЛ 750 кВ Белозерская — Ленинградская;
- при разработке комплекса мероприятий по повышению надежности действующих ВЛ АО «Тюменьэнерго»;
- нормативных документов на уровне СТО ПАО «ФСК ЕЭС» и других крупных проектов для электроэнергетики.

Сотрудники НИЛКЭС, являясь общепризнанными экспертами в области конструкций для электроэнергетики, активно сотрудничают со специалистами ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС», АО «ЦИУС ЕЭС» в вопросах разработки нормативных документов, внедрения новых инновационных разработок, предлагая стратегические направления развития в части строительных конструкций ВЛ и ПС всех классов напряжения. За последние годы получено более 30 патентов на уникальные конструкции опор и фундаментов, большинство из которых уже нашли свое применение на электросетевых объектах по всей территории России.

О результатах новых разработок регулярно докладывается на совещаниях, конгрессах, курсах повышения квалификации работников отрасли, в публикациях периодической печати.



Болтовой ростверк для ВЛ 750 кВ

Лавиноустойчивая опора. Компьютерное моделирование нагрузок

Уже ставшие традиционными конференции НИЛКЭС

«ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ УМНЫХ СЕТЕЙ»,

посвященные новейшим достижениям в области проектирования ВЛ, ежегодно в дни «Белых ночей» в Санкт-Петербурге собирают специалистов всей страны. Мероприятия проводятся при поддержке ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС» и национального комитета CIGRE.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГОТОВЫХ РАЗРАБОТОК ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ И ВИБРИРОВАНИЯ

1. Для ремонтных работ и технического перевооружения существующих ВЛ

1.1. **Секционированные железобетонные опоры** (модифицированные аналоги существующих унифицированных железобетонных опор, которые выпускаются в секционированном варианте).

Секционирование длинномерных железобетонных центрифугированных стоек для опор ВЛ существенно удешевляет стоимость их транспортировки.

С 2013 года налажен выпуск новых центрифугированных стоек в секционированном варианте. Стойки конических и цилиндрических опор, изготавливаемые в опалубках длиной 26 м и 20 м, имеют закладные детали, которые позволяют после распалубки разделить стойки на отдельные секции, а на строительной площадке объединить в единую конструкцию при помощи болтов. Расположение узла соединения секций внутри опалубки позволяет избежать необходимости приварки внешнего фланца после разделения стойки, облегчает транспортировку изделий и обеспечивает простоту монтажа секций на строительной площадке.

Разработаны модификации унифицированных железобетонных опор на базе секционированных центрифугированных стоек. Выпущен Альбом модифицированных опор.

Налажена технология производства секционированных стоек на всех заводах Объединения.

Все заводы аттестованы в ПАО «Россети» на выпуск секционированных стоек.



Секционированные стойки

Накоплен опыт замены существующих опор на их модифицированные аналоги в рамках технического перевооружения ВЛ на объектах ПАО «ФСК ЕЭС». Разработаны технологические карты по монтажу порталных опор ВЛ 500 кВ, изготовленных на базе секционированных стоек нового поколения.

1.2. **Специальные составы бетонных смесей из наномодифицированного бетона для ремонта фундаментов** (позволяющие обеспечить долговечность железобетонных конструкций на весь срок эксплуатации ВЛ).

Проведены научные исследования по созданию специальных составов бетона, позволяющих проводить работы по восстановлению разрушенных конструкций в полевых условиях (кафедра «Инженерная химия и естествознание» Петербургского государственного университета путей сообщения совместно с НИЛКЭС).

Разработаны специальные добавки и технологии их применения в различных климатических условиях. Налажен выпуск добавок в промышленных объемах.

1.3. **Изготовление типовых конструкций повышенной долговечности** (со сроком службы до 100 лет) при заказе сборных фундаментов, свай, стоек под оборудование ВЛ и ПС с указанием требуемой долговечности конструкций.

При их изготовлении заводы Объединения используют специальные составы бетонных смесей из наномодифицированного бетона, позволяющих обеспечить долговечность железобетонных кон-



Узел соединения секционированной стойки

струкций на весь срок эксплуатации ВЛ. При этом стоимость таких конструкций сопоставима со стоимостью аналогичных изделий, выпускаемых в точном соответствии с требованиями типовых проектов.

2. Для нового строительства ВЛ и ПС

2.1. Разработаны **«Технические требования к железобетонным опорам ВЛ 35–750 кВ на базе центрифугированных секционированных стоек»**. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.90.247-2017. Стандарт утвержден Приказом Председателя Правления ПАО «ФСК ЕЭС» № 324 от 09.08.2017 г.

2.2. Разработана **серия железобетонных опор из центрифугированных секционированных стоек для ВЛ 110 кВ по заказу ПАО «Россети»**.

Серия опор включает в себя унифицированные конструкции промежуточных и анкерно-угловых опор в одноцепном и двухцепном варианте. Опоры разработаны в обычном и повышенном вариантах. Они могут устанавливаться как в пробуренный котлован, так и на специальную фундаментную секцию. Возможны варианты использования фундаментов, индивидуально разработанных для сложных грунтовых условий, в которых закрепление опор при помощи цилиндрических фундаментов нецелесообразно.

Все опоры рассчитаны в двух вариантах для подвески тяжелых и легких марок проводов: АС185/29, АС240/32 и АС95/16, АС120/19, АС150/24 и грозозащитного троса типа МЗ-В-ОЖ-Н-Р. Конструкции рассчитаны для II–III районов по ветру и гололеду.



Испытания двухцепной промежуточной опоры 110 кВ



Марка опоры	ЗСП6500-3В	ЗСП6500-5В
Район по ветру	4 (800)	2 (800)
Район по гололеду	3-4 (20-26)	2-3 (15-20)
Провод	3 x АС300/66	3 x АС330/43
Трос	ОЖГ ТБ-4,6/88	2 x АС170/72
Масса стоек, т	15	25
Масса металла, кг	3700	4000
Масса лестниц, кг	360	430

Каталог современных железобетонных опор ВЛ 110–500 кВ

Всего разработано 8 типов промежуточных и 15 типов анкерно-угловых опор. Фундаментные секции разработаны на базе центрифугированных цилиндрических стоек диаметром 800 мм, имеющих фланцы для соединения со стойками опор.

Чертежи фундаментов разработаны для следующих типов грунтов: песков крупных, средней крупности, мелких и пылеватых, супесей, суглинков, глин и для скальных грунтов.

Нормативная документация для опор включает:

- технические требования к опорам и способам их закрепления,
- технологические карты на монтаж всех типов опор и фундаментов,
- инструкции по монтажу опор и фундаментов,
- инструкцию по эксплуатации железобетонных опор из секционированных стоек.

Использование новых конструкций по этой серии планируется с 2018 года.

2.3. Разработаны **новые конструкции железобетонных опор из центрифугированных секционированных стоек для конкретных ВЛ напряжением 110, 220, 330, 500 кВ**. Информация о разработанных опорах размещена на сайте НИЛКЭС.РФ.

2.4. **Оптимальные конструкции новых опор разрабатываются по заказу для конкретных ВЛ** в короткие сроки в процессе проектирования линий электропередачи. Новые решения предлагаются уже на стадии разработки основных технических решений (ОТР) проекта ВЛ для сравнения стоимости строительства ВЛ при использовании металлических и железобетонных опор. Изготовление и испытание новых конструкций проходит в период разработки проекта ВЛ (до экспертизы проекта).

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТИПОВЫХ ПРОЕКТОВ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПАО «РОССЕТИ»



На основании результатов научных исследований и накопленного опыта проектирования конструкций НИЛКЭС предлагает к разработке комплекс типовых решений:

1. Унифицированные железобетонные опоры из секционированных центрифугированных стоек для ВЛ 220–750 кВ и фундаменты к ним.
2. Унифицированные железобетонные сваи и сборные фундаменты опор ВЛ и ПС с использованием наномодифицированного бетона повышенной долговечности и современной арматуры.
3. Унифицированные железобетонные стойки для опор ВЛ и оборудования ПС с использованием наномодифицированного бетона повышенной долговечности и современной арматуры.
4. Проект унифицированных быстромонтируемых болтовых металлических ростверков для фундаментов опор ВЛ и ПС напряжением 35–750 кВ.
5. Проект унифицированных железобетонных фундаментов с композитной арматурой.
6. Проект унифицированных деревянных опор нового поколения для ВЛ 0,4, 6–10, 20 кВ.

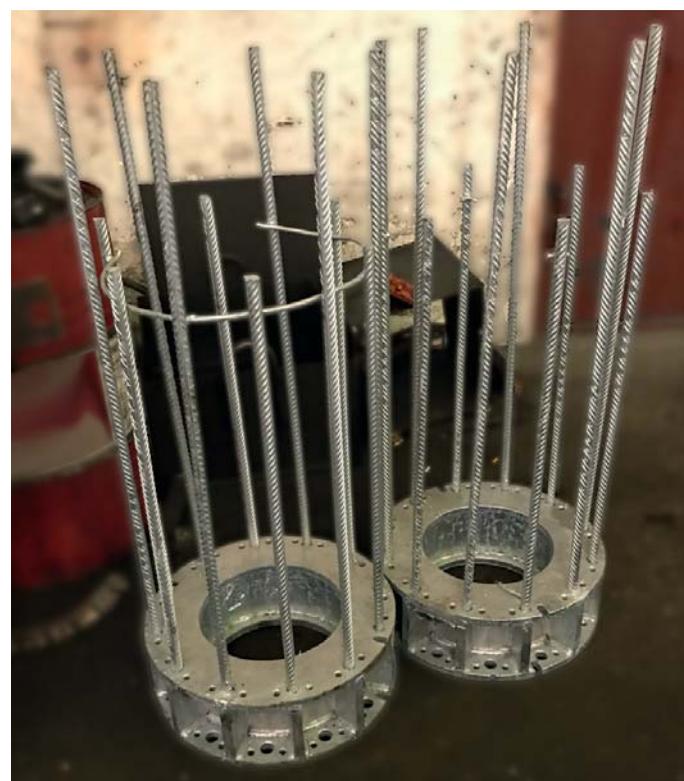
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ОБОРОТА ПРОДУКЦИИ И ЗАЩИТЫ ОТ КОНТРАФАКТА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Участились факты поставок фальсифицированных (не отвечающих требованиям норм) строительных конструкций на объекты ПАО «Россети». Причина: низкая цена и наличие документов на продукцию.

