

# Триумфальное возвращение железобетона в электросетевое строительство

ВОЗДУШНЫЕ ВЛ ЭЭП

155%  
расчетной  
нагрузки

Ранее на страницах этого журнала\* мы уже поднимали тему необходимости применения в электросетевом строительстве железобетонных конструкций как наиболее экономически выгодных, спроектированных и изготовленных с учётом современного развития технологий и устранёнными недостатками. Сегодня мы решили вернуться к этой теме, тем более что результаты, полученные за прошедший год показывают: благодаря использованию компьютерного моделирования и отлаженной технологии процесса производства железобетонной секционированной центрифугированной опоры, соответствующей современным нормам, от постановки задачи до испытания опытного образца уходит меньше месяца. Фактически применение такого подхода позволяет для любых условий разрабатывать уникальную опору и создавать широкую унификацию железобетонных опор.

Любовь КАЧАНОВСКАЯ, к.т.н., зав. лабораторией НИЛКЭС,  
Пётр РОМАНОВ, к.т.н., зам. заведующего лабораторией НИЛКЭС,  
Сергей КАСАТКИН, главный специалист лаборатории НИЛКЭС,  
Филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» — СибНИИЭ

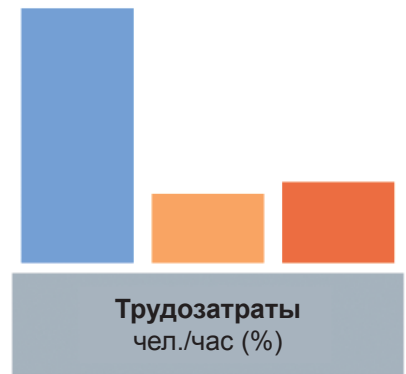
**П**о заказу ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» в НИЛКЭС была разработана железобетонная порталная свободностоящая опора СПБ500-0 из секционированных центрифугированных стоек, полностью соответствующая требованиям современных норм.

В конце апреля на полигоне в Хотьково были проведены механические испытания опытных образцов железобетонных секционированных центрифугированных стоек СЦС20 производства ООО «Рыбинскэнергожелезобетон». Испытания показали, что опытные образцы железобетонных секционированных стоек соот-

\*) Новое поколение опор ВЛ на базе секционированных железобетонных стоек, № 2 (23), март-апрель, 2014 г., с. 104—107.

Табл. Сравнительные характеристики для одного анкерного пролёта протяжённостью 10 км

ПП500-5-У2				СПБ500-0				2МП500-7В			
Площадь землеотвода, м <sup>2</sup>											
Район по ветру (Па) — III (650 Па)											
Провод: марка — АС300/66, макс. напряжение — 126,4 Н/мм <sup>2</sup>											
Трос: марка — ОКГТс-13,3/96, макс. напряжение — 301,0 Н/мм <sup>2</sup>											
Район по гололёду и толщина стенки гололёда, мм											
IV (25)		V (30)		IV (25)		V (30)		IV (25)		V (30)	
Габариты до земли, м											
10	12	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12
Пролёты, м											
335	315	300	285	335	315	300	285	287	260	255	235
Количество опор на 10 км, шт.											
34	36	38	40	34	36	38	40	40	44	45	49



Трудозатраты чел./час (%)



Стоимость строительства тыс. руб. (%)

113 148,60 (204%) 55 460,80 (100%) 92 216,00 (166,27%)

При габаритах до земли 12 метров на участке 10 км железобетонная опора СПБ500-0 значительно выигрывает у многогранной опоры за счёт своей большей высоты, а у решётчатой за счёт меньшего землеотвода.

ветствуют требованиям норм (протокол № 2015.114.023).

При проектировании опоры СПБ500-0 за аналог взяли решётчатую порталную опору на оттяжках ПП500-5. Известно, что данная опора имеет минимальный вес и очень хороший пролёт, а также отлично зарекомендовала себя в эксплуатации. Железобетонная опора создана для тех же климатических условий, марки провода и троса.

Кроме этого, для сравнения была взята уже существующая для тех же условий порталная свободностоящая многогранная опора 2МП500-7В.

В таблице приведены сравнительные экономические и техни-

ческие показатели трёх указанных типов опор для 10 км участка ВЛ 500 кВ при габарите между проводом и землёй равным 10 м. Коэффициент использования пролёта для определения количества опор принят равным 0,85.

