

# Свободностоящие порталные опоры для ВЛ 220, 330, 500 кВ — новый виток развития железобетонных конструкций

УДК 621.315.668.2

**Статья посвящена анализу опыта разработки и использования железобетонных и металлических опор ВЛ, объединенных единой расчетной схемой: двухстоечные свободностоящие конструкции с горизонтальным расположением проводов и внутренними связями. Современные решения по изготовлению секционированных железобетонных опор и возможность установки их на фундаменты обеспечили их преимущество даже перед металлическими опорами этого типа за счет существенного сокращения затрат при строительстве и уменьшения проблем при эксплуатации.**

**Качановская Л.И.,**

к.т.н., заведующая  
НИЛКЭС ООО «ПО  
Энергожелезобетон-  
инвест»

**Касаткин С.П.,**

начальник сектора  
НИЛКЭС ООО «ПО  
Энергожелезобетон-  
инвест»

**Романов Ф.К.,**

ведущий инженер  
НИЛКЭС ООО «ПО  
Энергожелезобетон-  
инвест»

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ УНИФИЦИРОВАННЫЕ ОПОРЫ ТИПА ПВС**

Свободностоящие порталные опоры с внутренними связями впервые были разработаны в железобетонном варианте в начале 60-х годов.

Две центрифугированные стойки опоры объединялись горизонтальной траверсой и двумя внутренними тягами. Закрепление в грунте обеспечивалось за счет погружения нижних частей стоек в пробуренные котлованы.

До настоящего времени успешно эксплуатируются такие конструкции, например, на ВЛ 330 кВ Псковская ГРЭС — Новосokolьники, на ВЛ 500 кВ Тамбов — Пенза-2 и на ВЛ 750 кВ Запорожская АЭС — ПС «Запорожская». Стоимость железобетонных опор типа ПВС (портальных с внутренними связями) была существенно ниже существующих металлических аналогов.

Опыт применения таких опор выявил целую серию положительных факторов, уменьшающих проблемы в эксплуатации:

- отсутствие оттяжек существенно сокращает землеотвод под опору, при этом заботы о состоянии оттяжек снимаются с повестки дня служб эксплуатации;
- горизонтальное расположение проводов исключает возможность их схлестывания при пляске, обеспечивая надежную работу ВЛ;
- наличие внутренних связей между стойками позволяет понизить изгибающие моменты в теле стойки и с учетом этого факта сократить армирование по сравнению с одностоечными конструкциями;
- известная вандалоустойчивость центрифугированных железобетонных опор без оттяжек снимает проблемы сохранности конструкций в эксплуатации.

Массовое внедрение железобетонных опор на линиях электропередачи до середины 90-х годов прошлого века объяснялось их низкой стоимостью и общей установкой на экономию металла при строительстве. По данным ОРГРЭС протяженность линий на металлических и железобетонных опорах практически одинакова, а данные потока отказов по причине проблем с опорами сопоставимы.

**Ключевые слова:**

портальная опора ВЛ, железобетонная секционированная стойка, фундамент из центрифугированных секций

## МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МНОГОГРАННЫЕ ДВУХСТОЕЧНЫЕ ОПОРЫ

Аналогичная конструктивная схема была использована при разработке серии металлических опор из многогранного профиля для ВЛ 330–500 кВ в 2007–2009 годах в рамках НИОКР ФСК ЕЭС. Первые конструкции этой схемы были установлены на ВЛ 500 кВ Красноармейская — Газовая.

Широкое внедрение стальных многогранных опор было связано с возможностью поднять высоту подвески провода до уровня типовых решетчатых конструкций для обеспечения сопоставимых расчетных пролетов. За это приходилось «платить» увеличением нагрузок на фундаменты и, соответственно, стоимостью закрепления таких конструкций. Впервые конструктивно была выделена фундаментная часть опоры, что позволило выделить установку фундаментов в отдельный технологический цикл.



Рис. 1. Закладная деталь соединительного узла в арматурном каркасе стойки

## СОВРЕМЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ОПОРЫ ПОРТАЛЬНОГО ТИПА

### Секционированные железобетонные стойки

Железобетонные опоры прошлого века обеспечили решение проблемы сокращения стоимости строительства. В то же время они предъявляли очень высокие требования к транспортировке длинномерных (до 26 м) центрифугированных стоек. Организация перевозки вела к увеличению сроков подготовки к строительству, а несоблюдение правил транспортировки стоек могло привести к их повреждениям, что, в свою очередь, сказывалось на их долговечности.

Решение проблемы было найдено в 2013 году, когда первая железобетонная стойка, выполненная в секционированном варианте, была показана на Международной выставке «Электрические сети России – 2013». За разработку и продвижение стойки нового поколения разработчик был награжден дипломом I степени [1].

Современные железобетонные опоры, как и прежде, выполняются на базе центрифугированных стоек, изготавливаемых в конических или цилиндрических опалубках длиной 26 или 20 м соответственно. Для сокращения расходов на перевозку стоек они делятся на две секции, которые изготавливаются в одной опалубке, разделяются на момент транспортировки и соединяются между собой на строительной площадке при помощи болтов. Конструкция соединительного узла, помещаемого в опалубку перед центрифугированием, обеспечила выпуск готового изделия с внутренним фланцем, позволив отказаться от приварки внешних соединительных элементов на уже готовой стойке (рисунок 1).

