

# Опыт эксплуатации и перспективы использования железобетонных опор на ВЛ 35–500 кВ Новгородского предприятия МЭС Северо-Запада

Статья о применении железобетонных опор ВЛ, изготовленных из центрифугированных стоек, написана группой авторов, среди которых разработчики опор и специалисты по их обслуживанию. Такое сотрудничество позволило дать объективную оценку конструктивных и технологических решений опор на основе многолетнего опыта их эксплуатации и наметить перспективы использования железобетонных центрифугированных конструкций в современных условиях.

**А**ктивное строительство ВЛ с применением железобетонных опор началось еще в середине 60-х годов прошлого века, когда промышленность страны освоила производство центрифугированных предварительно напряженных стоек и была разработана типовая серия унифицированных опор, а также необходимая нормативная документация. Широкое внедрение железобетонных опор обосновывалось необходимостью экономии металла и требованиями сокращения затрат на строительство новых воздушных линий.

К настоящему времени у Новгородского предприятия МЭС Северо-Запада на линиях электропередачи напряжением 35–500 кВ находится в эксплуатации 8389 железобетонных опор, что составляет более 63% от общего объема конструкций на ВЛ.

Опыт использования большого количества железобетонных опор, на отдельных линиях превышающий 50 лет, позволяет объективно оценить все плюсы и минусы конструкций, которые испытали на себе практически все возможные климатические воздействия, находясь в различных грунтовых условиях. Так как в процессе строительства ВЛ на трассу поступали опоры, изготовленные на разных заводах, и транспортная схема доставки стоек варьировалась в широких пределах, то анализу поддается также влияние технологических особенностей изготовления стоек и условий их доставки на долговечность эксплуатируемых конструкций ВЛ. Разнообразие типов опор позволяет оценить и особенности работы многих конструктивных схем.



**Алексей НАЙДРОВ**,  
заместитель главного  
инженера филиала  
«Россети ФСК ЕЭС» —  
Новгородское ПМЭС



**Владимир НИКОЛАЕВ**,  
ведущий инженер  
СЭ ЛЭП филиала  
«Россети ФСК ЕЭС» —  
Новгородское ПМЭС



**Петр РОМАНОВ**,  
к.т.н., заместитель  
заведующей НИЛКЭС  
ООО «ПО «Энерго-  
железобетонинвест»



**Любовь КАЧАНОВСКАЯ,**  
к.т.н., заведующая  
**НИЛКЭС ООО**  
**«ПО «Энергожелезо-**  
**бетонинвест»**

Все типы железобетонных опор ВЛ напряжением свыше 35 кВ изготавливаются из центрифугированных стоек длиной 22,6 и 26 м с предварительно напряженной арматурой. Предварительное (до бетонирования) напряжение стержней каркаса, которое в дальнейшем передается на застывший бетон, позволяет придать длинномерной конструкции дополнительные возможности к восприятию изгибающих нагрузок, а центрифугирование бетонной смеси, при котором избыточная вода отжимается из тела стойки, ведет к значительному увеличению плотности, а значит и прочности готовой конструкции. За счет этого существенно увеличивается долговечность центрифугированных стоек по сравнению с конструкциями, изготовленными при помощи вибрирования бетонной смеси.

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОПОР НА ВЛ

Схемы железобетонных опор могут быть разнообразными. Обычно это одностоечные или двухстоечные конструкции, свободностоящие или на оттяжках.

Таблица 1 демонстрирует распределение количества железобетонных опор различных конструкций на линиях электропередачи напряжением 35–500 кВ.

На ВЛ 35 кВ, 110 кВ и 220 кВ в качестве промежуточных свободностоящих одноцепных и двухцепных опор в основном используются одностоечные конструкции, изготовленные из центрифугированных конических стоек длиной 22,6 м или 26 м, нижняя часть которых устанавливается в грунт и, при необходимости, дополнительно закрепляется при помощи ригелей (рисунок 1).

Реже встречаются промежуточные опоры на оттяжках, особенностью которых является шарнирное опирание стойки опоры на отдельный фундамент. Отсутствие изгибающего момента в основании стойки позволяет облегчить конструкцию и увеличить высоту подвески проводов (сократить количество опор на каждый километр трассы ВЛ).

