Первый типовой проект железобетонных опор для ВЛ 110 кВ из секционированных центрифугированных стоек готов к использованию

Рябокучма Я.В., ПАО «Ленэнерго»,
Качановская Л.И., к.т.н., **Романов П.И.**, к.т.н., **Касаткин С.П.**
НИЛКЭС ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест»

Аннотация

В начале 2014 года ПАО «Россети» было принято решение о необходимости комплексного внедрения железобетонных опор нового поколения на энергетических объектах России. Осуществление первого пилотного проекта по разработке серии инновационных конструкций было поручено ПАО «Ленэнерго». Настоящая статья посвящена результатам НИОКР «Разработка железобетонных опор ВЛ 110 кВ из центрифугированных секционированных стоек».

Ключевые слова:

промежуточные и анкерные железобетонные опоры, секционированные центрифугированные стойки, фундаментные секции, несущая способность по грунту, технологические карты на монтаж, альбом опор

Задача поиска конструктивных решений опор и фундаментов, которые позволят сократить затраты на строительство и эксплуатацию воздушных линий электропередачи, актуальна для разработчиков всех поколений.

Железобетонные конструкции по своей сути всегда дешевле металлических. Этот факт был использован немецкими инженерами, которые в 1934 году построили несколько линий электропередачи напряжением 60 кВ на опорах из центрифугированных стоек. Отдельные конструкции таких опор и сегодня находятся в эксплуатации в АО «Янтарьэнерго».

Первые конструкции железобетонных центрифугированных опор ВЛ, изготовленных на территории Советского Союза, были достаточно гибкими: технология предварительного напряжения основной арматуры тогда не применялась. Унифицированные железобетонные опоры с напрягаемой арматурой стали использоваться на ВЛ напряжением 110–750 кВ с начала в 1960-х годов. Их активное внедрение было обусловлено существенным снижением

металлоемкости, а значит и стоимости строительства ВЛ по сравнению с вариантом применения стальных конструкций. По данным ОРГРЭС, 57% ВЛ напряжением 35–500 кВ в нашей стране эксплуатируются на железобетонных опорах. Для ВЛ 35–110 кВ доля таких опор доходит до 64%. Долговечность центрифугированных конструкций существенно превышает декларируемый срок в 40 лет, в отдельных случаях достигая 80 лет (рисунок 1).

Объективные данные о параметрах потока отказов ВЛ, обработанные ОАО «Фирма ОРГРЭС» в 2014 году, говорят о равной надежности и металлических, и железобетонных опор.

Однако в последнее десятилетие в связи с активным внедрением многогранных опор, рассчитанных на требование современных норм, использование унифицированных железобетонных конструкций резко сократилось. Эти опоры даже выпали из числа рекомендованных к применению в «Нормах технологического проектирования ВЛ напряжением 35–750 кВ», утвержденных в 2008 году.

Рис. 1. Портальная опора из центрифугированных цилиндрических стоек диаметром 800 мм, объединенных между собой при помощи внешних фланцев на ВЛ 750 кВ Запорожская АЭС — ПС «Запорожская»

Отдельные недостатки конструкции, выявленные за многие годы эксплуатации, были связаны:

– с проблемами контроля качества при изготовлении;
– со сложностями при доставке на трассу длинномерных конструкций с фиксированной длиной (до 26 м) и проблемами в эксплуатации, которые возникали при повреждении стоек в процессе транспортировки;
– с необходимостью установки ригелей в грунтах с низкой несущей способностью, обусловленной невозможностью увеличения глубины заделки опор из-за фиксированной длины стоек.

Кроме того, выход в свет седьмой редакции Правил устройства электроустановок (ПУЭ-7), в которой существенно повышены требования к надежности конструкций, привел к необходимости резкого сокращения пролетов типовых опор при их установке на трассу, то есть к увеличению количества опор и фундаментов, линейной арматуры и гирлянд изоляторов на каждый километр ВЛ.

В настоящее время качество изготовления центрифугированных стоек на всех заводах крупнейшего в России объединения по производству железобетонных изделий ООО «ПО Энергожелезобетонинвест» гарантируется за счет строгого соблюдения технологии изготовления на всех этапах производства при максимальной автоматизации всех процессов. Собственная аттестованная лаборатория завода осуществляет контроль качества всех материалов, поступающих в производство. Приготовление бетонной смеси осуществляется автоматически

Рис. 2. Разъемная металлоформа для изготовления стоек

Рис. 3. Арматурный каркас в металлоформе

с фиксированием рецептов приготовления в базе данных. Формирование металлического каркаса изделия производится натяжением арматуры для создания предварительно напряженной конструкции с передачей натяжения на опалубку. Опалубка представляет собой разъемную коническую или цилиндрическую металлоформу (рисунки 2 и 3).