Опасность фальсификата заключается в увеличении стоимости эксплуатации (сокращении срока службы конструкций) и дискредитации железобетона как материала.

Предлагается:

1. На заводах вести реестр продукции, выпускаемой для ПАО «Россети». Включить в реестр информацию жизненного цикла продукции: номер изделия, его характеристики, дату выпуска, покупателя, место установки и т.д. Это исключит выдачу фиктивных паспортов и повысит ответственность производителя. Информация о параметрах всех технологических процессов при производстве каждого изделия хранится в Базе данных заводов Объединения и доступна в интернете.
2. Информацию о продукции всех заводов, аттестованных в ПАО «Россети», передавать в единый реестр ПАО «Россети».
3. Разработать технические требования к реестру на уровне СТО ПАО «Россети».



Закладные детали соединительного узла для центрифугированных стоек

Все предложения НИЛКЭС вошли в дорожную карту развития направления «СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА» («Воздушные линии электропередачи») Минпромторга и Минэнерго России до 2030 года, согласованную ПАО «Россети».

Новое поколение опор ВЛ на базе секционированных железобетонных стоек*

14 марта 2014 года в ОАО «Россети» состоялось первое совещание Рабочей группы по организации работ по созданию и внедрению железобетонных опор из центрифугированных секционированных стоек на объектах ОАО «Россети». Применение нового поколения железобетонных опор на ВЛ 35–500 кВ позволит более чем на треть сократить стоимость строительства ВЛ по сравнению с применением металлических опор. Рабочую группу возглавил первый заместитель генерального директора по технической политике Роман Бердников. Совещание прошло под руководством директора Департамента технологического развития и инноваций Владимира Софьина.

Любовь КАЧАНОВСКАЯ, к.т.н., Марина ЕРМОШИНА, к.ф.-м.н., Петр РОМАНОВ, к.т.н.



Рис. 1. ВЛ 750 кВ Запорожская АЭС — ПС «Запорожская»

* Статья впервые опубликована в журнале «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» № 2(23), март-апрель 2014 года.

В отечественном электросетевом строительстве при сооружении ВЛ 35–500 кВ опоры из центрифугированного железобетона используются с середины 50-х годов 20 века. В 1985 году введена в эксплуатацию линия электропередачи сверхвысокого напряжения ВЛ 750 кВ Запорожская АЭС — ПС «Запорожская» (рисунок 1). Опыт эксплуатации железобетонных опор в различных природных условиях России показывает, что срок их службы составляет не менее 40 лет. Имеются примеры успешной эксплуатации железобетонных опор сроком более 60, и даже 80 лет: ВЛ 110 кВ в Калининграде введена в эксплуатацию в 1934 году.

Основные преимущества железобетонных опор по сравнению со стальными известны:

- простота монтажа (стойка опоры устанавливается в пробуренный котлован);
- стоимость изготовления и монтажа опор из центрифугированных стоек в 2,8 раза ниже стоимости решетчатых опор, рассчитанных на восприятие тех же нагрузок;
- стоимость строительства ВЛ с применением железобетонных опор в среднем на 30% ниже стоимости строительства ВЛ с применением стальных решетчатых и многогранных опор.

Этими факторами обусловлена экономическая эффективность их применения, которая явилась основанием для широкого внедрения в СССР серии унифицированных железобетонных опор напряжением 35–750 кВ в 1960–1990-х годах.

Последнее десятилетие опоры из centrifугированного железобетона не были рекомендованы к применению на электросетевых объектах в связи с выявленными в процессе эксплуатации недостатками:

- большой процент дефектов при изготовлении опор, обусловленный малой автоматизацией и технологическим процессом производства;
- необходимость применения специального транспорта для перевозки опор и получения разрешения на провоз изделий к месту стройки в связи с фиксированной длиной стоек 22,6 и 26 м;
- сокращение долговечности конструкций за счет полученных при неправильной транспортировке и складировании повреждений;
- необходимость установки ригелей для закрепления опор в грунтах с низкой несущей способностью (что влечет увеличение объема работ и стоимости монтажа), обусловленная невозможностью увеличения глубины заделки опор ниже 3 м без нарушения габаритных расстояний из-за фиксированной длины стоек;
- несоответствие стоек и опор ВЛ на их основе требованиям действующих нормативных документов (по трещиностойкости, толщине защитного слоя, устойчивости заглубленной в грунт части стойки к воздействию горизонтальных сил и изгибающего



Рис. 2. Аварийная ситуация на ВЛ 330 кВ Н. Каховка — Джанкой в апреле 2013 года



Рис. 3. Металлоформы для изготовления железобетонных centrifугированных секций диаметром 800 мм на заводе «Рыбинскэнергожелезобетон», г. Рыбинск

момента), а также увеличение расчетных нагрузок на опоры, вызванное ужесточением требований ПУЭ-7, приводят к необходимости резкого сокращения пролетов опор, увеличению количества опор и фундаментов, линейной арматуры и гирлянд изоляторов на каждый километр трассы ВЛ.

При этом опыт эксплуатации железобетонных опор на территории РФ показывает, что при обеспечении технологий производства, транспортировки и монтажа стоек долговечность железобетонных centrifугированных опор сопоставима с долговечностью стальных многогранных опор.

Закладываемая при проектировании надежность железобетонных опор выше надежности металлических в силу существенных отличий требований нормативной документации по расчету железобетонных и стальных конструкций, а также в силу более строгих требований, предъявляемых при механических испытаниях опор ВЛ. В апреле 2013 года на ВЛ 330 кВ Новая Каховка — Джанкой произошла авария, которая привела к отключению Севастополя от электроэнергетики на два часа и перебоям в электроснабжении Симферополя. Авария на линии электропередачи и отключение двух параллельных ВЛ 330 кВ, питающих Крым, были вызваны падением металлической опоры из-за шквального ветра с порывами до 30 м/с. Железобетонные опоры на параллельной ВЛ 330 кВ остались в работоспособном состоянии несмотря на усугубившее сверхнормативные ветровые воздействия падение металлической опоры непосредственно на провода ВЛ (рисунок 2).

За последние 30 лет технология изготовления стоек из centrifугированного железобетона существенно изменилась. На заседании Рабочей группы представителем крупнейшего в России производственного объединения по производству железобетонных изделий ПО «Энергожелезобетонинвест» Владимиром Кустовым были представлены основные этапы технологического процесса производства. Для обеспечения качества и гарантированного срока эксплуатации centrifугированных опор осуществляется строгое соблюдение технологии изготовления на всех этапах производства при максимальной автоматизации технологических процессов. Собственная аттестованная лаборатория предприятия осуществляет контроль качества всех материалов, поступающих в производство, с занесением каждой партии в базу данных предприятия. Приготовление бетонной смеси осуществляется автоматически с фиксированием рецепта приготовления в базе данных. Формирование металлического каркаса изделия производится натяжением арматуры для создания предварительно-напряженной конструкции и передачей натяжения на опалубку. Опалубка представляет собой разъемную коническую или цилиндрическую металлоформу (рисунок 3). После закладки бетонной смеси опалубка помещается на специальную машину для автоматического centrifугирования и затем с изделием устанавливается в электромагнитную камеру для нагрева и пропаривания — создания необходимого для твердения бетонной смеси температурно-влажностного режима. Каждый этап технологической цепочки, а также результаты контрольных и периодических испытаний фиксируются в базе данных предприятия.

Преимущества железобетонных опор и автоматизация технологии производства, гарантирующая вы-

сокое качество и долговечность centrifугированного железобетона, позволили предложить новое техническое решение изготовления железобетонных centrifугированных опор, — из секционированных стоек. Новое поколение железобетонных опор, которые будут соответствовать требованиям действующих нормативных документов, позволит избежать известных недостатков:

- изменение армирования для соответствия требованиям по трещиностойкости повысит жесткость стойки, что минимизирует повреждения при транспортировке;
- увеличение толщины защитного слоя уменьшит начальное внутреннее напряжение в бетоне, что увеличит долговечность конструкций;
- применение современных составов бетонной смеси и автоматизация производства исключат дефекты при изготовлении стоек;
- секционирование стоек на элементы длиной до 11,3 м решит проблемы транспортировки и складирования;
- масса каждой секции составит 2–4 т, что позволит применять стандартную технику для монтажа и установки опоры;
- обеспечение необходимой несущей способности грунта основания при безригельной установке стойки в грунт достигается варьированием длины и диаметра фундаментной секции.

Изготовление опор из секций различного диаметра позволит оптимизировать опору для конкретной ВЛ и приведет к уменьшению материалоемкости линии. За счет большей несущей способности секционированных стоек по сравнению с существующими пролетами железобетонных опор сопоставимы с пролетами стальных опор, что приводит к сокращению стоимости изготовления и монтажа конструкций в 1,6 и 2,8 раза по сравнению с использованием многогранных или решетчатых конструкций соответственно. Применение железобетонных опор на ВЛ 0,4 и 6–10 кВ также экономически оправданно.

При реконструкции ВЛ существующие железобетонные опоры могут быть заменены на более мощные железобетонные опоры нового поколения без сокращения пролетов с соблюдением требований ПУЭ-7. Установка новых опор на место старых позволит избежать необходимости организации дополнительного землеотвода с изменением кадастровых номеров участков под опоры.

Проект применения железобетонных опор нового поколения получил одобрение эксплуатирующих, строительно-монтажных и проектных организаций, в том числе ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «ЦИУС ЕЭС», в соответствии с решениями протокола международной научно-практической конференции «Опоры для умных сетей: проектирование и реконструкция», прошедшей 24–27 июня 2013 года в Санкт-Петербурге.

Производственные мощности современных производителей железобетонных изделий подготовлены к массовому производству centrifугированных секционированных стоек. При приготовлении бетонной смеси в рецепт могут быть добавлены цветообразующие добавки, не снижающие ее прочностных характеристик, но повышающие эстетические свойства изделия.