Короткие секции становятся более жесткими, что обеспечивает их сохранность при транспортировке.

Повышенная долговечность новых конструкций обеспечивается за счет использования бетона повышенной класса прочности В60, водонепроницаемости не ниже W12 и морозостойкости не менее F<sub>1600</sub> по сравнению с В40, W6 и F<sub>150</sub>, заложенными в требованиях к стойкам прошлого века.

### Специальная программа для расчета предварительно напряженных центрифугированных железобетонных стоек кольцевого сечения

Разработанный в лаборатории программный продукт (рисунок 2) позволяет вычислять в каждом сечении стоек их несущую способность, деформации, прогиб, ширину раскрытия трещин. При этом, в отличие от методик прошлого века, работа каждого арматурного стержня учитывается индивидуально, исходя из его конкретных характеристик. Работа бетона учитывается по нелинейной модели материала. Наличие такого инструмента позволяет оптимизировать параметры стоек в зависимости от действительных нагрузок на конструкцию опоры, подбирая характеристики материалов, изменяя количество и место установки дополнительных арматурных стержней. Стойки нового поколения имеют повышенную несущую

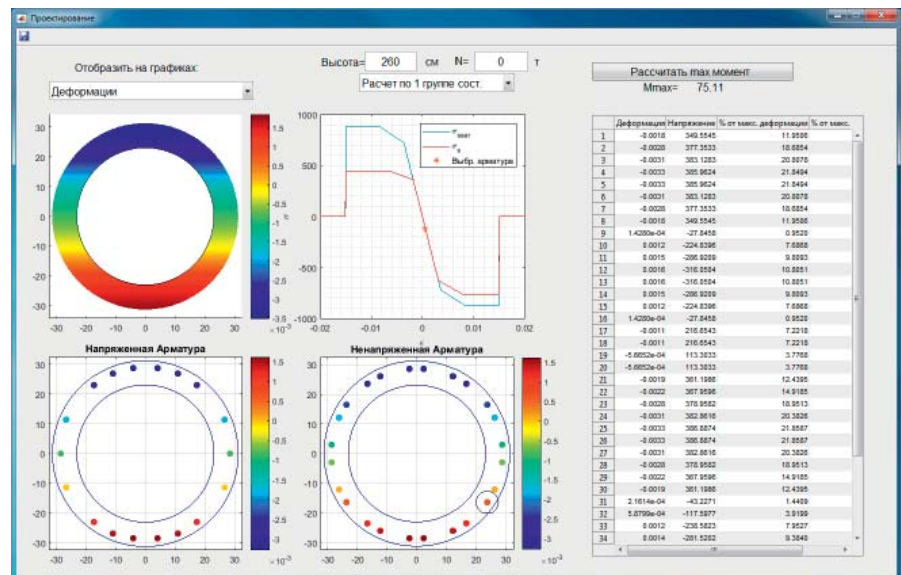


Рис. 2. Окно «Проектирование» в программе расчета центрифугированных стоек

щую способность за счет рационального выбора характеристик материалов, количества и параметров арматурных стержней. Расчетный момент на уровне 2,6 м от нижнего торца стойки составляет до 75 тм (в стойках, выпущенных по ГОСТ 22687-85, — до 58 тм).

### Фундаментные секции

Техническим прорывом можно считать организацию возможности установки стоек на фундаменты за счет установки в нижней части конструкции специальной закладной детали. В качестве основного решения для закрепления опор предложены фундаменты из цилиндрических центрифугированных секций диаметром 800 мм (рисунок 3). Изготавливаемые в опалубках длиной 20 м, они могут иметь длину 5 или 6,7 м. Такие размеры фундаментных секций, в отличие от типового закрепления нижней части стоек диаметром 650 мм на глубину 3,3 м, позволяют воспринять повышенные нагрузки и в большинстве случаев для промежуточных опор отказаться от ригелей.

Установка стойки на фундамент поднимает уровень подвески проводов, практически достигая отметок, принятых в конструкциях металлических опор.

### Конструктивные особенности порталных опор с внутренними связями

Все эти технические и технологические возможности позволили разработать современные железобетонные конструкции свободностоящих порталных опор с внутренними связями для линий напряжением 500, 330 и 220 кВ, схемы которых представлены в таблице 1.

Опоры 2СПБ500-3В и 2СПБ330-5В выполнены для условий нового строительства.

Нестандартную задачу удалось решить, применив указанную схему для опоры 2СПБ220-1В, которую будут использовать для замены вышедших из эксплуатации металлических решетчатых опор типа «Рюмка» и двухстоечных свободностоящих конструкций прошлого века.

Все три опоры имеют единую схему: две конические центрифугированные секционированные стойки длиной 26 м (нижний диаметр — 650 мм) установлены на цилиндрические секции диаметром 800 мм при помощи специальных закладных металлических деталей в узле соединения стойки с фундаментом.