После закладки бетонной смеси и натяжения канатов опалубка помещается на специальные катки для автоматического центрифугирования. После окончания этого процесса стойка в опалубке перемещается в электромагнитную камеру для нагрева и пропаривания. Там создается и поддерживается специальный температурно-влажностный режим для твердения бетонной смеси. После набора требуемой прочности напряжение арматуры с опалубки передается на стойку, которая получает за счет этого предварительное обжатие. Стойки с напрягаемой арматурой, изготовленные способом центрифугирования, обладают повышенной по сравнению с вибрированными конструкциями прочностью и трещиностойкостью.

Информация каждого этапа технологической цепочки при изготовлении всех изделий, а также результаты контрольных и периодических испытаний фиксируются в базе данных предприятия и доступны в Интернете.

Изучение опыта производства, строительства и эксплуатации железобетонных опор позволило разработчикам конструкций и заводским специалистам преодолеть все технологические и организационные проблемы путем разработки и внедрения в жизнь центрифугированных стоек в секционированном варианте.

Современные стойки, как и прежде, изготавливаются в конических или цилиндрических опалубках длиной 26 или 20 м соответственно. Для сокращения расходов на перевозку длинномерных конструкций стойки делятся на секции, которые соединяются между собой на строительной площадке при помощи болтов.

Первые опытные стойки использовали внешний фланец для соединения секций опоры между собой (рисунок 4).

Рис. 4. Внешний фланец для соединения секций

Опытные образцы именно таких стоек нового поколения получили одобрение на выставке «Электрические сети России» в 2013 году [1]. Коллектив разработчиков был награжден Золотой медалью выставки.

По итогам совещания Рабочей группы ОАО «Россети» по разработке и внедрению железобетонных опор из центрифугированных секционированных стоек в марте 2014 года работа по созданию унифицированных железобетонных опор из секционированных стоек для ВЛ 35–500 кВ была признана перспективной.

Рис. 5. Внутренний фланец для соединения секций

В процессе оптимизации узла соединения секций был разработан вариант внутреннего фланца, в котором закладные элементы помещаются в опалубку перед центрифугированием. Это решение позволило обеспечить выпуск полностью готового изделия сразу после распалубки стойки и отказаться от приварки внешних фланцев после ее изготовления (рисунок 5).

Такое решение было проверено испытаниями известных (армированных по ГОСТ 22687.1-85) центрифугированных конических стоек длиной 26 м, выполненных в секционированном варианте.

Секционирование опор позволило сократить время и затраты на транспортировку. По данным заводов-изготовителей, стоимость доставки старой конической стойки СК длиной 26 м в четыре раза выше стоимости доставки ее аналога в секционированном варианте (две секции по 13 м). При этом отсутствует необходимость оформления разрешения на перевозку негабаритной продукции спецтранспортом, срок получения которого составляет порядка двух недель.

К настоящему времени совместными усилиями Группы компаний «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС» и разработчиков конструкций пройдены важные этапы внедрения современных опор в практическое строительство:

– в 2014 году введены в действие «Нормы технологического проектирования ВЛ напряжением 35–750 кВ» [2] (СТО 56947007- 29.240.55.192-2014), которые предписывают применение на ВЛ 35–500 кВ железобетонных опор из секционированных стоек;
– 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» [3];
– разработан и введен в действие СТО 56947007-29.29.120.90.247-2017 «Железобетонные опоры ВЛ 35–750 кВ на базе центрифугированных секционированных стоек. Технические требования» [4];
– накоплен опыт использования унифицированных железобетонных опор, модифицированных на базе типовых стоек в секционированном варианте, при техническом перевооружении существующих ВЛ на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» (об этом уже рассказывалось в номере № 6 журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» за 2016 год) [5].

ПАО «Ленэнерго» первым из ДЗО ПАО «Россети» приступило к реализации первого этапа плана разработки и внедрения на объектах страны современных железобетонных опор из центрифугированных секционированных стоек — научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе (НИОКР) по созданию и внедрению опор нового поколения для ВЛ напряжением 110 кВ.

В 2016 году началась выдача первых результатов работы. Использование новых конструкций по этой серии планируется с 2018 года.

Техническим заданием предусмотрено создание серии современных железобетонных промежуточных и анкерно-угловых опор в одноцепном и двухцепном вариантах, которые будут соответствовать требованиям действующих нормативных документов и обеспечат сокращение затрат на этапах строительства (реконструкции) и эксплуатации ВЛ 110 кВ.

Работа над проектом включала следующие этапы:

- разработка комплектов конструкторской документации на железобетонные опоры ВЛ 110 кВ из центрифугированных секционированных стоек;
- изготовление и испытание опытных образцов конструкций железобетонных опор ВЛ 110 кВ;
- разработка комплектов чертежей фундаментных секций, для железобетонных опор ВЛ 110 кВ;
- выпуск альбома железобетонных опор ВЛ ПО кВ из центрифугированных секционированных стоек;
- разработка нормативно-технической документации;
- формирование интеллектуального портфеля и нематериальных активов путем патентования в России и за рубежом результатов разработок.