Технической политикой ОАО «Россети» опоры ВЛ из железобетонных centrifугированных секциониро-

ванных стоек рекомендованы к применению на объектах ОАО «Россети».

На заводе ООО «Рыбинскэнергожелезобетон», входящем в ПО «Энергожелезобетонинвест», изготовлены и проведены успешные испытания опытных образцов секционированных стоек нового поколения. Образцы этих стоек были представлены на выставках «Инновации. Бизнес. Образование», г. Ярославль, и «Электрические сети России-2013», г. Москва (рисунок 4). За разработку железобетонной centrifугированной секционированной стойки коллектив разработчиков был награжден Золотой медалью выставки «Электрические сети России-2013» (рисунок 5).

По итогам совещания Рабочей группы ОАО «Россети» работа по созданию унифицированных железобетонных опор из секционированных стоек для ВЛ 35–500 кВ признана перспективной. Проект комплексной целевой программы по внедрению железобетонных опор нового поколения на объектах ОАО «Россети» будет обсуждаться на следующем совещании Рабочей группы с участием ДЗО ОАО «Россети». Осуществление первого пилотного проекта по внедрению железобетонных опор на ВЛ 110 кВ планируется в ОАО «Ленэнерго».



Рис. 4. Железобетонная centrifугированная секционированная стойка на выставке «Электрические сети России-2013»



Рис. 5. Диплом и золотая медаль выставки «Электрические сети России-2013»

Триумфальное возвращение железобетона в электросетевое строительство*



Ранее на страницах этого журнала** мы уже поднимали тему необходимости применения в электросетевом строительстве железобетонных конструкций как наиболее экономически выгодных, спроектированных и изготовленных с учетом современного развития технологий и устраненными недостатками. Сегодня мы решили вернуться к этой теме, тем более что результаты, полученные за прошедший год, показывают: благодаря использованию компьютерного моделирования и отлаженной технологии процесса производства железобетонной секционированной центрифугированной опоры, соответствующей современным нормам, от постановки задачи до испытания опытного образца уходит меньше месяца. Фактически применение такого подхода позволяет для любых условий разрабатывать уникальную опору и создавать широкую унификацию железобетонных опор.

Любовь КАЧАНОВСКАЯ, к.т.н.,
Петр РОМАНОВ, к.т.н., Сергей КАСАТКИН

По заказу ООО «ПО «Энерго-железобетонинвест» в НИЛКЭС была разработана железобетонная порталная свободностоящая опора СПБ500-0 из секционированных центрифугированных стоек, полностью соответствующая требованиям современных норм.

В конце апреля на полигоне в Хотьково были проведены механические испытания опытных образцов железобетонных секционированных центрифугированных стоек СЦС20 производства ООО «Рыбинскэнерго-железобетон». Испытания показали, что опытные образцы железобетонных секционированных стоек соответствуют требованиям норм (протокол № 2015.114.023).

При проектировании опоры СПБ500-0 за аналог взяли решетчатую

портальную опору на оттяжках ПП500-5. Известно, что данная опора имеет минимальный вес и очень хороший пролет, а также отлично зарекомендовала себя в эксплуатации. Железобетонная опора создана для тех же климатических условий, марки провода и троса.

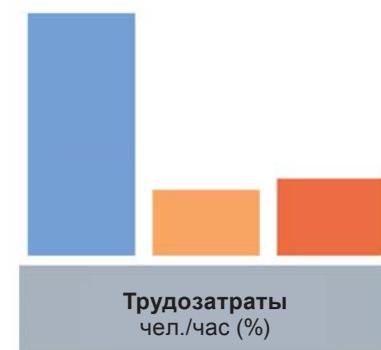
Кроме этого, для сравнения была взята уже существующая для тех же условий порталная свободностоящая многогранная опора 2МП500-7В.

В таблице 1 приведены сравнительные экономические и технические показатели трех указанных типов опор для 10 км участка ВЛ 500 кВ при габарите между проводом и землей равным 10 м. Коэффициент использования пролета для определения количества опор принят равным 0,85.

Площадь землеотвода под конструкции свободностоящих опор

Табл. 1. Сравнительные характеристики для одного анкерного пролета протяженностью 10 км

ПП500-5-У2				СПБ500-0				2МП500-7В			
Площадь землеотвода, м ²											
Район по ветру — III (650 Па)											
Провод: марка — АС300/66, макс. напряжение — 126,4 Н/мм ²											
Трос: марка — ОКГТс-13,3/96, макс. напряжение — 301,0 Н/мм ²											
Район по гололеду и толщина стенки гололеда, мм											
IV (25)		V (30)		IV (25)		V (30)		IV (25)		V (30)	
Габариты до земли, м											
10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12
Пролеты, м											
335	315	300	285	335	315	300	285	287	260	255	235
Количество опор на 10 км, шт.											
34	36	38	40	34	36	38	40	40	44	45	49



Трудозатраты чел./час (%)



Стоимость строительства тыс. руб. (%)

При габаритах до земли 12 метров на участке 10 км железобетонная опора СПБ500-0 значительно выигрывает у многогранной опоры за счет своей большей высоты, а у решетчатой — за счет меньшего землеотвода.

в 4 раза меньше аналогичного показателя для опор на оттяжках. Кроме того, внутренние ветровые связи не ограничивают проход сельскохозяйственной техники, тогда как наличие четырех расщепленных оттяжек у решетчатой опоры увеличивает вероятность разрушения конструкции.

Меньшие трудозатраты связаны с тем, что конструкция двухстоечных опор, в отличие от решетчатой, требует в 2 раза меньше котлованов и фундаментных элементов. Кроме того, чтобы собрать двухстоечную опору требуется закрутить в 10 раз меньше болтов, чем при сборке решетчатой (200 против 2000).

Стоимость строительства напрямую связана со стоимостью самих конструкций.

По конструктивной схеме свободностоящие опоры аналогичны между собой, однако на участке в 10 км железобетонных опор СПБ500-0 устанавливается меньше за счет большего пролета (высота подвески прово-

да выше). При этом основная выгода достигается за счет используемого материала: железобетонные секции всегда втрое дешевле металлических.

В процессе проектирования опоры СПБ500-0 были учтены основные преимущества железобетонных конструкций и устранены недостатки, возникающие в процессе эксплуатации.

Секционирование длиномерных элементов исключает проблемы транспортировки конструкции, как по дорогам общего назначения, так и по трассе ВЛ.

Автоматизация процесса изготовления бетонного раствора и отлаженная технология производства повысили стабильность показателей качества бетонных стоек.

Для создания новой элементной базы для опор ВЛ напряжением 35–750 кВ предложено применить секционирование и использовать имеющийся в стране парк конических (длиной 22 и 26 м) и цилиндрических (дли-

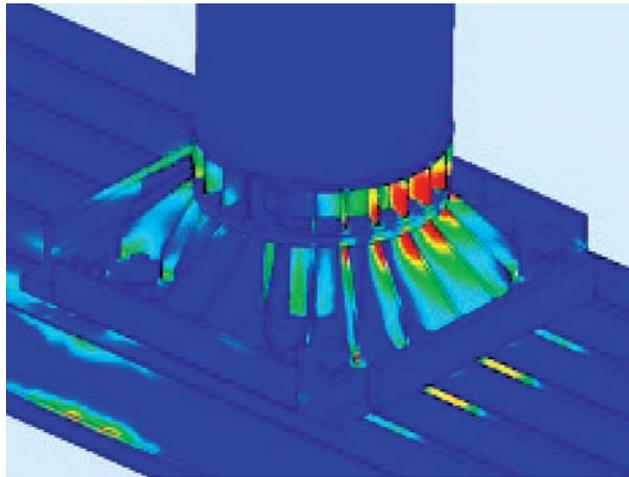


Рис. 1. Эпюры напряжений в металлических закладных деталях, полученные при компьютерном моделировании



Рис. 2. Эпюры напряженного состояния бетона

ной 20 м) опалубок для центрифугированных стоек. За счет введения закладных деталей в опалубку в период сборки арматурного каркаса получена возможность изготавливать в одной форме несколько элементов (секций). Разработанная конструкция закладной детали позволяет устанавливать ее (одну или несколько) в любом сечении опалубки, тем самым получая модули любой длины, требуемой для конструирования опор.

Расположение закладных деталей обеспечивает их перпендикулярное положение относительно продольной оси стойки, что в свою очередь гарантирует прямолинейность собираемых элементов опоры.

Железобетонные центрифугированные секции, имеющие с двух торцов закладные детали для соединения их между собой на строительной площадке, являются элементной базой для проектирования опор.

Для увеличения надежности закрепления опор используются отдельные фундаментные железобетонные элементы диаметром 800 мм. Глубина заделки может варьироваться в зависимости от нагрузок и грунтовых условий по трассе ВЛ. Такой подход позволяет во всех случаях отказаться от применения ригелей. Кроме того, использование фундаментных секций позволяет дополнительно варьировать высоту подвески провода на опоре за счет изменения длины секций.

Армирование элементов подбирается в зависимости от усилий, которые им предстоит воспринимать в конструкции опоры. Для подбора армирования разработана специальная программа. Расчет ведется в соответствии со СНиП 52-01-2003.

В процессе работы над опорой было выполнено компьютерное моделирование закладных металлических



Рис. 3. Разрушение стойки при нагрузке в 160% от расчетного значения. Полигон в Хотьково 24 апреля 2015 года

деталей (рисунок 1) и железобетонных секционированных стоек (рисунок 2).

На эпюрах напряженного состояния бетона для расчетного сечения стойки приведены величины растянутой и сжатой зоны сечения в зависимости от приложенной нагрузки. Расчетами получены участки образования микротрещин перед разрушением. В апреле 2015 года на полигоне в Хотьково прошли испытания отдельных элементов секционированных стоек, разработанных для конструкций опор 500 кВ. Секции изготовлены на Рыбинском заводе железобетонных конструкций.

В процессе испытаний варьировались конструктивные варианты закладных деталей секций и использованные бетоны классов прочности В40 и В60.

Разрушение секций произошло при 150–160% уровне расчетных нагрузок (нормы предписывают 140%), что говорит о возможности оптимизации армирования при создании стоек для конкретных опор (рисунок 3).