Горизонтальная траверса позволяет разместить все три фазы в одном уровне, исключив проблемы схлестывания проводов. Расстояния между стойками и размеры металлических элементов



Рис. 3. Узел соединения стойки с фундаментом

Табл. 1. Расчетные параметры железобетонных порталных опор ВЛ 500, 330, 220 кВ

Схема опоры			
Марка опоры	2СПБ500-3В	2СПБ330-5В	2СПБ220-1В
Район по ветру	II ( $W_0 = 500$ Па)	IV ( $W_0 = 800$ Па)	I ( $W_0 = 400$ Па), II ( $W_0 = 500$ Па), III ( $W_0 = 650$ Па)
Район по гололеду	III ( $b_3 = 20$ мм)	VI ( $b_3 = 35$ мм), VII ( $b_3 = 40$ мм), особый ( $b_3 = 45$ мм)	I ( $b_3 = 10$ мм), II ( $b_3 = 15$ мм), III ( $b_3 = 20$ мм)
Провод	3×АС 300/66	2×АТЗП/С 300/67	АС 330/66, АС 400/51, АС 400/64, АС 400/93, АС 500/66
Трос	АС 70/72	ГТК20-0/90-12.1мм- 53кА <sup>2</sup> ·с-111кН	11-М3-В-ОЖ-Н-Р



опоры выбраны по результатам расчета для условий эксплуатации конкретных ВЛ.

Для удобства монтажа опор к металлическим элементам в верхней части фундамента и нижней части стойки опоры приварены специальные петли для организации шарнира, используемого при подъеме опоры методом падающей стрелы.

Опытный образец опоры этого типа прошел испытания на полигоне ОРГРЭС. Конструкция аттестована в ПАО «Россети» [2].

#### **Обеспечение безопасной эксплуатации опор**

Особое внимание при разработке опоры уделено вопросам удобства эксплуатации конструкции. В соответствии с современными требованиями по охране труда для безопасного подъема на опору одна из стоек оснащается лестницей, имеющей анкерные точки в виде открытых петель, позволяющих организовать безопасный подъем рабочих при помощи гибкой анкерной линии. Для перемещения по траверсе используется настил из просечно-вытяжного листа. Вдоль всей траверсы устанавливаются поручни. На постоянной основе в местах проведения работ по замене изоляторов устанавливаются монтажные петли, предусматриваются места крепления струбцин для фиксации заземляющих штанг.

Элементы монтажного шарнира в нижней части стойки, первоначально предназначенные для установки опоры, будут в дальнейшем использоваться для крепления технологической оснастки при подъеме на опору оборудования, необходимого для работ по обслуживанию элементов ВЛ.

#### **Области применения новых опор портального типа**

Условия применения опор, на которые они рассчитаны, указаны в таблице 1.

При необходимости использования аналогичных опор на другие нагрузки целесообразно модифицировать конструкцию, уточнив, в основном, характеристики металлических элементов опоры.

Опора 2СПБ500-3В разработана для ВЛ 500 кВ Донская АЭС — Старый Оскол-2 (рисунок 4). Установка опор завершилась в январе 2019 года [3]. Опора 2СПБ330-5В — для ВЛ 330 кВ ГЭС-2 — Машук. Строительство объекта запланировано на 2020 год.

Опора 2СПБ220-1В будет использоваться для замены целой серии металлических опор, находящихся в эксплуатации более 50 лет. В том числе: ПВ-1, ПШ-1, ПШ-2 (типа «Рюмка») и ПМО-1 (портальная на оттяжках) с высотой подвески проводов 25,3 м.

#### **Эффект от применения современных портальных опор**

Оценка технико-экономического эффекта от использования железобетонных опор показывает, что в новом строительстве стоимость конструкций на ВЛ в 1,3 раза меньше, чем при использовании опор на оттяжках и в 2 раза ниже по сравнению с применением свobodностоящих решетчатых конструкций.

Замена вышедших из эксплуатации металлических опор с горизонтальным расположением проводов на железобетонную портальную опору 2СПБ220-1В позволяет использовать один тип опоры для замены целой серии устаревших конструкций, эксплуатируемых в широком диапазоне нагрузок с различными проводами.



Рис. 4. Опоры 2СПБ500-3В на ВЛ 500 кВ Донская АЭС — Старый Оскол-2

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Качановская Л.И., Романов П.И., Касаткин С.П. Современные проекты секционированных железобетонных опор для уменьшения стоимости воздушных линий электропередачи // Энергетик, 2020, № 1. С. 3–9.
2. Качановская Л.И., Романов П.И., Касаткин С.П. Железобетонная опора из секционированных центрифугированных стоек для ВЛ 500 кВ // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2015, № 6(33). С. 66–69.
3. Kachanovskaya L., Romanov P., Kasatkin S., Sboychakova T. Sectionalized Reinforced Concrete Power Transmission Poles for Reducing Overhead Lines Cost, and Modern Projects of Power Transmission Poles as a Basis for Digital Network Space Formation / Overhead Transmission Lines 24th World Energy Congress Special issue, September 2019, pp. 36-37.