На ВЛ 330 кВ и 500 кВ в качестве промежуточных конструкций используются двухстоечные порталные опоры, которые могут быть свободностоящими или использовать оттяжки. Существует два основных типа свободностоящих порталных опор: опоры охватывающего типа (так называемые компактные опоры), когда все три фазы располагаются между стойками опор (рисунок 2), и опоры типа ПВС (рисунок 3), когда только один провод находится посередине стоек, а крайние фазы располагаются с их внешней стороны. Внутренние связи в обоих типах опор перераспределяют нагрузку между стойками, позволяя сократить усилия в каждой из них. При отсутствии внутренних связей несущая способность опоры сокращается практически вдвое. Связи в процессе эксплуатации не должны провисать, но усилия в них не должны превышать 1–2 тонн. При наклоне опоры поперек оси ВЛ одна из связей включается в работу.



Рис. 1. Одностоечная свободностоящая опора

Табл. 1. Количество эксплуатируемых опор ВЛ в Новгородском ПМЭС в зависимости от напряжения линии и конструктивной схемы опоры

Железобетонные опоры ВЛ, шт.						Всего
Напряжение ВЛ	35 кВ	110 кВ	220 кВ	330 кВ	500 кВ	
Промежуточные свободностоящие	204	840	3022	3211	190	7467
Промежуточные на оттяжках	10	4	3	752	–	769
Анкерно-угловые свободностоящие	7	32	35	7	–	81
Анкерно-угловые на оттяжках	12	24	24	5	7	72

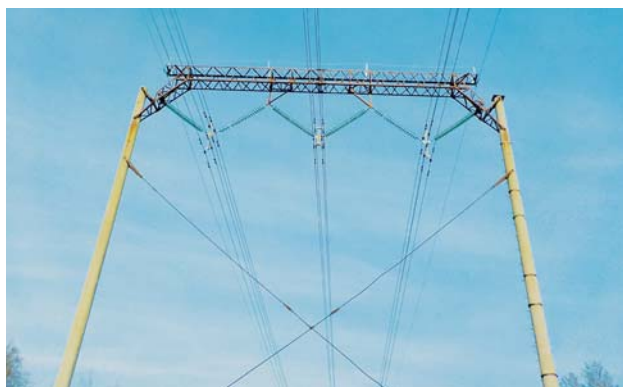


Рис. 2. Портальная опора охватывающего типа с внутренними связями



Рис. 3. Портальная опора типа ПВС330-1 с внутренними связями



Рис. 4. Анкерная опора на оттяжках

В качестве анкерных опор ВЛ 35–500 кВ могут применяться как свободностоящие, так и опоры на оттяжках. Стойки таких конструкций имеют коническую или цилиндрическую форму. Количество и тип стоек в опоре зависят от уровня воспринимаемых нагрузок. На рисунке 4 приведена анкерная опора на оттяжках, нижняя часть стойки которой закреплена в грунте.

### ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР

Анализ причин отключения линий электропередачи за последние 5 лет показал, что ни одна из более чем 8 тысяч железобетонных опор в Новгородском ПМЭС не стала причиной аварии. Этот факт говорит как о долговечности железобетонных опор, так и о качестве обслуживания конструкций.

Отдельные проблемы, выявленные в процессе осмотров ВЛ, устраняются в процессе плановых ремонтов. Подъем на опору осуществляется при помощи сборных приставных лестниц, имеющих жесткую анкерную линию для обеспечения безопасности работников.

Наблюдаемые на отдельных стойках продольные трещины оцениваются на предмет их опасности для снижения несущей способности стоек. При необходимости стойки заменяются на новые.

Единичный случай дефекта железобетонных стоек, с которым столкнулись в Новгородском ПМЭС, — разрушение бетона в районе крепления тросостойки после длительной эксплуатации опоры (рисунок 5).



Рис. 5. Разрушение верхней части стойки опоры (фото сделано после разборки разрушенного бетона)

Причина этого, скорее всего, в первоначальном получении повреждений в верхней части стойки при ее транспортировке волоком по трассе, возможен и вариант падения стойки при разгрузке. Микротрещины, не заметные при строительстве, со временем привели к полному разрушению бетона в зоне, подверженной воздействию переменных нагрузок. Оперативно было принято временное решение по усилению верхней части опоры при помощи металлических элементов. В дальнейшем стойки с такими дефектами требуют замены.