Вопрос установки опоры на трассе обсуждался со специалистами, имеющими большой опыт монтажа двустоечных многогранных опор. Установка с помощью падающей стрелы двустоечных опор большей массы не приведет к изменению или усложнению процесса (рисунок 4).

Экономическая эффективность железобетонных опор для ВЛ напряжением 500 кВ, спроектированных и изготовленных с учетом современного развития технологий и устраненных недостатков, в основном складывается из экономии за счет меньшей стоимости железобетонных элементов по сравнению с металлическими, а так же благодаря сокращению трудозатрат при строительстве на трассе.

Использование элементной базы железобетонных центрифугированных стоек (рисунок 5) дает возможность в кратчайшие сроки конструировать опо-

ры как для любых сочетаний ветровых и гололедных районов, так и для любых габаритов провода до земли.

Результаты испытаний с высокой точностью подтвердили прогнозируемые технические параметры конструкций: отклонение элементов при заданных нагрузках, момент трещинообразования и разрушающий момент в заделке. Этот факт свидетельствует о правильно выбранном алгоритме построения расчетных программ.

Процесс разработки, изготовления и испытания новой опоры для заданных условий эксплуатации теперь будет занимать меньше месяца.

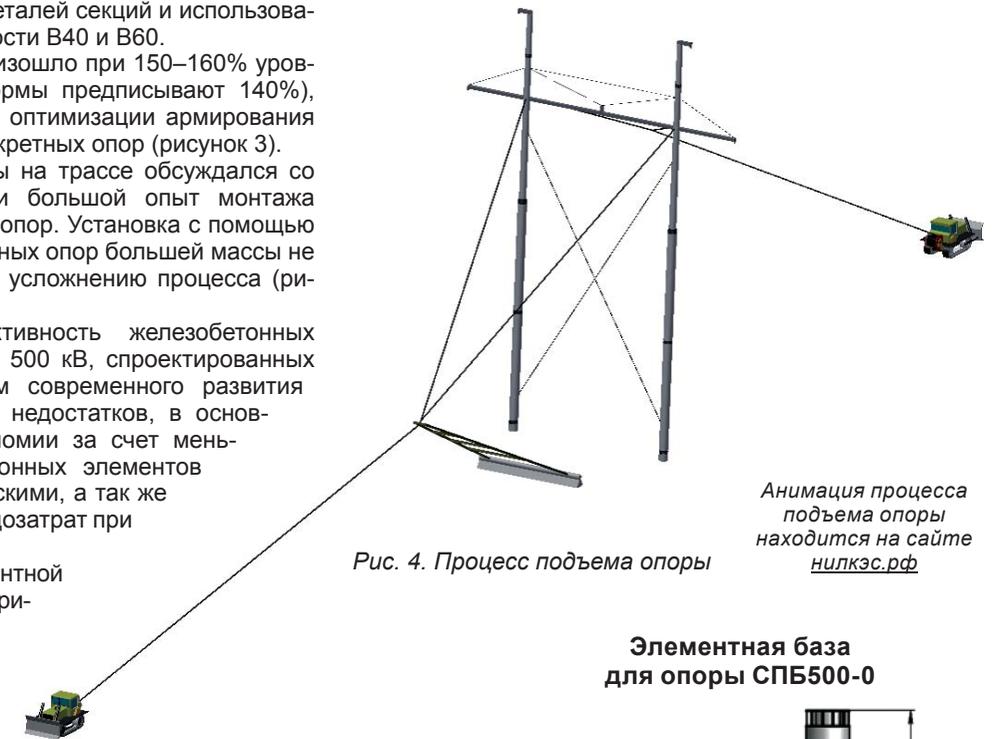
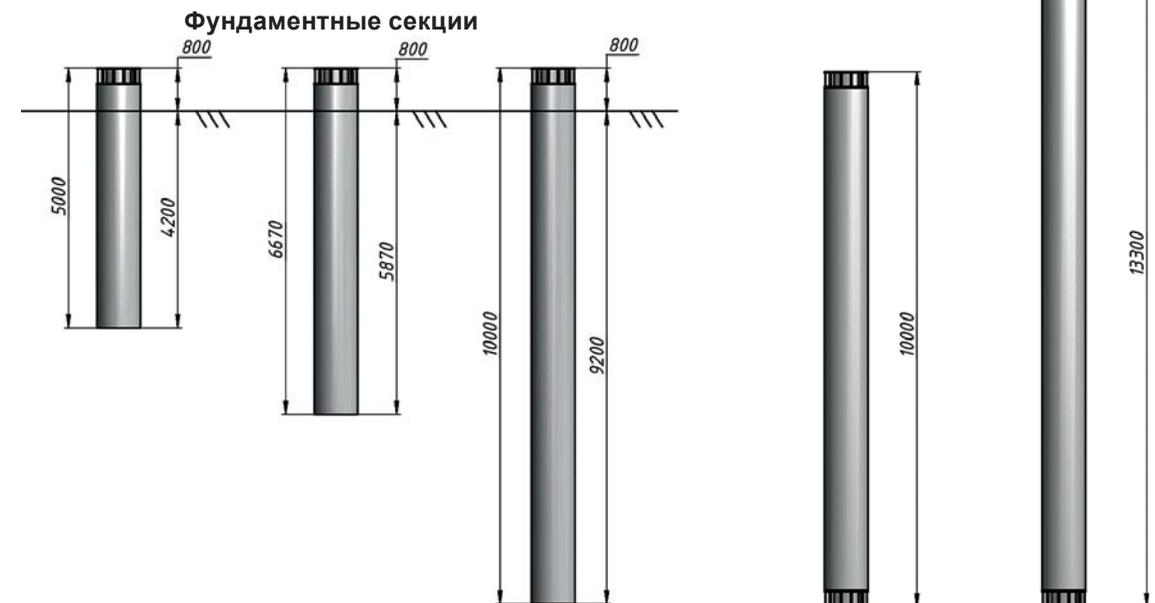


Рис. 4. Процесс подъема опоры

Анимация процесса подъема опоры находится на сайте nilkcs.ru



Элементная база для опоры СПБ500-0

Железобетонная опора из секционированных центрифугированных стоек для ВЛ 500 кВ*

Продолжая тему возвращения железобетона в электросетевое строительство**, поднятую на страницах журнала в этом году, спешим поделиться реальными результатами испытаний новой железобетонной опоры для ВЛ 500 кВ.

Любовь КАЧАНОВСКАЯ, к.т.н., Петр РОМАНОВ, к.т.н., Сергей КАСАТКИН

В конце октября 2015 года на полигоне в Хотьково были успешно завершены испытания железобетонной портальной опоры 2СПБ500-3В из секционированных центрифугированных конических стоек (рисунок 1).

Это уже вторая модификация опоры, спроектированной для условий ВЛ 500 кВ «Ростовская» — Андреевская — Тамань» по заказу ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест». О характеристиках первого варианта конструкции мы подробно рассказывали на страницах журнала полгода назад.

Каждая стойка опоры в том случае была выполнена из трех центрифугированных секций диаметром 800 мм, а высота крепления гирлянд изоляторов составляла 32 м от уровня земли. Конструкция опоры рассчитана на максимальные сочетания возможных нагрузок по трассе ВЛ, определенных с учетом повышенных региональных коэффициентов по ветру и гололеду. Требуемый габарит между нижней точкой подвеса провода и землей составлял 12 м.

Уточнение значений региональных коэффициентов для условий трассы ВЛ позволило спроектировать облегченный вариант опоры. На рисунке 1 приведена схема промежуточной свободностоящей портальной опоры 2СПБ500-3В, состоящей из двух секционированных железобетонных стоек, составной траверсы и двух гибких перекрестных внутренних связей, повышающих боковую устойчивость опоры.

Принятая конструктивная схема опоры применяется в электросетевом строительстве уже более 40 лет и хорошо зарекомендовала себя в эксплуатации. Все особенности опоры в целом и отдельных ее элементов изучены достаточно подробно. В новой разработке конструктивно устранены проблемы коррозии узлов крепления гирлянд изоляторов средней фазы. В целом положительный опыт работы этой конструкции на ВЛ 330 и 500 кВ говорит о высокой живучести опоры в расчетных режимах работы.

Опора 2СПБ500-3В рассчитана на подвеску проводов АС 300/66, по три провода в фазе и двух тросов со встро-

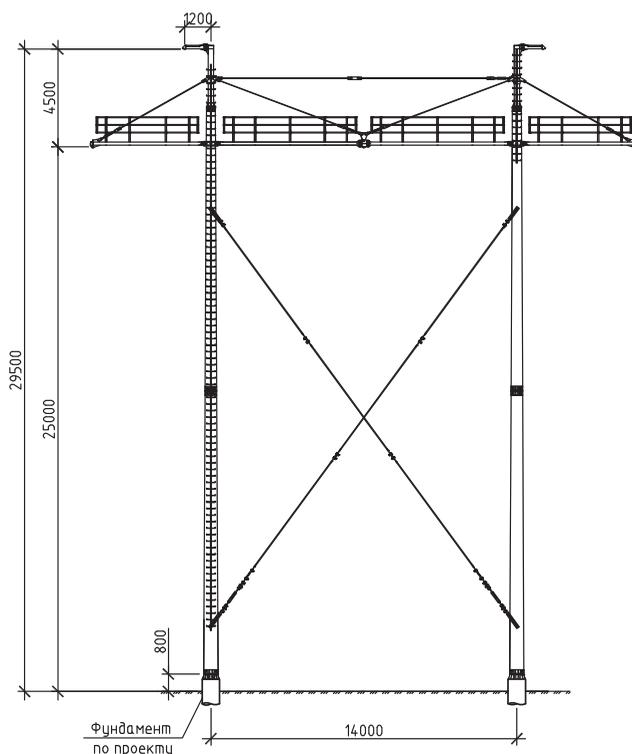


Рис. 1. Схема промежуточной свободностоящей портальной опоры 2СПБ500-3В

енным оптическим кабелем. Предназначена для работы в сложных условиях высоких ветровых и гололедных нагрузок. По требованию заказчика, для сокращения проблем при эксплуатации увеличен по сравнению с требованиями ПУЭ-7 минимальный габарит между проводом и землей до 10 м.

