

История массового применения железобетонных опор для ВЛ 35-750 кВ в России начинается с середины 50-х годов XX века. Более половины всех линий электропередачи построены с использованием железобетонных предварительно напряженных конических стоек. Такое стратегическое решение объяснялось очевидной дешевизной таких конструкций по сравнению с решетчатыми металлическими опорами: и не только на стадии производства (железобетон дешевле металла), но и при монтаже — простота установки стоек в пробуренный котлован позволяла резко сократить сроки строительства. По данным ОРГРЭС, надежность металлических и железобетонных опор (параметры потока отказов ВЛ по причине разрушения опор) практически одинакова.

Однако основной проблемой, с которой сталкивались строители, была необходимость соблюдать специальные требования при перевозке длинномерных стоек. Это приводило к дополнительным затратам денежных средств и времени. Кроме того, проблемы закрепления опор в слабых грунтах осложняли процесс их эксплуатации.

СЕКЦИОНИРОВАНИЕ СТОЕК — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Задача упрощения процесса перевозки была решена за счет секционирования длинномерных стоек. Вопрос о том, как разделить предварительно напряженные арматурные стержни тонкостенной стойки кольцевого сечения, не сократив его несущую способность в месте стыковки, был решен путем установки в опалубку соединительного узла. С 2014 года вся его конструкция помещается в полуформу вместе со стальным каркасом. Специальные арматурные стержни уходят в глубь тела стойки в обе стороны от соединительного фланца и передают требуемое напряжение на бетон, обеспечивая равнопрочность сечения стойки в месте узла соединения и на остальной ее поверхности. Ранее не применяемый «внутренний фланец» позволил сразу после изготовления разделять стойки на части, перевозить их обычным транспортом и соединять на трассе при помощи болтов.

Идея секционирования оказалась действительно прорывной. Возможность соединять между собой отдельные секции опор натолкнула проектировщиков на мысль о целесообразности увеличения высоты опор за счет установки стоек на отдельные фундаментные секции (рис. 1). Этот подход позволил решить и проблему закрепления стоек в слабых грунтах: длина фундамента может выбираться в зависимости от нагрузок на опору и характеристик основания. В особых случаях могут быть использованы свайные фундаменты, в ростверк которых вмонтирована закладная деталь для соединения со стойкой.

Железобетонные опоры на фундаментах сравнивались с металлическими конструкциями по отметкам подвески проводов и, со-

Десятилетие инноваций в конструкциях железобетонных опор ВЛ 35-750 кВ

Необычный экспонат появился на главной выставке страны в Москве (ВДНХ) в декабре 2013 года: 26-метровая железобетонная центрифугированная стойка с соединительным фланцем посередине. Что особенного было в такой конструкции и почему она была удостоена первой премии на международном форуме «Электрические сети России-2013»?



Рис. 1. Узел соединения стойки опоры 2СПБ500-3В с фундаментом



Рис. 2. Опоры СПБ110-4 на ВЛ 110 кВ



Рис. 3. Опора 2 СПБ500-3В на ВЛ 500 кВ



Рис. 4. Монтаж верхней секции опоры СПБ220-4ФТ на ВЛ 220 кВ

ответственно, по расчетным пролетам. Теперь разница в стоимости железобетонных и стальных опор стала особенно очевидной.

Может возникнуть резонный вопрос: а хватит ли прочности железобетонных стоек для восприятия увеличенных нагрузок? Тут проектировщики конструкций использовали резервы, связанные с применением современных видов арматуры и высокопрочных бетонов. Если максимальный расчетный момент в основании стоек, массово используемых в типовых опорах прошлого века, находился в пределах от 35 до 55 тм, то в современных вариантах стоек он может достигать 75 тм.

При этом за счет использования бетона класса прочности В60 мы получаем конструкцию, срок службы которой в большинстве возможных сред эксплуатации, в соответствии с СП 28.13330.2017, составляет не менее 100 лет. Это объясняется тем, что высокопрочные бетоны имеют повышенную водонепроницаемость W и морозостойкость F₁: W14, против W8 и F₁400 вместо F₁200 у бетонов класса прочности В40, используемых в стойках старого поколения.

БАЗОВАЯ СЕРИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ВЛ 110 кВ

За прошедшие 10 лет с момента появления первого опытного образца секционированной стойки совместная работа заказчиков, проектировщиков, заводских технологов и строителей позволила вывести всем известный железобетон на новый уровень.

За эти годы выстроена нормативная база по разработке и применению железобетонных опор нового типа. Единая техническая политика ПАО «Россети» и Нормы технологического проектирования ВЛ рекомендуют использовать секционированные железобетонные опоры при новом строительстве и при плановой замене конструкций, выводимых из эксплуатации.

Выпущен СТО ПАО «Россети» 56947007-29.29.120.90.247-2017, содержащий Требования к конструкциям железобетонных опор из секционированных стоек.

Накоплен опыт замены старых опор ВЛ 35-500 кВ на их со-

временные секционированные аналоги. На сайте nilkcs.rf поддерживается в актуальном состоянии Альбом 16.003, разработанный на основе опыта замены опор на объектах ПАО «Россети» с 2014 года.

В 2018 году разработана базовая серия железобетонных опор для ВЛ напряжением 110 кВ. Испытания основных типов промежуточных и анкерных опор в одноцепном и двухцепном вариантах на полигоне в ОРГРЭС подтвердили правильность используемых методик расчета и конструктивных решений элементов опор, в том числе узлов соединения секций стоек и стоек с фундаментами. Основные технические решения по секционированию запатентованы.