Комплекты документации включают в себя серию конструкций для промежуточных и анкерных опор в одноцепном и двухцепном вариантах.

Структура материалов, посвященных разработке опор, одинакова для всех видов конструкций.

Первый том для каждого типа конструкций состоит из двух книг. В первой книге «Выбор параметров и расчеты» изложен подход, примененный при выборе схем опор, определены оптимальные схемы опор и выданы результаты расчетов конструкций. Во второй книге приведены чертежи.

Второй том посвящен изготовлению и испытанию опытных образцов, и состоит из трех книг: акты изготовления, программы и протоколы испытаний опытных образцов опор.

Третий том содержит чертежи опор, откорректированные по результатам испытаний.

Конструкции промежуточных и анкерных опор разработаны в двух вариантах: для подвески легких (АС 95/16, АС 120/19) и тяжелых (АС 150/24, АС 185/29, АС 240/32) марок проводов. Во всех вариантах в расчете принят грозозащитный трос — 9.2-М3-В-ОЖ-Н-Р.

Расчеты проведены для открытой местности (тип «А») на сочетание следующих климатических условий: районы по ветру — II (500 Па), III (650 Па), районы по гололеду — II (15 мм), III (20 мм). Конструкции разработаны для 1–3 степени загрязненности атмосферы для районов с умеренной интенсивностью пляски проводов. Региональные коэффициенты по ветру и гололеду приняты равными 1,0.

Всего разработано 23 типа опор, из них — 8 промежуточных и 15 — анкерно-угловых.

Промежуточные опоры сконструированы на базе железобетонных центрифугированных конических стоек, изготавливаемых в секционированном варианте в опалубке длиной 26 м. Верхний диаметр стоек — 410 мм, нижний — 650 мм.

Секции имеют длину 13 м и соединяются между собой на строительной площадке при помощи фланцевых соединений на высокопрочных болтах.

Все промежуточные опоры — одностоечные свободностоящие. Обзорный лист промежуточных опор приведен на рисунке 6.

Конструкции выполнены в двух вариантах: обычные — устанавливаемые путем погружения нижней части опоры в пробуренный котлован, и повышенные — устанавливаемые на фундамент. Установка на фундамент — это принципиально новое решение для железобетонных опор. Увеличение высоты подвеса нижних проводов позволяет увеличить габаритные пролеты и сократить количество опор на ВЛ. По этому параметру повышенные железобетонные опоры стали сопоставимы с металлическими (решетчатыми и многогранными) опорами. Стойки повышенных опор имеют в нижней своей части закладную деталь — фланец для соединения с фундаментом.

Рис. 6. Обзорный лист промежуточных опор

Увеличение расстояний между опорами и, соответственно, нагрузок от проводов и тросов потребовало увеличения прочностных характеристик стоек опор. Эта задача была решена выбором системы армирования стоек с использованием современной канатной арматуры и бетонов повышенной прочности. В отличие от ранее используемых стоек с показателями прочности В30, В40, в новых опорах применяется бетон В60. Плотность центрифугированного бетона всегда выше, чем у вибрированного. Если обычно значение водонепроницаемости составляет для них соответственно W = 6 и W = 4, то в современных условиях, при использовании специальных добавок в бетонную смесь, водонепроницаемость центрифугированных конструкций достигает W = 8–16. При этом морозостойкость увеличивается не менее чем до F = 400. Все металлические элементы опор, включая закладные детали для соединения секций между собой и стойки с фундаментом, защищаются от коррозии при помощи горячего цинкования.

Такие показатели обеспечивают повышенную долговечность стоек. Срок службы железобетонных и многогранных опор теперь сопоставим: до 60–70 лет. За счет того, что исключается потребность в ремонтах на протяжении всего срока службы железобетонных опор, сокращаются и общие затраты на эксплуатацию ВЛ.

Анкерные опоры современного проекта разработаны на базе железобетонных цилиндрических секционированных стоек диаметром 800 мм, изготавливаемых, как и для промежуточных опор, в секционированном варианте. Длина опалубки цилиндрических стоек равна 20 м. Обзорный лист анкерных опор приведен на рисунке 7.

Основной тип анкерных опор — одностоечные свободностоящие конструкции, которые могут устанавливаться как в пробуренный котлован, так и (для увеличения высоты подвески

Рис. 7. Обзорный лист анкерно-угловых опор

проводов) на фундаменты. Для больших углов поворота предусмотрена установка двухстоечных опор, в которых две одностоечные конструкции объединены между собой тягами на уровне траверс.

Для тяжелых условий разработаны одностоечные опоры на оттяжках. Они могут закрепляться путем установки в пробуренный котлован или (в повышенном варианте) на фундаменты. Такие опоры легче, чем двухстоечные, но требуют значительного отвода земли.

По просьбе заказчика разработана анкерная двухцепная одностоечная опора с высотой подвески провода 14,3 м. Эта конструкция рассчитана на небольшие углы поворота и может быть использована для перехода ВЛ через автомобильные и железные дороги наравне с решетчатыми металлическими опорами.