В таблице 1 приведены расчетные данные для опоры. Общая высота конструкции 28,7 м. Высота подвески гирлянд с учетом фундаментной секции — 25 м.

Табл. 1. Расчетные данные опоры 2СПБ500-3В (ПУЭ-7. Глава 2.5. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ)

Расчетные климатические условия		Район по ветру IV (WO = 800 Па)		Район по ветру III (WO = 650 Па)				Район по ветру II (WO = 500 Па)	
		Район по гололеду							
		IV (бэ = 25 мм)	III (бэ = 20 мм)	V (бэ = 30 мм)	IV (бэ = 25 мм)	III (бэ = 20 мм)	II (бэ = 15 мм)	III (бэ = 20 мм)	II (бэ = 15 мм)
		Ветер при гололеде 200 Па		Ветер при гололеде 160 Па					
Провод	Марка	3 х АС 300/66							
	σГ	153 МПа							
	σ-	153 МПа							
	σЭ	102 МПа							
Трос	Марка	ОКГ Тц — ... 14,6/88							
	σтах	382 МПа							
Габаритный пролет, м		290	325	265	295	330	375	330	375
Ветровой пролет, м		320	325	320	360	395	395	415	495
Весовой пролет, м		362	406	331	369	412	469	412	469

Расстояние между осями стоек опоры — 14 м, определено необходимостью сокращения выдерживающих нагрузок на фундаменты. Опора крепится к фундаменту на отметке 0,8 м при помощи соединительного металлического элемента. Выбор места соединения опоры с фундаментной секцией обусловлен необходимостью защиты металлических элементов опоры от коррозии путем вынесения опорного узла из переходной зоны, в которой коррозионные процессы развиваются наиболее активно.

Секционированные стойки этой конструкции изготавливаются в конической опалубке общей длиной 26 м. Диаметр комля нижней секции составляет 650 мм. Каждая стойка опоры состоит из двух секций длиной по 13 м каждая. Секционирование стойки позволяет решить проблему транспортировки длинномерных конструкций, при этом исключив возможность получения повреждений в процессе доставки стоек на трассу ВЛ.

На основании результатов предыдущих испытаний элементов секций, в которых варьировались конструктивные варианты закладных деталей и использование бетонов классов прочности В40 и В60, принято решение о целесообразности применения бетона класса В60. В этом случае уменьшение массы арматуры, даже при некотором увеличении затрат на бетон, дает возможность сократить общую стоимость изделия.

Несомненным успехом новой стойки является конструкция закладной детали, при помощи которой организовано соединение секций стоек между собой и опоры с фундаментом. Соединительные элементы располагаются внутри опалубки, крепятся к арматурному каркасу до процесса центрифугирования, за счет этого достигается их перпендикулярное положение относительно продольной оси стойки, что в свою очередь гарантирует прямолинейность собираемых элементов опоры. После распалубки получается готовая секция, не требующая дополнительных сварных работ для крепления внешних фланцев. При монтаже опоры секции соединяются между собой при помощи высокопрочных болтов. Кон-

струкция закладных деталей позволяет защищать их от коррозии методом горячего цинкования.

Конструкция траверсы обеспечивает возможность использования одиночных гирлянд изоляторов. Траверсу образуют средняя и две наружные консольные части. Пояса решетчатой траверсы выполняются из элементов замкнутого сварного квадратного профиля, раскосы — из двутавров. Средняя и консольные части траверсы крепятся к стойкам опоры с помощью специальных хомутов с шарнирами, обеспечивающими поворот траверсы в плоскости портала. Гибкие связи траверсы обеспечивают горизонтальное соединение между стойками (затяжка) и поддержку средней и консольных траверс в местах крепления гирлянд (тяги).

Тросостойка и консоли для крепления троса выполнены из замкнутого сварного квадратного профиля. В отличие от типовых конструкций размеры тросовых консолей (1,6 м) выбраны из условия обеспечения возможности организации плавки гололеда на ВЛ 500 кВ.

Фундаменты опор могут быть выполнены из железобетонных центрифугированных секций диаметром 800 мм. Для соединения со стойками опоры фундаментные секции с одной стороны имеют специальные закладные детали. Длина фундаментной секции стандартного размера привязана к размеру опалубки (20 м) и может составлять 5,0 м, 6,7 м или 10,0 м. Выбор глубины заделки фундамента определяется при проектировании ВЛ в зависимости от характеристик грунта в месте установки опор. Фундаменты такого типа позволяют отказаться от установок ригелей.

Технология сооружения таких фундаментов базируется на применении буровой техники, при этом ненарушенность грунта вокруг фундамента учитывается при выборе глубины заделки. Разрыхленный грунт и грунт обратной засыпки, который необходимо учитывать при погружении фундамента в копанный котлован, существенно уменьшают расчетную несущую способность закрепления, что приводит к удорожанию закрепления в целом.

* Статья впервые опубликована в журнале «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» № 6(33), ноябрь-декабрь 2015 года.
** См. статью «Триумфальное возвращение железобетона в электросетевое строительство» в журнале «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» № 3 (30), май—июнь 2015 г., с. 88–91.

Конструкция нижней части стойки за счет наличия специальных закладных деталей позволяет использовать и другие варианты закрепления опор. Например, на слабых грунтах могут быть использованы свайные фундаменты с монолитным ростверком, имеющим закладную деталь для соединения со стойкой.

Для подъема на опоры на одной из стоек предусмотрена стационарная лестница, расположенная с фасадной стороны опоры. Конструкция лестниц обеспечивает постоянную фиксацию монтажника при подъеме на опору за счет использования специальной анкерной линии, по которой соединительный элемент, прикрепленный к поясу поднимающегося монтажника, при движении вверх легко скользит, а при падении человека — заклинивает, обеспечивая, таким образом, надежную страховку рабочего. Конструкция анкерной линии из Т-образного профиля, совмещенной с лестницей, получилась достаточно простой, доступной для изготовления ее на любом заводе металлоконструкций. На траверсе размещается трап с поручнем для безопасного обслуживания опоры.

Испытания опоры проводились на полигоне ОАО «Фирма ОРГРЭС» в Хотьково.

В связи с высокой актуальностью внедрения железобетонных опор из секционированных стоек в электросетевое строительство в испытаниях опоры принимали участие представители ПАО «ФСК ЕЭС», ЦИУС ЕЭС, ОАО «Южэнергосетьпроект» и филиала ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» — СибНИИЭ. Задачей испытаний было подтверждение соответствия характеристик опоры заданным требованиям.

Опора устанавливалась на силовом полу полигона при помощи специальных переходников, позволяющих смоделировать крепление нижней секции опоры к фундаментному блоку. Для монтажа опоры разработан и изготовлен специальный шарнир, являющийся элементом переходника.

Опора была полностью смонтирована на земле и поднята в рабочее положение поворотом вокруг оси шарнира при помощи тяговых канатов. Таким способом имитировалась схема подъема опоры падающей стрелой.

Для анализа процесса подъема опоры при монтаже разработана компьютерная программа, позволяющая определить усилия во всех монтажных элементах и элементах опоры в любой момент подъема конструкции.

Общий вид опоры, подготовленной к проведению испытаний, приведен на рис. 2.

Опора успешно прошла испытания во всех нормальных и аварийных режимах работы.

При определении нагрузок на конструкцию выяснилось, что определяющим для элементов опоры является «аварийный» режим обрыва провода крайней фазы, при котором опора начинает работать на кручение.

В соответствии с рекомендациями п. 2.5.142 ПУЭ-7 о возможности учета при проектировании конструкций поддерживающего действия оставшихся неповрежденными проводов и тросов, была определена величина реальной нагрузки на конструкцию в аварийном режиме. Было учтено, что реальные отклонения опоры в этом режиме будут меньше прогибов конструкции в условиях, когда эта поддержка не учтена.

При испытаниях было зафиксировано, что опора выдержала расчетные нагрузки аварийного режима без видимых повреждений.

При учете поддерживающего действия проводов и тросов аварийный режим перестает быть определяющим для назначения характеристик опоры, в данном



Рис. 2. Общий вид опоры, подготовленной к испытаниям

случае — выбора параметров армирования железобетонных стоек. Это позволяет существенно сократить стоимость конструкций.

Анализ опыта разработки порталных опор старой унификации показывает, что проектировщики опор шли именно таким путем, подбирая параметры стоек опор по нагрузкам нормального режима эксплуатации.

Анализ опыта эксплуатации подтвердил правильность выбранного подхода. За более чем 50-летний срок службы железобетонных центрифугированных опор, разрушения конструкций по причине недостаточной прочности в аварийном режиме не наблюдалось.

На элементы железобетонных опор перед испытанием было нанесено защитное покрытие Steelpaint. Оно показало хорошую адгезию к поверхности железобетонных центрифугированных стоек. Это покрытие может быть использовано для придания опоре повышенных эстетических свойств. Будучи нанесенным на фундаментную часть опоры, оно снижает действие сил морозного пучения. Кроме того, при закреплении опоры в сильноагрессивных грунтах, оно может обеспечивать долговечность фундаментной части опоры.

Расчеты стоимости строительства ВЛ 500 кВ с использованием опоры 2 СПБ500-3В показали, что за счет невысокой стоимости самих конструкций общие затраты на каждый километр трассы существенно ниже, чем при использовании металлических решетчатых или многогранных конструкций.

Для аттестации опоры в ПАО «ФСК ЕЭС» подготовлен необходимый набор нормативных документов, в том числе: Технологические карты по монтажу конструкции опоры, Технические требования к железобетонным порталным опорам из секционированных стоек и Технические условия на конструкцию опоры.

После прохождения процедуры аттестации опора будет использоваться при строительстве ВЛ 500 кВ «Ростовская — Андреевская — Тамань».

Трубчатые фундаменты для многогранных опор ВЛ*

Любовь КАЧАНОВСКАЯ, к.т.н., Петр РОМАНОВ, к.т.н., Валерий СОГЛАЕВ, ОАО «Завод Гидромонтаж»

Активное использование металлических фундаментов из труб или из многогранного профиля в нашей стране началось в начале 2000-х годов после появления новых заводских технологий по производству конических стоек из листового проката. С учетом этой прогрессивной технологии была разработана серия унифицированных конструкций опор ВЛ напряжением 35, 110, 220, 330, 500 кВ и фундаментов для их закрепления. В рамках этой масштабной работы получили путевку в жизнь проекты металлических фундаментов из свай-оболочек (рисунок 1).

