

# 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., зав. НИЛКЭС,  
Петр РОМАНОВ, к.т.н., зам. зав. НИЛКЭС,  
Сергей КАСАТКИН, главный специалист НИЛКЭС,  
филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» — СибНИИЭ

**В** конце октября 2015 года на полигоне в Хотьково были успешно завершены испытания железобетонной порталной опоры 2СПБ500-3В из секционированных центрифугированных конических стоек (рис. 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 трёх 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, определённых с учётом повышенных региональных коэффициентов по ветру и гололёду. Требуемый габарит между нижней точкой подвеса провода и землёй составлял 12 м.

\* Триумфальное возвращение железобетона в электросетевое строительство // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. № 3 (30), май—июнь 2015 г. С. 88—91.

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

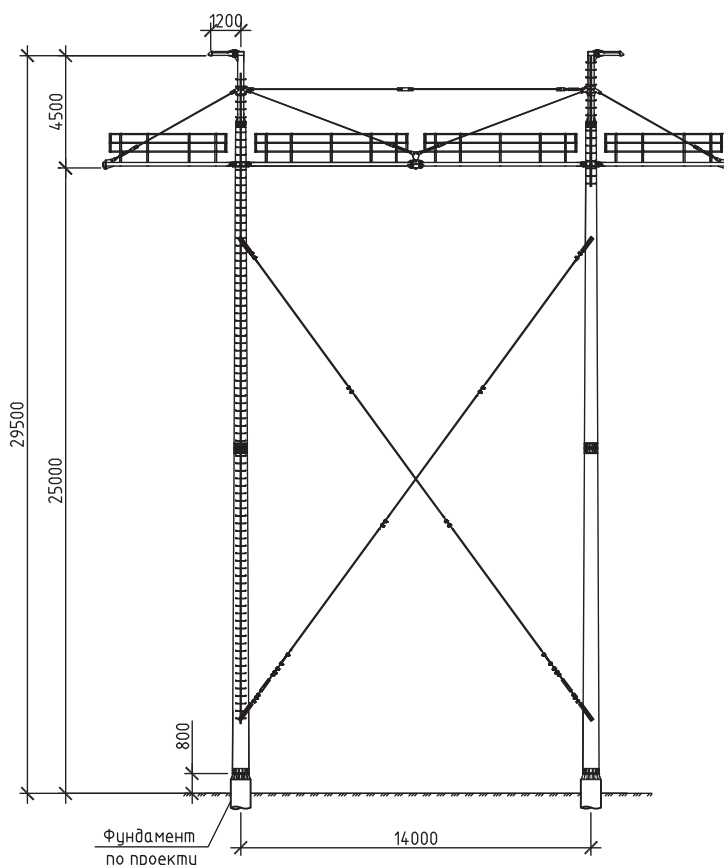


Табл. Расчётные данные опоры 2СПБ500-3В

Нормативы		Глава 2.5 ПУЭ-7 «Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ»							
Расчётные 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 гололёду								
	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 гололёде 200 Па			Ветер при гололёде 160 Па					
Провод	Марка		3 x AC 300/66						
	σГ	МПа	153						
	σ–		153						
	σЭ		102						
Трос	Марка		ОКГ Тц — ... 14,6/88						
	σтах	МПа	382						
Габаритный пролёт, м		290	325	265	295	330	375	330	375
Ветровой пролёт, м		320	325	320	360	395	395	415	495
Весовой пролёт, м		362	406	331	369	412	469	412	469

Уточнение значений региональных коэффициентов для условий трассы ВЛ позволило спроектировать облегченный вариант опоры. На рис. 1 приведена схема промежуточной свободностоящей порталной опоры 2СПБ500-3В, состоящей из двух секционированных железобетонных стоек, составной траверсы и двух гибких перекрёстных 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 её 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 расчётных режимах работы.

**Опора 2СПБ500-3В** рассчитана на подвеску проводов AC 300/66, по три провода в фазе и двух тросов со встроенным оптическим кабелем. Предназначена для работы в сложных условиях высоких ветровых и гололёдных нагрузок. По требованию заказчика, для сокращения проблем при эксплуатации увеличен по сравнению с требованиями ПУЭ-7 минимальный габарит между проводом и землёй до 10 м.

В табл. приведены расчётные данные для опоры. Общая высота конструкции 28,7 м. Высота подвески гирлянд с учётом фундаментной секции — 25 метров.

Расстояние между осями стоек опоры — 14 м, определено необходимостью сокращения выдёргивающих нагрузок на фундаменты. Опора крепит-

ся 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 путём 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 длиномерных 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, даёт 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 счёт этого достигается их перпендикулярное положе-

ние 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. Конструкция 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 решётчатой 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 траверс 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 гололёда 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 установки ригелей.

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

Конструкция нижней части стойки за счёт 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 подъёма на опоры** на одной из стоек предусмотрена стационарная лестница, расположенная с фасадной стороны опоры. Конструкция лестниц обеспечивает постоянную фиксацию монтажника при подъёме на опору за счёт использования специальной анкерной линии, по которой соединительный

элемент, прикреплённый к поясу поднимающегося монтажника, при движении вверх легко скользит, а при падении человека — заклинивает, обеспечивая, таким образом, надёжную страховку рабочего. Конструкция анкерной линии из Т-образного профиля, совмещённой с лестницей, получилась достаточно простой, доступной для изготовления её 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 подъёма опоры падающей стрелой.

**Рис. 2. Общий вид опоры, подготовленной к испытаниям**



Для анализа процесса подъёма опоры при монтаже разработана компьютерная программа, позволяющая определить усилия во всех монтажных элементах и элементах опоры в любой момент подъёма 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 учёта при проектировании конструкций поддерживающего действия оставшихся неповреждёнными 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 расчётные нагрузки аварийного режима без видимых повреждений.

При учёте поддерживающего действия проводов и тросов аварийный режим перестаёт быть определяющим для назначения характеристик опоры, в данном 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 путём, 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 наблюдались.

На элементы железобетонных опор перед испытанием было нанесено защитное покрытие Steel-paint. Оно показало хорошую адгезию к поверхности железобетонных центрифугированных стоек. Это покрытие может быть использовано для придания опоре повышенных эстетических свойств. Будучи нанесённым 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.

Расчёты стоимости строительства ВЛ 500 кВ с использованием опоры 2 СПБ500-3В показали, что за счёт невысокой стоимости самих конструкций, общие затраты на каждый километр трассы существенно ниже, чем при использовании металлических решётчатых 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 использована при строительстве ВЛ 500 кВ «Ростовская — Андреевская — Тамань».



КОМТЕК

Тел./факс: +7 (495) 117-73-67, моб.: +7 (926) 128-01-23, e-mail: [lozinau@compltec.ru](mailto:lozinau@compltec.ru), [www.compltec.ru](http://www.compltec.ru)