Большое количество вариантов опор дает возможность выбора при проектировании для сокращения затрат на строительство линий.

В отличие от старых типовых проектов, в которых анкерные опоры были рассчитаны на максимально возможный угол поворота (обычно 60°), для каждой опоры настоящего проекта определены максимальные по несущей способности углы поворота ВЛ в зависимости от сочетания климатических условий, характеристик проводов и троса. Такой подход позволяет при расстановке опор по трассе не использовать тяжелые конструкции там, где можно обойтись их облегченным вариантом. Нагрузки на фундаменты приведены для каждой анкерной опоры с шагом 10°, что позволит оптимальным образом подобрать ее закрепление в зависимости от реального угла ее установки на трассе. Область применения анкерных опор приведена в таблице 1.

Табл. 1. Область применения анкерных опор

Провод	Марка	АС 95/16				АС 120/19				АС 150/24				АС 185/29				АС 240/32			
	Максимальное напряжение при гололёде $\sigma_г$ и отрицательной температуре σ_{-}, кг/мм²	11,6				13,05				13,05				13,05				12,15			
	Максимальное напряжение в среднеэксплуатационном режиме $\sigma_э$, кг/мм²	8,7				8,7				8,7				8,7				8,1			
Грозотрос	Марка	9,2-М3-В-ОЖ-Н-Р																			
	Максимальное напряжение, кг/мм²	27				35				40				43				46			
Район по ветру / нормативное ветровое давлениеW₀, Па		II/500		III/650		II/500		III/650		II/500		III/650		II/500		III/650		II/500		III/650	
Район по гололёду / нормативная толщина стенки гололёда b₃, мм		II/15	III/20	II/15	III/20	II/15	III/20	II/15	III/20	II/15	III/20	II/15	III/20	II/15	III/20	II/15	III/20	II/15	III/20	II/15	III/20
Ветровой пролёт, м		258	207	247	201	291	235	281	229	310	253	300	248	324	268	314	263	331	280	323	276
Весовой пролёт, м		323	259	309	251	364	294	352	287	388	317	375	310	405	335	393	329	414	350	404	345
Предельный угол поворота β/β, град	СУБ110-1, СУБ110-1Ф	60	60	60	60	59	59	58	56	46	46	45	44	39	39	37	37	32	32	31	30
	2СУБ110-1, 2СУБ110-1Ф	-	-	-	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	СУБ110-3Ф	60	60	60	60	45	44	43	42	35	35	33	33	30	29	28	28	26	24	23	23
	2СУБ110-3Ф	-	-	-	-	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	53	52	51	51
	СУБ110-5Ф	55	54	52	52	38	38	36	36	30	30	28	28	26	26	24	23	21	21	19	19
	2СУБ110-5Ф	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	55	54	53	53	45	45	44	43

В связи с выходом новых требований о безопасности работ на высоте все опоры снабжены лестницами с жесткой анкерной линией, которая предусматривает возможность спуска-подъема при помощи устройства ползункового типа с постоянным креплением монтажника к опоре.

Фундаменты для промежуточных и анкерных опор разработаны на базе железобетонных центрифугированных секций диаметром 800 мм в тех же формах, что и стойки анкерных опор. В типовом варианте в одной 20-метровой опалубке изготавливаются одновременно 4 или 3 фундамента длиной по 5 или 6,7 м соответственно. Наличие различных вариантов длины фундаментов позволяет обеспечить надежную заделку опор в большинстве грунтовых условий.

Для промежуточных опор чаще всего удается добиться необходимой несущей способности фундаментов без использования ригелей даже при длине фундаментной секции 5 м.

Рис. 8. Фундаментные секции для установки промежуточных и анкерно-угловых железобетонных опор

Закрепление анкерных опор обычно не может обойтись без ригелей.

Конструкция внутренней закладной детали фундаментных секций имеет две разновидности: одна из них предназначена для закрепления промежуточных опор, нижний диаметр стоек которых 650 мм, другая — для анкерных конструкций с диаметром 800 мм. Схемы фундаментных секций приведены на рисунке 8.

Необходимо сказать о потенциальной возможности расширения области использования железобетонных фундаментов. Незначительная корректировка закладной детали (с вы-

полнением внешнего фланца) позволит применить такие секции и для закрепления опор из многогранного профиля (рисунок 9).

Целесообразность использования именно железобетонных фундаментов обосновывается ужесточением требований к защите от коррозии в связи с появлением случаев значительного повреждения от коррозии металлических свай-оболочек. Коррозионная стойкость железобетонных секций подтверждена многолетней практикой эксплуатации центрифугированных стоек в грунтах разной степени агрессивности. Повышенная долговечность (не менее 70 лет) гарантируется использованием описанных выше современных технологий по подбору состава бетона, режимов центрифугирования, тепло-влажностной обработки и конструктивных решений по разработке узлов соединения секций между собой и стоек с фундаментами.