Конструктивно фундамент состоит из трубы-оболочки с приваренным с одной стороны фланцем, подкрепленным ребрами жесткости. Соединение фланца фундамента с фланцем опоры выполняется при помощи болтов. Стволы свай диаметром до 1420 мм изготавливаются из стальных электросварных прямошовных труб, а при больших диаметрах — из стальных листов. Толщина стенки варьируется от 9 до 20 мм.

Одной из разновидностей фундаментов этого типа являются фундаменты, трубчатая часть которых изготовлена из гнутого профиля по аналогии с изготовлением ствола опоры (рисунки 2 и 3).

Результаты расчетов показали, что при одинаковой толщине стенки прочностные характеристики таких фундаментов практически совпадают с аналогичными показателями фундаментов, выполненных из

труб, при одинаковых диаметрах окружности трубы и окружности, вписанной в поперечное сечение многогранного профиля. Такие фундаменты выполняют одни и те же функции и являются взаимозаменяемыми, что позволяет заводам-изготовителям в конкретных условиях строительства в зависимости от конъюнктуры рынка на металл предложить оптимальное по стоимости решение для закрепления многогранных опор. Кроме того, положительным моментом использования труб из гнутого профиля является упрощение узла соединения ригеля с телом фундамента. В случае использования круглой трубы приходится делать сложный узел опирания ригеля на сваю. Технология установки как многогранных, так и трубчатых фундаментов одинакова: она предусматривает возможность их погружения в пробуренный котлован или вибропогружения (рисунок 4).

Использование фундаментов, ствол которых изготовлен из трубы или из многогранника, с успехом применен при строительстве целого ряда объектов ВЛ 110–500 кВ. Перечислим лишь некоторые из них:

- ВЛ 500 кВ ПС «Красноармейская» — ПС «Газовая»,
- ВЛ 220 кВ Печорская ГРЭС — Ухта — Микунь,
- энергообеспечение Сочинского региона к Олимпиаде 2014 года в Сочи,
- ряд московских объектов, в том числе двухцепная ВЛ 110–220 кВ Мосфильмовская — Аминьевское шоссе.

* Статья впервые опубликована в журнале «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» № 4(37), июль-август 2016 года.

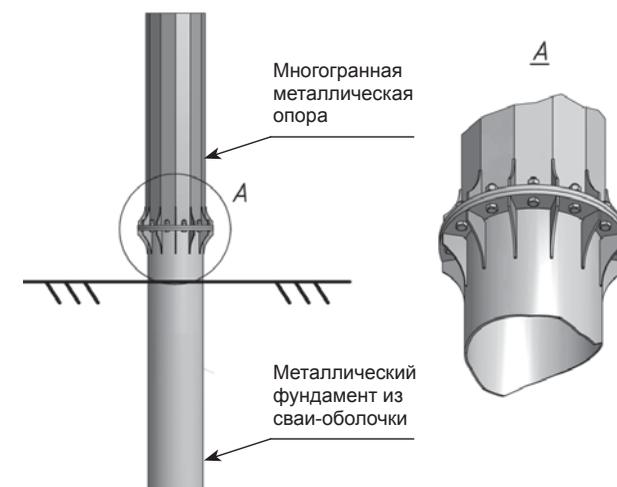


Рис. 1. Схема фундамента из сваи-оболочки трубчатого сечения

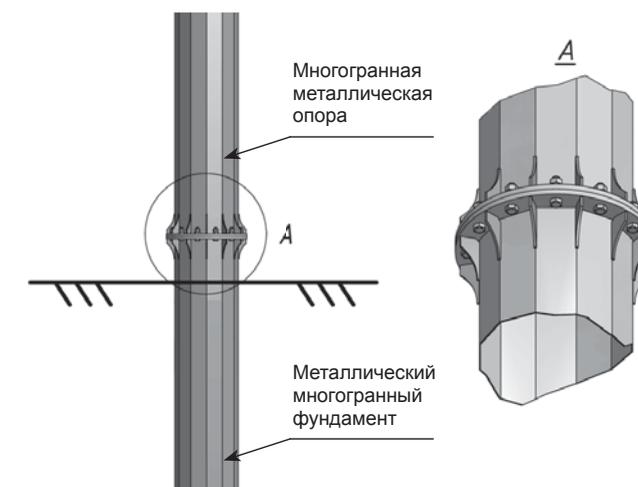


Рис. 2. Схема фундамента из сваи-оболочки многогранного сечения

В настоящее время идет строительство следующих линий с использованием многогранных фундаментов:

- ВЛ 330 кВ Ленинградская АЭС — Пулковская — Южная,
- ВЛ 110 кВ для обеспечения электроснабжения ПС 110/6 кВ «Чайка», «Богатыровка», «Стеллера» на Камчатке и др.

В развитие идеи трубчатых фундаментов при разработке проекта закрепления опор на ВЛ 500 кВ Восход — Витязь разработан, испытан и применен фундамент, нижняя часть трубы которого (диаметром 720 мм) снабжена двумя винтовыми лопастями (рисунки 5 и 6). Использование специальных механизмов для завинчивания позволило резко увеличить скорость погружения фундамента, при этом грунт вокруг фундамента остался ненарушенным, что существенно увеличило его несущую способность. Кроме того, лопасти, выполняя функцию анкера, улучшают работу фундаментов на выдергивание, что особенно важно в двухстоечных опорах порталного типа. Применение свай с лопастями позволило уменьшить длину свай на 1–2 метра. Проектом предусмотрено использование трех типоразмеров лопастей свай-оболочки с шириной 120, 190, 240 мм, которые применяются в грунтах различной плотности.

Защита всех фундаментных конструкций указанных типов от коррозии проводится путем нанесения покрытий в заводских условиях. Наиболее долговечным из них является горячая оцинковка конструкции.

Для обеспечения сохранности защитных свойств покрытия при



Рис. 3. Процесс складирования фундаментов из свай-оболочек многогранного сечения в заводских условиях



Рис. 4. Погружение фундамента в пробуренный котлован при помощи экскаватора

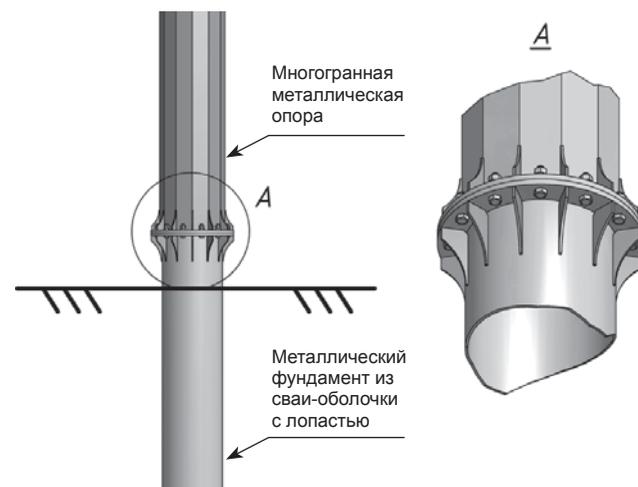


Рис. 5. Схема фундамента из свай-оболочки трубчатого сечения, снабженного винтовыми лопастями

завинчивании фундаментов на расстоянии двух метров от поверхности земли приварено специальное кольцо. При необходимости между фланцем и кольцом дополнительно наносится слой лакокрасочного покрытия, которое обеспечивает стойкость покрытий в переходной зоне.

Перечисленные виды фундаментов активно применяются, начиная с 2006 года, в разных климатических районах страны. Накоплен опыт их эксплуатации в грунтах разной степени коррозионной активности к металлу. Существуют случаи значительного повреждения поверхности свай-оболочек от коррозии. Вопрос обеспечения долговечности фундаментов, а значит и опор ВЛ напряжением 110–500 кВ активно обсуждался на 3-й международной научно-практической конференции «Опоры и фундаменты для «умных» сетей: инновации в проектировании и строительстве», который прошел в Санкт-Петербурге 29 июня — 1 июля 2016 года при поддержке ПАО «ФСК ЕЭС» и Российского национального комитета «CIGRE».



Рис. 6. Использование трубчатых фундаментов с винтовыми лопастями при строительстве ВЛ 500 кВ Восход — Витязь

Требования к защитным покрытиям фундаментов очень высоки: они должны выстоять при погружении конструкций в пробуренный котлован, выдержать нагрузку вибропогружения или завинчивания, а затем обеспечить защиту фундамента на 50–70 лет — прогнозируемый срок службы многогранных опор.

Альтернативным вариантом обеспечения долговечности фундаментов практически на неограниченный срок является использование железобетонных фундаментов из центрифугированных предварительно напряженных секций диаметром 800 мм, имеющих металлический фланец для соединения с опорой (рисунок 7). Конструкции фундаментов разработаны и испытаны специалистами НИЛКЭС ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест».

Конструкция внутренней закладной детали в железобетонной секции позволяет выполнить как внутренний (в габаритах металлоформы), так и внешний фланец для соединения с опорой. Это позволяет использовать цилиндрический железобетонный фундамент как под многогранную, так и под железобетонную опору. В связи с тем, что центрифугированные секции для фундаментов изготавливаются в опалубке длиной 20 м, имеется возможность выбора необходимой глубины заделки фундамента для обеспечения заделки в любом виде грунтов без использования ригелей. В типовом варианте размер трубы составляет 5,0 м; 6,7 м или 10,0 м.

Коррозионная стойкость железобетонных фундаментов подтверждена многолетней практикой эксплуатации центрифугированных стоек на всей территории бывшего Советского Союза в грунтах разной степени коррозионной активности. Проблем с разрушением фундаментной части опор не наблюдалось. В настоящее время на заводе используется бетон повышенной прочности (марки В60). Он обладает повышенной плотностью (водонепроницаемость W более 12) и морозостойкостью (свыше 300). Это значит, что долговечность этих фундаментов гарантирована на

весь срок планируемой эксплуатации опор (50–70 лет). При таких характеристиках бетона любая грунтовая среда по отношению к бетону является неагрессивной и фундаменты не требуют организации вторичной защиты от коррозии (нанесения защитных покрытий).