В настоящее время появилась возможность упрощения доставки длинномерных стоек за счет применения секционированных железобетонных опор нового поколения. Любая стойка может быть выполнена в секционированном варианте. Короткие секции, первоначально изготовленные в одной опалубке, перевозятся обычным транспортом и собираются на трассе при помощи болтов. Такие стойки обладают повышенной долговечностью за счет использования современной арматуры и бетона повышенной прочности. Гарантированный срок их службы превышает 60 лет.

Наиболее уязвимыми с точки зрения долговечной эксплуатации являются узлы соединения стоек опор на оттяжках с фундаментами. Обычно верхнюю часть стойки фундамента ремонтируют путем увеличения площади его поперечного сечения с использованием дополнительного армирования добавляемого бетонного слоя (рисунок 6).

Однако на опоре № 89 ВЛ 330 кВ Чудово — Окуловка, когда находящийся в болотистой зоне шарнирный узел соединения нижней части опоры с фундаментом полностью разрушился за счет осыпания бетона стойки грибовидного подножника, было принято решение заменить его на две винтовые сваи, объединенные между собой металлической балкой, на которой был закреплен новый штырь для соединения фундамента с опорой. Все работы по за-



Рис. 6. Ремонт стойки фундамента

винчиванию свай, закреплению балки ростверка и перестановке опоры на новое основание были выполнены без отключения ВЛ. Обновленная конструкция эксплуатируется до настоящего времени без проблем (рисунок 7).

От качества бетона фундамента, особенно в месте опирания на него стойки опоры, во многом зависит долговечность всей конструкции. Увеличение плотности и прочности бетона грибовидных фундаментов и свай может кардинально решить проблему увеличения срока их службы и полностью исключить необходимость проведения ремонтных работ в процессе эксплуатации. На сегодняшний день имеется возможность заказа на заводах сборных типовых конструкций по обычным для них Техническим условиям, но изготовленных из бетона повышенной прочности (соответственно, с увеличением относительно обычных значений водонепроницаемости и морозостойкости). Такое решение обеспечит их беспроблемную длительную эксплуатацию.

Вопросы закрепления железобетонных стоек в грунте и возможные отклонения опоры от вертикали появляются

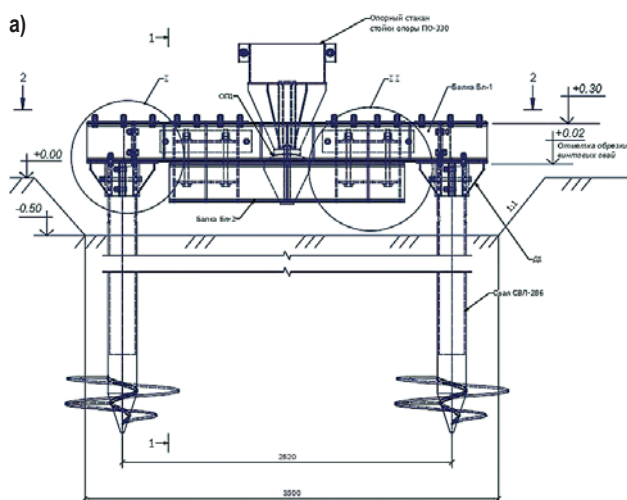


Рис. 7. Ремонт опоры № 89 ВЛ 330 кВ «Чудово-Окуловка»: а) проект замены грибовидного фундамента под стойку опоры на оттяжках; б) готовая конструкция фундамента из винтовых свай

в случае, если в проектах ВЛ недостаточно учтены геологические условия в месте закрепления опор. Так в процессе эксплуатации ВЛ 330 кВ Выру — Кингисеппская на обводненном участке было произведено усиление креплений одностоечных опор при помощи двух вертикальных винтовых свай, объединенных между собой и опорой при помощи металлических элементов (рисунок 8). Оттяжки опоры были закреплены при помощи одиночных винтовых свай, расположенных вдоль их оси (рисунок 9). На рисунке 10 можно увидеть узел соединения оттяжки с винтовой свайей.

Мобильная технология погружения свай позволила провести все ремонтные работы без отключения линии.