При указанных выше характеристиках бетона центрифугированных стоек и фундаментных секций (W = 8–16) любая грунтовая среда к бетону становится неагрессивной и фундаменты не требуют организации вторичной защиты от коррозии (нанесения защитных покрытий на бетонную поверхность стойки).

Для всех разработанных в проекте фундаментных секций приведены графики их несущей способности по материалу.

Для расчета фундаментов в проектах конкретных ВЛ в материалах НИОКР приведены нагрузки на закрепления в четырех расчетных режимах по двум группам предельных состояний: по деформации и по устойчивости.

Для упрощения процесса подбора фундаментов для всей трассы ВЛ разработана серия графиков, по которым может быть сделан выбор необходимого типа закреплений в зависимости от характеристик грунтов в месте установки конкретной опоры и нагрузок на фундаменты.

Для каждого из 56-ти грунтов, характеристики которых приведены в СП 22.13330 «Основания зданий и сооружений», разработаны по 4 графика несущей способности: для фундаментных секций длиной 5 и 6,7 метров отдельно для анкерно-угловых и для промежуточных опор. Расчеты производились по алгоритму, описанному в пособии к СНиПу «Основания и фундаменты», а графики построены с помощью электронных таблиц. Пример графика для определения несущей способности по грунту для фундамента под промежуточную опору длиной 5 м приведен на рисунке 10.

Рис. 9. Использование железобетонных фундаментных секций для закрепления многогранных опор

Рис. 10. График несущей способности по грунту для фундамента под промежуточную опору длиной 5 м

На каждом графике нанесено 6 кривых, 3 из которых — для обводненного грунта и 3 — для необводненного. Каждая кривая соответствует своему типу закрепления фундамента: без ригеля, с ригелем АР-6 и с ригелем АР-8. После определения номера грунта, физико-механические свойства которого максимально близки к указанному в проекте ВЛ, в зависимости от типа опоры (промежуточной или анкерной) на графике находится точка пересечения значений поперечной силы и опрокидывающего момента на фундамент. Если эта точка находится под графиком, то несущая способность закрепления обеспечена.

Таким образом, выбор типовой схемы фундамента под каждую стойку будет простым, рассчитанным по единой методике и, в то же время, индивидуальным для каждой опоры. Это позволит выбрать для опор всех ВЛ оптимальные, а значит, экономически обоснованные решения по закреплению опор.

При сложных геологических условиях, например, в слабых или скальных грунтах, когда закрепить опору при помощи разработанных в рамках НИОКР фундаментных секций диаметром 800 мм невозможно, необходима разработка специальных фундаментов. Это могут быть, например, свайные фундаменты с железобетонными ростверками, снабженными закладной деталью с фланцем для соединения с нижней частью опоры. Типы свай выбираются в зависимости от характеристик грунта: в слабых грунтах могут быть рекомендованы винтовые широколопастные сваи, а в скальных грунтах — буроинъекционные сваи.

Испытание опытных образцов опор проводилось на полигоне ООО «ИЦ ОРГРЭС» в г. Хотьково.

Выбор типа опор для испытаний сделан, исходя из необходимости проведения проверки конструктивных решений узлов соединений стоек с фундаментами, которые вводятся в эксплуатацию впервые. Для проверки выбраны 4 повышенные опоры, устанавливаемые на фундамент: промежуточные и анкерные в одноцепном и двухцепном варианте. Все направленные

Рис. 11. Испытание промежуточной опоры на полигоне в г. Хотьково

Рис. 12. Испытание анкерно-угловой опоры на полигоне в г. Хотьково

на испытания опоры рассчитаны на максимальные значения ветра, гололеда и нагрузок от тяжелых проводов.

Стойки опор монтировались на площадке полигона из отдельных секций. В процессе сборки железобетонных и металлических элементов оценивалось удобство монтажа опоры. Конструкции устанавливались на силовом полу полигона при помощи специальных переходников, позволяющих смоделировать крепление нижней секции опоры к фундаментному блоку. Фотографии процесса проведения испытаний анкерных и промежуточных опор приведены на рисунках 11 и 12.

Испытания всех опор прошли успешно. Результаты замеров с высокой точностью подтвердили прогнозируемые технические параметры конструкций, в том числе величину отклонения верхушек опор при заданных нагрузках. Этот факт свидетельствует о правильно выбранном алгоритме построения расчетных программ, оптимальном подборе элементов опоры и качественном исполнении конструктивных элементов конструкций.

Для обобщения материалов, разработанных в проекте, подготовлен Альбом опор, который, будучи сформирован по аналогии с Каталогами типовых конструкций, включает в себя: пояснительные записки, обзорные листы, область применения, электрические габариты опор, таблицы с нагрузками на опоры от проводов и тросов, нагрузки для подбора фундаментов и обзорные листы вариантов закреплений. Перечень конструкторской и нормативной документации, необходимой для внедрения новой серии железобетонных опор, приведен в таблице 2.