Опытные конструкции фундаментных секций прошли испытания на полигоне «Фирмы ОРГРЭС» в Хотьково. Разрушение конструкций было достигнуто при 160% расчетной нагрузки. Несущая способность фундаментов в зависимости от армирования составляет порядка 100–120 тм. Такие значения позволяют использовать эти фундаменты взамен металлических труб диаметром 720 мм с толщиной стенки до 14 мм.

Технология сооружения — погружение в предварительно пробуренную скважину 820 мм. Вес фундаментной секции длиной 5 м составляет порядка 2,5 тонн. Работы могут быть выполнены оборудованием, применяемым для сооружения

металлических фундаментов.

Технология производства железобетонных фундаментов отработана на Рыбинском заводе железобетонных конструкций, входящем в структуру ОАО «ПО «Энергожелезобетонинвест».

Одним из главных преимуществ предлагаемых конструкций является их стоимость, которая в 2,5 раза меньше стоимости металлического аналога той же несущей способности.

Наличие большого количества разработанных и апробированных вариантов закрепления многогранных опор ВЛ 35–500 кВ позволяет при конкретном проектировании выбрать оптимальную конструкцию с учетом всех рассматриваемых параметров.

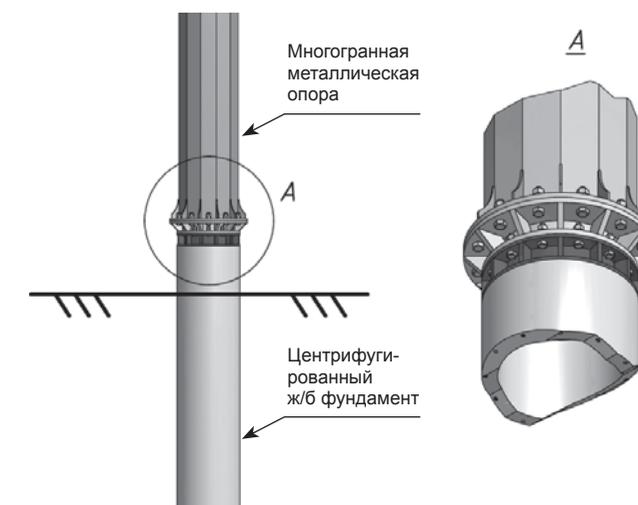


Рис. 7. Схема железобетонного фундамента из центрифугированных предварительно напряженных секций диаметром 800 мм, имеющего металлический фланец для соединения с опорой (многогранной или железобетонной)

Секционированные центрифугированные железобетонные стойки для ремонта и технического перевооружения ВЛ 35–500 кВ. Опыт применения на объектах ПАО «ФСК ЕЭС»*

Любовь КАЧАНОВСКАЯ, к.т.н., Петр РОМАНОВ, к.т.н.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР

Первые конструкции железобетонных опор ВЛ, изготовленные на базе центрифугированных стоек, появились в эксплуатации еще в 30-х годах прошлого века. Унифицированные железобетонные опоры стали использоваться при строительстве ВЛ с начала 60-х годов. Их активное внедрение было обусловлено существенным снижением стоимости строительства ВЛ по сравнению с вариантом применения металлических конструкций. К настоящему времени 57% ВЛ напряжением 35–500 кВ эксплуатируются на железобетонных опорах. При этом доля таких опор для ВЛ 35–110 кВ доходит до 64%. Долговечность железобетонных опор из центрифугированных стоек достаточно высока. Она превышает декларируемые цифры — 40 лет. Сроки службы многих ВЛ на таких конструкциях составляют более 50 лет.

Начиная с 2005 года в связи с широким внедрением в строительство ВЛ новых металлических опор из многогранного профиля использование железобетонных опор резко сократилось. В энергетическом сообществе распространялась мысль об их недолговечности. Однако объективный анализ причин аварий на ВЛ, связанный с разрушением конструкций опор, выполненный специалистами ОАО «Фирма ОРГРЭС» в 2014 году, показал, что значения потока отказов для железобетонных и металлических опор близки между собой. Таким образом, слухи о недостаточной надежности и долговечности железобетонных конструкций были явно преувеличены.

Опыт замены существующих железобетонных опор на многогранные показал, что стоимость вновь устанавливаемых опор увеличивается в 3 раза, при этом избыточная прочность отдельной конструкции не увеличивает надежности ВЛ в целом, и поэтому не обоснована.

НОВЫЙ ТИП СЕКЦИОНИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТОЕК

Изученные за многие годы эксплуатации проблемы изготовления, транспортировки и эксплуатации железобетонных опор ВЛ позволили в настоящее время разработать и внедрить в производство новый тип центрифугированных стоек. Для сокращения расходов на перевозку длинномерных конструкций (размеры конических стоек составляют 22,6 и 26 метров) стойки при изготовлении делятся на две секции, которые соединяются между собой на строительной площадке при помощи фланцев (рисунок 1).



Рис. 1. Фланцевое соединение секций

Кроме того, при этом происходит увеличение жесткости отдельных секций, что ведет к снижению повреждаемости элементов при транспортировке. Для обеспечения долговечности стоек во всех конструкциях используется канатное армирование, позволяющее за счет увеличения предварительного натяжения повысить трещиностойкость. Использование бетона повышенного класса прочности (В60 вместо В40 или В30) ведет к увеличению несущей способности новых секционированных стоек.

НОРМАТИВНАЯ БАЗА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ СЕКЦИОНИРОВАННЫХ СТОЕК

Нормы технологического проектирования ВЛ напряжением 35–750 кВ (СТО 56947007-29.240.55.016-2008, введенные в действие 20.11.2014) предписывают применение на ВЛ 35–500 кВ железобетонных опор из центрифугированных секционированных стоек.

В настоящее время любая центрифугированная коническая стойка, запроектированная по ГОСТ 22687-85 и типовым сериям 3.407.1-151 и 3.407.1-152, может быть выполнена в секционированном варианте. Секционированные стойки выпускаются по ТУ 5863-003-88398430-2014 на заводах ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» с 2014 года.

Стойки аттестованы в ПАО «Россети» в ноябре 2016 года.

Для замены старых опор и создания аварийного резерва ПАО «ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети» рекомендуют использовать модификации унифицированных железобетонных опор, изготовленные с применением секционированных конических стоек типа СК22 и СК26.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАМЕНЫ СТАРЫХ ОПОР НА НОВЫЕ

Согласно сложившейся практике, выборочная замена конструкций опор должна производиться на те же марки опор, которые были установлены при строительстве ВЛ.

Кроме того, необходимость обеспечения аварийного резерва опор для существующих ВЛ также требует держать в запасе конструкции, первоначально заложенные в проекте линии. В настоящее время в эксплуатации находится более 2000 типов опор.

В 2016 году Департаментом ВЛ ПАО «ФСК ЕЭС» для предприятий МЭС Центра, МЭС Северо-Запада, МЭС Волги, МЭС Урала была организована закупка железобетонных опор, изготовленных на базе секционированных центрифугированных стоек для замены вышедших из строя конструкций.

В процессе формирования заказа службы эксплуатации столкнулись с целым рядом проблем, связанным со следующими причинами:

- Отсутствие полной документации на старые опоры, особенно при замене конструкций, установленных до 1960 года. Так для замены опоры ПБД 220-2 были использованы фотографии с трассы ВЛ 220 кВ Костромская ГРЭС — Кострома, произведены обмеры, идентифицированы использованные стойки и заново разработаны чертежи всех металлоконструкций. Получилась модифицированная опора ПБД 220-2К(с), рассчитанная на условия конкретной ВЛ (рисунок 2).
- Полное отсутствие документации на опору. Схему железобетонной опоры ПС220-1 удалось найти только в справочнике. Анализ всех характеристик опоры на конкретной ВЛ показал, что специальная

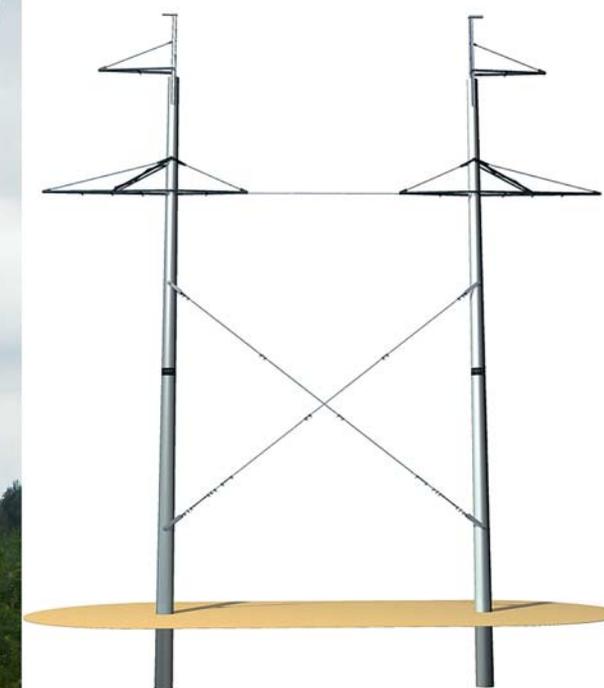
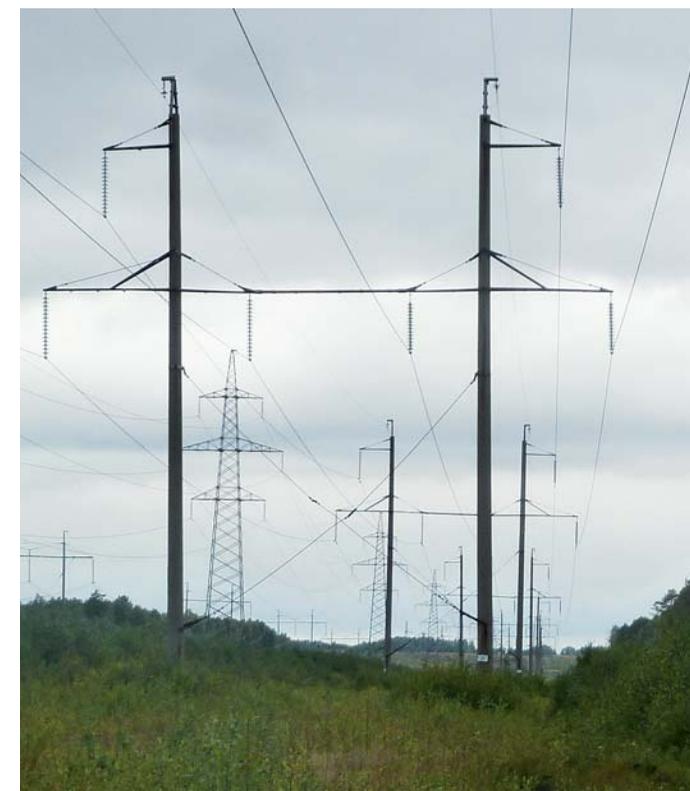


Рис. 2. Разработка опоры ПБД220-2К(с) для замены опоры ПБД220-2 на ВЛ 220 кВ Костромская ГРЭС — Кострома

повышенная бетонная опора, изначально спроектированная на цилиндрических стойках диаметром 560 мм, может быть с успехом заменена на аналогичную по схеме и воспринимаемым нагрузкам порталную опору ПБ 330-1(с), запроектированную на конических стойках (рисунок 3).