Рис. 8. Трасса ВЛ 220 кВ Выру — Кингисеппская

## СОВРЕМЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ОПОРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

С 2014 года в ПАО «Россети ФСК ЕЭС» накоплен богатый опыт замены вышедших из строя железобетонных опор на их современные секционированные аналоги. На рисунке 11 — общий вид порталной опоры № 39 типа ПБ330-7н (с), стойки которой состоят из двух секций. Новая опора была доставлена на ВЛ 330 кВ Великорецкая — Псков обычным транспортом (без проблем, возникающих при перевозке длинномерных изделий), собрана и смонтирована по известной технологии. Особенностью новых секционированных конструкций является их повышенная

долговечность, достигаемая за счет увеличения прочности бетона с марки В40 до марки В60. Показатели водонепроницаемости и морозостойкости новых конструкций существенно возрастают по сравнению с обычными «ГОСТовскими» стойками, обеспечивая отсутствие затрат на их ремонт в процессе эксплуатации.

Важной в современных условиях особенностью железобетонных опор является их вандалоустойчивость. Этот факт и возможность установки на трассах современных долговечных опор позволяет задуматься также о целесообразности замены и выходящих из строя металлических опор на конструкции из секционированных железобетон-



Рис. 9. Закрепление стойки опоры № 151 на ВЛ 220 кВ Выру — Кингисеппская при помощи винтовых свай



Рис. 10. Узел соединения оттяжки опоры № 151 на ВЛ 220 кВ Выру — Кингисеппская с винтовой свайей



Рис. 11. Промежуточная опора ПБ330-Тн(с) на ВЛ 330 кВ Велико-рецкая — Псков, выполненная из секционированных стоек


ных стоек. Особенно актуальным это стало после разработки новых секционированных опор, устанавливаемых на фундамент. Высота подвески проводов на них стала сопоставимой с отметками крепления гирлянд изоляторов на многих металлических конструкциях. Кроме того, обычный для повышенных опор фундамент из центрифужированной секции диаметром 800 мм в слабых грунтах может быть заменен на свайную конструкцию с роствер-

ком, имеющим специальную закладную деталь для крепления стойки. Это позволяет закрепить опоры в любых грунтовых условиях.

## ВЫВОДЫ

1. Считаем целесообразным при формировании и ротации аварийного резерва опор использовать современные железобетонные секционированные стойки, изготавливаемые на заводах ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест». Кроме того, применение специально разработанных универсальных конструкций, которые смогут заменить целую серию опор, находящихся в эксплуатации, позволит значительно сократить номенклатуру резервных опор. Опыт разработки универсальных конструкций, предназначенных для замены как железобетонных, так и металлических опор, уже имеется в ФСК ЕЭС.
2. Регулярные обследования опор и сбор информации об их состоянии в базу данных позволяют отследить появляющиеся дефекты и вовремя принять меры для поддержания работоспособности конструкций опор и ВЛ в целом.

В современных условиях особенно важным становится обладание полным набором информации о конструкциях: их трехмерными чертежами, данными об области их применения, принятыми при проектировании, марками стоек. Все эти данные, включая информацию о характеристиках грунта в районе опор, позволят оперативно и грамотно принять решение о проведении ремонтных работ или замене конструкций на их секционированные аналоги.

Современная база данных по эксплуатации должна позволять хранение и использование указанных материалов. Добавление в эту систему информации, первоначально разработанной при проектировании линии, несомненно упростит процесс принятия решений и поднимет уровень эксплуатации, добавив ему оперативности и профессионализма. 

Хренников А.Ю.

## Техническая диагностика и аварийность электрооборудования

Учебно-методическое пособие. ЛИТРЕС, 2021. 230 стр., 154 ил.

Представлен анализ методов диагностики состояния электрооборудования для выявления дефектов и повреждений в процессе эксплуатации. Эффективность применения методов диагностики сопровождается примерами обнаружения дефектов и повреждений конкретного оборудования: силовых трансформаторов, реакторов, трансформаторов тока и напряжения, разъединителей, турбогенераторов, ОПН и т.д. Приведены примеры повреждений и расследования технологических нарушений. Рассмотрены вопросы электродинамических испытаний силовых трансформаторов на стойкость к токам КЗ, которые служат инструментом для повышения надежности их конструкции. Предназначено для руководителей и специалистов технических служб предприятий электрических и распределительных сетей, станций, подразделений технической инспекции (ТИ) и служб охраны труда и надежности филиалов МЭС ПАО «ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети», слушателей курсов повышения квалификации, а также для аспирантов, магистрантов и студентов электроэнергетических специальностей.



Книгу можно приобрести в интернет-магазине электронных книг «ЛитРес» в разделе «Техническая литература»