Для комплексного решения вопросов внедрения современных опор в практическое строительство в рамках НИОКР разработана серия нормативных документов, необходимых на всех этапах жизненного цикла конструкций: при проектировании, строительстве и эксплуатации.

Нормативная документация подготовлена в следующем составе:

- технические требования к опорам ВЛ 110 кВ и способам их закрепления;
- технологические карты на монтаж всех типов опор и фундаментов;
- инструкции по монтажу опор и фундаментов;

Табл. 2. Перечень конструкторской и нормативной документации

Обозначение	Наименование
16.006-т.3 кн.1	Одноцепные промежуточные и промежуточные повышенные опоры. Выбор параметров и расчеты
16.006-т.5	Одноцепные промежуточные и промежуточные повышенные опоры. Рабочая конструкторская документация
16.006-т.6 кн.1	Двухцепные промежуточные и промежуточные повышенные опоры. Выбор параметров и расчеты
16.006-т.8	Двухцепные промежуточные и промежуточные повышенные опоры. Рабочая конструкторская документация
16.006-т.9 кн.1	Одноцепные анкерно-угловые опоры. Выбор параметров и расчеты
16.006-т.11	Одноцепные анкерно-угловые опоры. Рабочая конструкторская документация
16.006-т.12 кн.1	Двухцепные анкерно-угловые опоры. Выбор параметров и расчеты
16.006-т.14	Двухцепные анкерно-угловые опоры. Рабочая конструкторская документация
16.006-т.15	Фундаментные секции. Рабочая конструкторская документация
16.006-т.16	Альбом опор
16.006-т.16.18	Технические требования к опорам.
16.006-т.16.19	Технологические инструкции по монтажу опор
16.006-т.16.20	Технологические карты на сборку и установку опор
16.006-т.16.21	Типовая инструкция по эксплуатации ВЛ в части железобетонных опор

– инструкция по эксплуатации опор.

Технические требования задают уровень проектирования конструкций, «Технологические карты» и «Инструкции по монтажу» способствуют эффективному выполнению строительных работ на линии, «Инструкции по эксплуатации» систематизируют процесс обслуживания линий электропередачи.

Табл. 3. Перечень типов опор и соответствующих им технологических карт

16.006 т.20	Наименование			№ ТК	Марки конструкций
кн.1	Промежуточные	Одноцепные		1	СПБ110-1, СПБ110-3
				2	СПБ110-5Ф, СПБ110-7Ф
кн.2		Двухцепные		3	СПБ110-2, СПБ110-4
				4	СПБ110-6Ф, СПБ110-8Ф
кн.3	Анкерно-угловые	Одноцепные	Одностоечные	5	СУБ110-1
				6	СУБ110-1Ф, СУБ110-3Ф, СУБ110-5Ф
кн.4			Двухстоечные	7	2СУБ110-1
				8	2СУБ110-1Ф, 2СУБ110-3Ф,2СУБ110-5Ф
кн.5		Двухцепные	Одностоечные	9	СУБ110-2
				10	СУБ110-2Ф, СУБ110-6Ф
			Одностоечные с оттяжками	11	СУБ110-4
				12	СУБ110-4Ф
кн.6			Двухстоечные	13	2СУБ110-2
				14	2СУБ110-2Ф
кн.7	Фундаментные секции			15	СЦФ (4 типа)

Технические требования к опорам ВЛ 110 кВ, разработанным в рамках НИОКР, составлены с учетом стандарта ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.29.120.90.247-2017 «Железобетонные опоры ВЛ 35–750 кВ на базе центрифугированных секционированных стоек. Технические требования».

Технологические карты разработаны для всех двадцати трех видов опор и четырех типов фундаментных секций.

В таблице 3 приведен перечень типов опор и соответствующих им технологических карт с указанием на их номера в составе проекта опор.

Общий подход к монтажу новых железобетонных опор по сравнению с известными решениями для унифицированных конструкций практически не изменился.

Появилась только возможность заранее собрать стойку из двух секций на пикете. А затем установить ее либо в пробуренный котлован, либо на фундамент.

Современные железобетонные опоры по-прежнему погружаются в пробуренный котлован при помощи подъемных кранов. Но в сегодняшних условиях используются краны высокой грузоподъемности с большим вылетом стрелы, позволяющие минимизировать перемещение машин в процессе монтажа, то есть сокращать время на сборку конструкций.

В технологических картах подробно описан процесс соединения секций стойки между собой, нижней секции стойки с фундаментом, указаны правила затяжки болтов и критерии приемки работ.

Для облегчения процесса монтажа и обеспечения соосности верхней и нижней частей стойки соединительные фланцы верхних секций снабжены специальными направляющими пластинами, одна из которых служит кроме того и фиксатором, так как при сборке должна совпасть с пазом, организованном во фланце нижней секции. Схема соединительного узла приведена на рисунке 13. Это конструктивное решение позволяет обеспечить такое взаимное положение секций, которое они имели при изготовлении стойки в единой опалубке. В процессе работы выявлена патентоспособность этого узла.