Железобетонные опоры ВЛ 110 кВ из центрифугированных секционированных стоек включены в Реестр инновационных решений № 18-028-0067/1, рекомендуемых к применению на объектах ДЗО ПАО «Россети».

Все материалы, необходимые для использования новых опор в конкретных проектах ВЛ 110 кВ, объединены в СТО ПАО «Россети» 34.01-2.2-038.1-2022.

Опоры базовой серии широко используются проектными организациями. На рис. 2 — опоры СПБ110-4 на ВЛ 110 кВ «Заходы на ПС Ясень».

НОВЫЕ ОПОРЫ ВЛ 220-500 кВ НА БАЗЕ ПРОВЕРЕННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

Разработка и тестирование серии опор ВЛ 110 кВ велись параллельно с работой над железобетонными опорами для ВЛ 500 кВ.

Первые испытания portalной опоры ВЛ 500 кВ были проведены на полигоне ОРГРЭС еще в 2015 году. А в 2019 году было завершено строительство ВЛ 500 кВ «Донская АЭС — Старый Оскол-2», на которой наряду с многогранными portalными опорами разработки НИЛКЭС 2008 года установлены их железобетонные аналоги. Конструкции portalных опор с внутренними связями 2СПБ500-3В (рис. 3), выполненные на базе секционированных конических стоек

длинной 26 м, имеют высоту подвески провода 25 м. Этого удалось добиться за счет использования цилиндрических фундаментных секций диаметром 800 мм и длиной 5 м. Пролеты железобетонных и многогранных опор практически сравнялись. Конструктивно оба типа опор позволили монтировать их по одной технологии, используя те же механизмы. Бригада строителей добилась одинаковой скорости возведения опор. Но стоимость железобетонных опор оказалась в 1,5 раза дешевле металлических.

Конструкция свободностоящих portalных опор, минимизирующих землеотвод из-за отсутствия оттяжек, стала актуальной и при разработке опор для ВЛ 330 кВ «ГРЭС 2 — Машук», проходящей в IV ветровом и VI, VII и особых районах по гололеду. Ни одна старая конструкция опор не была разработана для таких жестких климатических условий. И в этом случае стоимость строительства ВЛ на железобетонных опорах 2СПБ330-5ВФ оказалась существенно дешевле, чем на металлических аналогах.

Неожиданное решение по замене старых металлических опор ВЛ 220 кВ типа «Рюмка» (ПВ-1, ПШ-1, ПШ-2) и portalных опор на оттяжках (ПМО-1) на новую свободностоящую portalную железобетонную опору 2СПБ220-1В позволяет существенно сократить аварийный запас различных типов конструкций на складах эксплуатирующих организаций.

Прочностные характеристики новых железобетонных конструкций позволили разработать одноствоечную свободностоящую опору ВЛ 220 кВ в двухцепном варианте СПБ220-4ФТ. Старые стойки не давали таких возможностей, и типовых решений двухцепных опор для этого напряжения не существовало. Задача подвески двух цепей в районе с высокими значениями ветра и гололеда (IV-V районы по ПУЭ-7) при высоте подвески нижнего провода на отметке 14,5 м была решена за

счет использования 10-метровой цилиндрической фундаментной секции диаметром 800 мм, которая поднималась над землей на высоту 5 м, а верхняя часть опоры состояла из 22,6 м секционированной конической стойки. ВЛ 220 кВ «Ударная ТЭС — Тамань» и «Ударная ТЭС — Славянская» вошли в строй в 2021 и 2022 гг. На рис. 4 — процесс установки верхней секции опоры.

ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ПОДХОДОВ К СОВРЕМЕННЫМ РЕШЕНИЯМ

Широкое использование типовых опор ВЛ в прошлом веке было оправдано ускорением разработки проектов, хотя и вело к перерасходу материалов из-за невозможности внесения корректировок в конструкции.

В современных условиях, когда появились требования проверки всех типов опор для конкретных условий, стала очевидной целесообразность разработки конструкций, оптимальных для каждого проекта ВЛ.

НИЛКЭС сотрудничает с проектными организациями, оперативно предлагая опоры, оптимизированные для условий конкретных проектов, сопровождает их расчетами и полным комплектом документации, необходимым для прохождения экспертизы и строительства. К настоящему времени Каталог железобетонных опор ВЛ 35-500 кВ содержит более 70 конструкций и постоянно пополняется. На сайте nilkcs.rf появляется актуальная информация в помощь проектировщикам.

Индивидуальный подход к созданию опор для строящихся ВЛ соответствует мировому опыту проектирования. Оптимизация конструкций на базе проверенных решений позволяет на 15-20% сократить затраты на строительство, не увеличивая при этом сроки и стоимость проектирования.

Любовь КАЧАНОВСКАЯ, к. т. н., заведующая НИЛКЭС,
Сергей КАСАТКИН, к. т. н., начальник сектора конструкций НИЛКЭС,
ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест»

НИЛКЭС — Научно-исследовательская лаборатория конструкций электросетевого строительства — организована в 1974 г. в рамках СЗО Института «Энергосетьпроект», автор типовых проектов опор ВЛ 35-750 кВ

www.NILKCS.RF