- Наличие на ВЛ большого количества модификаций опор для аналогичных условий. На основании анализа опыта эксплуатации еще при разработке унифицированных конструкций в 1980–1990 годах многие опоры были заменены на более удачные модификации. При выборе конструкции для замены опор старой унификации рекомендуется устанавливать типовые опоры более поздней разработки, отдавая предпочтение свободстоящим опорам на конических стойках.

Наличие в эксплуатации большого количества типов опор, в которых использованы более 34 типоразмеров железобетонных стоек, обуславливает следующий подход к их замене:

1. Замена железобетонных опор на аналогичные опоры из секционированных стоек. К марке заменяемой унифицированной опоры в этом случае добавляется при заказе буква (с). Примеры замены приведены в таблице 1.
2. Замена железобетонных опор старой унификации на типовые опоры более поздней разработки (на базе секционированных стоек) с учетом области их применения. Предлагаемые варианты, использованные при замене опор на объектах МЭС Центра, приведены в таблице 2.
3. При отсутствии полной документации на старые опоры — разработка недостающих чертежей на основании расчета нагрузок на конструкции для конкретных ВЛ.

В настоящее время любая железобетонная опора может быть заменена на железобетонную опору из секционированных конических стоек.

Кроме того, анализ существующей базы типовых металлических опор показал, что для многих вариантов конструкций ВЛ 35–220 кВ возможна их замена на сопоставимые по габаритным и прочностным характеристикам железобетонные опоры из секционированных стоек. Например, металлическая опора 2П220-1-11,5 может быть заменена на железобетонную опору ПБ220-1.

Табл. 1. Примеры замены железобетонных опор

Заменяемая опора			Опора, предлагаемая для замены	
Марка опоры	Стойка по проекту	Кол-во стоек	Марка опоры	Стойка
ПБ110-5	СК2, СК2п, СК2пр	1	ПБ110-5(с)	СК22.1-2.1-СБ.К.Д.
ПБ220-1	СК5, СК4а, СК5п, СК5пр	1	ПБ220-1(с)	СК26.1-6.1-СБ.К.Д.
ПБ330-1	СК5, СК4а СК5п, СК5пр	2	ПБ330-1(с)	СК26.1-2.0-СБ.К.Д.
ПБ500-5н	СК15	2	ПБ500-5н(с)	СК26.1-1.1-СБ.К.Д.

Табл. 2. Замена железобетонных опор на объектах МЭС Центра

Заменяемая опора			Опора, предлагаемая для замены	
Марка опоры	Стойка по проекту	Кол-во стоек	Марка опоры	Стойка
П220	СН220, СН200п, СН200пр	1	ПБ220-1(с)	СК26.1-6.1-СБ.К.Д.
ПС220-1	СЦ (Ø560, L = 22м)	2	ПБ330-1(с)	СК26.1-2.0-СБ.К.Д.
ПВС330А-1	Б30п	2		
ПБ500	СЦ4, СЦ4-1, СЦ4п	2	ПБ500-5н(с)	СК26.1-1.1-СБ.К.Д.
ПВС500	СК4а	2		
ПВС500-2	СЦ5	2		

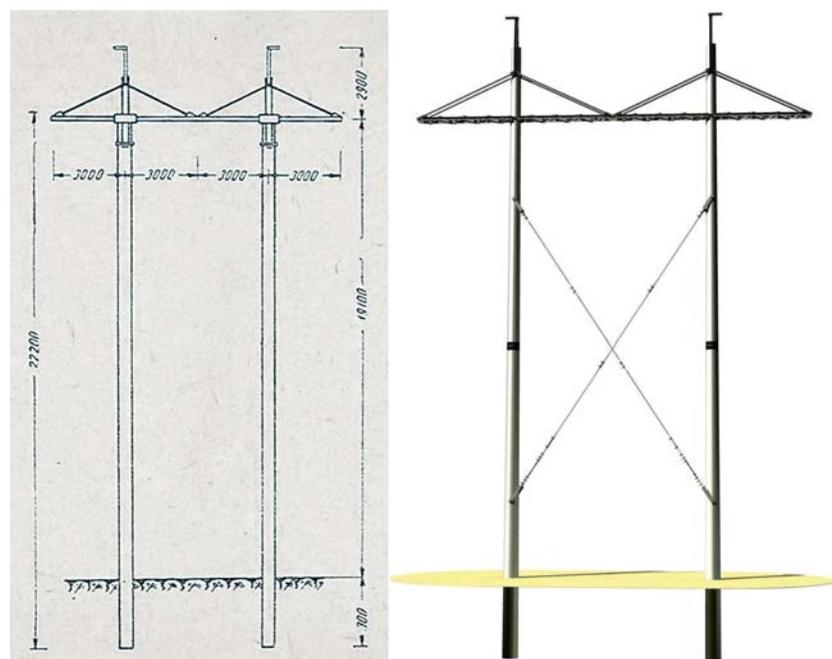


Рис. 3. Замена повышенной опоры ПС-220-1 на унифицированную опору ПБ330-1(с)



Рис. 4. Замена опоры ПБ500-5н на ПБ500-5н(с) на ВЛ 500 кВ Тамбов — Пенза 2



АЛЬБОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ВЛ 35–500 кВ

«Альбом железобетонных опор ВЛ 35–500 кВ. Модификации унифицированных опор на базе секционированных стоек (16.003)» разработан специалистами ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» в процессе работы с МЭС Центра при формировании заказа на железобетонные секционированные опоры для замены старых конструкций и создания аварийного резерва.

Альбом снабжен пояснительной запиской, трактующей общие подходы к замене опор в эксплуатации без изменения места положения опоры и ее основных функциональных характеристик.

Альбом содержит документацию на модифицированные опоры, в том числе: монтажные схемы модифицированных опор с индексом (с), монтажные схемы опор — прототипов, схемы сборки стойки из отдельных секций, схему обеспечения заземления секционированной стойки, общие сведения о секционированных стойках, правила маркировки, транспортирования, хранения.

Эта информация может быть использована заказчиком для организации замены старых опор, строителями — для монтажа новых конструкций и специали-

стами служб ВЛ — в процессе эксплуатации. Альбом доступен для скачивания на сайте НИЛКЭС (www.НИЛКЭС.рф).

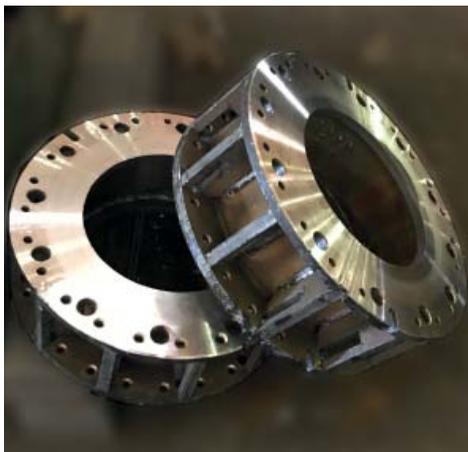
ОПЫТ ЗАМЕНЫ ОПОРЫ НА ВЛ 500 кВ ТАМБОВ — ПЕНЗА 2

18–20 октября на ВЛ 500 кВ Тамбов — Пенза 2 на участке Верхне-Донского предприятия МЭС Центра проведены работы по замене опор ПБ500-5н на новые аналогичные конструкции ПБ500-5н(с), изготовленные на базе секционированных стоек (рисунок 4).

Опыт замены существующих опор показал, что процесс объединения секций на строительной площадке не вызвал никаких технических проблем. При этом всеми специалистами было отмечено существенное облегчение процесса доставки секционированных стоек на пикет по сравнению с проблемами перевозки длинномерных стоек.

Процессы замены опоры, включая сборку элементов новой конструкции типа ПБ500-5н(с) на базе секционированных стоек, ее установки рядом с существующей опорой, демонтажа старой опоры и монтажа проводов были тщательно зафиксированы для создания в ближайшее время современных технологических карт для замены опор этого типа.





Контакты:

ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест»

Головной офис: Россия, 121151, Москва, Кутузовский пр., д. 36, стр. 10, оф. 220.

+7 (499) 643-84-40, +7 (499) 643-84-41, +7 (499) 643-84-42

Генеральный директор — Куликов Алексей Константинович
ezbi@mail.ru

Научно-исследовательская лаборатория конструкций электросетевого строительства — НИЛКЭС (в составе ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест»)

191039, Россия, Санкт-Петербург, Невский пр-т, д. 111/3, офис 414.

Кучинский Сергей Владимирович, заместитель генерального директора по науке и проектированию — info@nilkes.ru, www.nilkes.ru

Качановская Любовь Игоревна, к.т.н., заведующая НИЛКЭС:
+7 (921) 310-06-14, l.i.kachanovskaya@nilkes.ru

Романов Петр Игоревич, к.т.н., заместитель заведующей НИЛКЭС:
+7 (921) 320-16-28, p.i.romanov@nilkes.ru