Рис. 13. Соединительный узел секций с направляющими и фиксирующими пластинами для монтажа стойки: 1 — фланец узла крепления верхний, 2 — направляющие, 3 — ограничитель, 4 — фланец узла крепления нижний, 5 — прорезь для ограничителя

Получен патент на полезную модель RU 174511, патентообладателем которого является ПАО «Ленэнерго».

Каждая из 15-ти технологических карт на сборку и установку опор и фундаментных секций содержит информацию, необходимую для организации строительства: порядок организации работ, расчет норм времени, критерии контроля при монтаже опор, технику безопасности, требования к охране окружающей среды и пожарной безопасности.

Технологические инструкции по монтажу конструкций разработаны на базе технологических карт. Они предназначены для мастеров, бригадиров и электромонтажников. Отличительной особенностью инструкций являются подробные указания ко всем этапам работ.

Типовая инструкция по эксплуатации железобетонных опор из секционированных стоек разработана совместно со специалистами ООО «ИЦ ОРГРЭС». Документ является дополнением к существующей Типовой инструкции по эксплуатации ВЛ (РД 343.20.504-84) в части ВЛ 110 кВ на железобетонных опорах из центрифугированных секционированных стоек.

Технико-экономическое обоснование результатов НИОКР выполнено на базе сравнения стоимости строительства условного 5-километрового анкерного участка ВЛ 110 кВ в одноцепном и двухцепном вариантах при использовании известных типов железобетонных и металлических промежуточных опор:

- новые железобетонные опоры из секционированных стоек, разработанные в обычном (СПБ110-3, СПБ110-4) и повышенном (СПБ110-7Ф, СПБ110-8Ф) вариантах;
- типовые железобетонные унифицированные опоры (ПБ110-15 и ПБ110-8);
- современные опоры из многогранного профиля, устанавливаемые на фундамент (ПМ110-1Ф);
- типовые унифицированные решетчатые опоры (П110-5в и П110-4в).

Выбор опор и определение пролетов для всех типов опор выполнено с учетом возможности подвески проводов марки АС-240 и троса 9,2-МЗ-В-ОЖ-Н-Р по действующим на сегодня нормам для 3 района по ветру и гололеду.

Для подбора конструктивных решений и сравнения способов закрепления опор принято, что опоры устанавливаются в полутвердых суглинках. Для каждого типа опор произведены расчеты выбранных схем фундаментов по грунту. Определена длина фундаментных секций, необходимость установки и размеры ригелей; для решетчатых опор — марка грибовидных фундаментов.

При сравнении вариантов учитывались ориентировочная стоимость материалов конструкций (в том числе опор, фундаментов, линейной изоляции), стоимость их транспортировки на 30 км и монтажа. Кроме того, принята в расчет величина площади отвода земли в постоянное пользование, которая для решетчатых опор в 1,5–2,2 раза выше, чем для одностоечных железобетонных конструкций.

При анализе ориентировочной сравнительной стоимости строительства в расчете не учитывались элементы ВЛ, которые одинаковы для любых видов конструкций: провода и тросы.

Ориентировочная сравнительная стоимость участков ВЛ 110 кВ, построенных на выбранных типах опор в одноцепном и двухцепном вариантах, приведена в таблицах 4 и 5.

Анализ расчетов показал, что минимальная стоимость строительства достигается при использовании современных железобетонных опор из секционированных стоек в обычном, назовем условно «базовом», исполнении. Приняв это значение за 100%, видим, что для одноцепных опор условная стоимость участка ВЛ с использованием современных железобетонных на фундаментах, многогранных и типовых решетчатых опор составляет по отношению к «базовому» варианту соответственно 128, 194 и 201%. Для двухцепных участков эти значения составляют 131, 175 и 174%.

Сравнение со стоимостью строительства ВЛ на «старых» железобетонных опорах так же показывает, что их использование увеличивает стоимость строительства одноцепного и двухцепного вариантов на 114 и 163%. Но в этих расчетах еще не учтена сложность организации доставки длинномерных конструкций до места установки опоры, в том числе и по трассе ВЛ. Отклонение от жестких требований к транспортировке может привести

Табл. 4. Ориентировочная сравнительная стоимость участка одноцепной ВЛ 110 кВ на опорах разных типов

Железобетонные опоры			Стальные опоры	
Новые секционированные		Старая унификация	Многогранная	Решетчатая
ПУЭ-7		ПУЭ-6	ПУЭ-7	ПУЭ-6
СПБ110-3	СПБ110-7Ф	ПБ110-15	ПМ110-1Ф	П110-5В

	Железобетонные опоры						Стальные опоры			
	Новые секционированные опоры				Старая унификация		Многогранная		Решетчатая	
	ПУЭ-7				ПУЭ-6		ПУЭ-7		ПУЭ-6	
Марка опоры	СПБ110-3		СПБ110-7Ф		ПБ110-15		ПМ110-1Ф		П110-5в	
Кол-во опор на 5 км	18,12		15,06		27,78		18,87		18,52	
Стоимость, тыс. руб.	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок
Материалы	228	4 142	358	5 395	158	4 376	451	8 504	422	7 811
в % к СПБ110-3		100%		130%		106%		205%		189%
Монтаж	27	484	35	529	27	762	30	558	77	1 430
в % к СПБ110-3		100%		109%		157%		115%		295%
Землеотвод	10	176	14	209	12	328	13	249	22	412
в % к СПБ110-3		100%		119%		186%		141%		234%
Всего (на 5 км)	265	4 802	407	6 133	197	5 466	493	9 311	521	9 653
Всего (на 1 км)		960		1 227		1 093		1 862		1 931
в % к СПБ110-3		100%		128%		114%		194%		201%
Экономия на 1 км, тыс. руб.		-		-		+130		+900		+960

(и это доказано опытом) к появлению начальных дефектов в стойках, которые снижают их долговечность и увеличивают затраты на эксплуатацию ВЛ.

В денежном выражении в первом приближении можно оценить выгоду от использования новых железобетонных опор по сравнению с применением многогранных и решетчатых конструкций. Если на ВЛ будут использованы и «базовые» и повышенные опоры, то разница

Табл. 5. Сравнительная стоимость участка двухцепной ВЛ 110 кВ на опорах разных типов

Железобетонные опоры			Стальные опоры	
Новые секционированные		Старая унификация	Многогранная	Решетчатая
ПУЭ-7		ПУЭ-6	ПУЭ-7	ПУЭ-6
СПБ110-4	СПБ110-8Ф	ПБ110-8	ПМ110-2Ф	П110-6В

	Железобетонные опоры						Стальные опоры			
	Новые секционированные опоры				Старая унификация		Многогранная		Решетчатая	
	ПУЭ-7				ПУЭ-6		ПУЭ-7		ПУЭ-6	
Марка опоры	СПБ110-4		СПБ110-8Ф		ПБ110-8		ПМ110-2Ф		П110-4в	
Кол-во опор на 5 км	24,51		23,58		45,45		25		19,61	
Стоимость, тыс. руб.	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок
Материалы	311	7 611	428	10 081	264	11 989	564	14 105	656	12 870
в % к СПБ110-4		100%		132%		158%		185%		169%
Монтаж	29	710	38	893	34	1 549	30	739	94	1 839
в % к СПБ110-4		100%		126%		218%		104%		259%
Землеотвод	17	409	19	443	15	663	17	417	26	518
в % к СПБ110-4		100%		108%		162%		102%		127%
Всего (на 5 км)	356	8 730	484	11 416	313	14 201	611	15 261	777	15 226
Всего (на 1 км)		1 746		2 283		2 840		3 052		3 045
в % к СПБ110-4		**100%**		**131%**		**163%**		**175%**		**174%**
Экономия на 1 км, тыс. руб.		-		-		**+1094**		**+1306**		**+1299**

в стоимости на 1 км ВЛ по сравнению с многогранными и решетчатыми опорами составит для одноцепных участков порядка 800 тыс. руб., для двухцепных участков — 1000 тыс. руб.

Выводы

ПАО «Ленэнерго» планирует заключить лицензионные договоры с заводами-изготовителями для последующей коммерциализации результата НИОКР. Использование разработанных конструкций в электросетевом комплексе планируется в 2018–2019 годах.

Кроме того, на базе найденных конструктивных решений могут быть разработаны и опоры ВЛ напряжением 220–500 кВ, опоры для перехода воздушных линий в кабельные, шинные и ячейковые порталы, основания для установки оборудования на подстанциях, фундаменты под многогранные и решетчатые опоры. Расширение области применения опор может быть выполнено для других видов проводов и тросов, более тяжелых климатических условий и т.д.

Настоящая статья является первым шагом в процессе распространения информации о разработках новых конструктивных решений железобетонных опор для ВЛ 110 кВ и перспективах расширения области использования найденных конструктивных решений. Она позволит специалистам оценить возможности использования современных конструкций и послужит ускорению их внедрения на объектах ПАО «Россети».

ЛИТЕРАТУРА

1. Качановская Л.И., Ермошина М.С., Романов П.И. Новое поколение опор ВЛ на базе секционированных железобетонных стоек // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2014, № 2(23). С.11–13.
2. СТО 56947007- 29.240.55.192-2014 Нормы технологического проектирования ВЛ напряжением 35–750 кВ. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», 2014.
3. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе».
4. СТО 56947007-29.29.120.90.247-2017 Железобетонные опоры ВЛ 35–750 кВ на базе центрифугированных секционированных стоек. Технические требования. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС», 2017.
5. Качановская Л.И., Романов П.И. Секционированные центрифугированные железобетонные стойки для ремонта и технического перевооружения ВЛ 35–500 кВ // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2016, № 6(39). С. 24–27.