**Площадь землеотвода** под конструкции свободностоящих опор в 4 раза меньше аналогичного показателя для опор на оттяжках. Кроме того, внутренние ветровые связи не ограничивают проход сельскохозяйственной техники, тогда как наличие четырёх расщеплённых оттяжек у решётчатой опоры увеличивает вероятность разрушения конструкции.

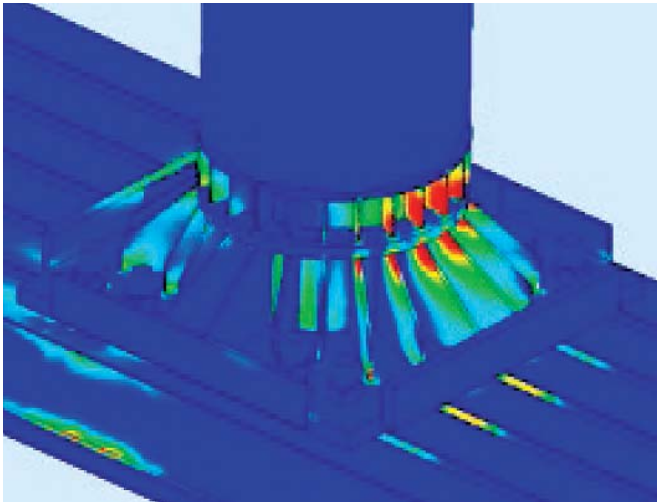
Меньшие **трудозатраты** связаны с тем, что конструкция

двухстоечных опор, в отличие от решётчатой, требует в 2 раза меньше котлованов и фундаментных элементов. Кроме того, чтобы собрать двухстоечную опору требуется закрутить в 10 раз меньше болтов, чем при сборке решётчатой (200 против 2000).

**Стоимость строительства** напрямую связана со стоимостью самих конструкций.

По конструктивной схеме свободностоящие опоры аналогичны между собой, однако на участке в 10 км железобетонных опор СПБ500-0 устанавливается меньше за счёт большего пролёта (высота подвески провода выше). При этом основная выгода достигается за счёт используемого материала:

**Рис. 1. Эпюры напряжений в металлических закладных деталях, полученные при компьютерном моделировании**



железобетонные секции всегда втрое дешевле металлических.

В процессе проектирования опоры СПБ500-0 были учтены основные преимущества железобетонных конструкций и устранены недостатки, возникающие в процессе эксплуатации.

Секционирование длиномерных элементов исключает проблемы транспортировки конструкции, как по дорогам общего назначения, так и по трассе ВЛ.

Автоматизация процесса изготовления бетонного раствора и отлаженная технология производства повысили стабильность показателей качества бетонных стоек.

Для создания новой элементной базы для опор ВЛ напряжением 35—750 кВ предложено применить секционирование и использовать имеющийся в стране парк конических (длиной 22 и 26 м) и цилиндрических (длиной 20 м) опалубок для центрифугированных стоек. За счёт введения закладных деталей в опалубку в период сборки арматурного каркаса получена возможность изготавливать в одной форме несколько элементов (секций). Разработанная конструкция закладной детали позволяет устанавливать её (одну или несколько) в любом сечении опалубки, тем самым получая модули любой длины, требуемой для конструирования опор.

Расположение закладных деталей обеспечивает их перпендикулярное положение относительно продольной оси стойки, что в свою очередь гарантирует прямолинейность собираемых элементов опоры.

Железобетонные центрифугированные секции, имеющие с двух торцов закладные детали для соединения их между собой на строительной площадке, являются элементной базой для проектирования опор.

Для увеличения надёжности закрепления опор используются отдельные фундаментные железобетонные элементы диаметром 800 мм. Глубина заделки может варьироваться в зависимости от нагрузок и грунтовых условий по трассе ВЛ. Такой подход позволяет во всех случаях отказаться от применения ригелей. Кроме того, использование фундаментных

секций позволяет дополнительно варьировать высоту подвески провода на опоре за счёт изменения длины секций.

Армирование элементов подбирается в зависимости от усилий, которые им предстоит воспринимать в конструкции опоры. Для подбора армирования разработана специальная программа. Расчёт ведётся в соответствии со СНиП 52-01-2003.

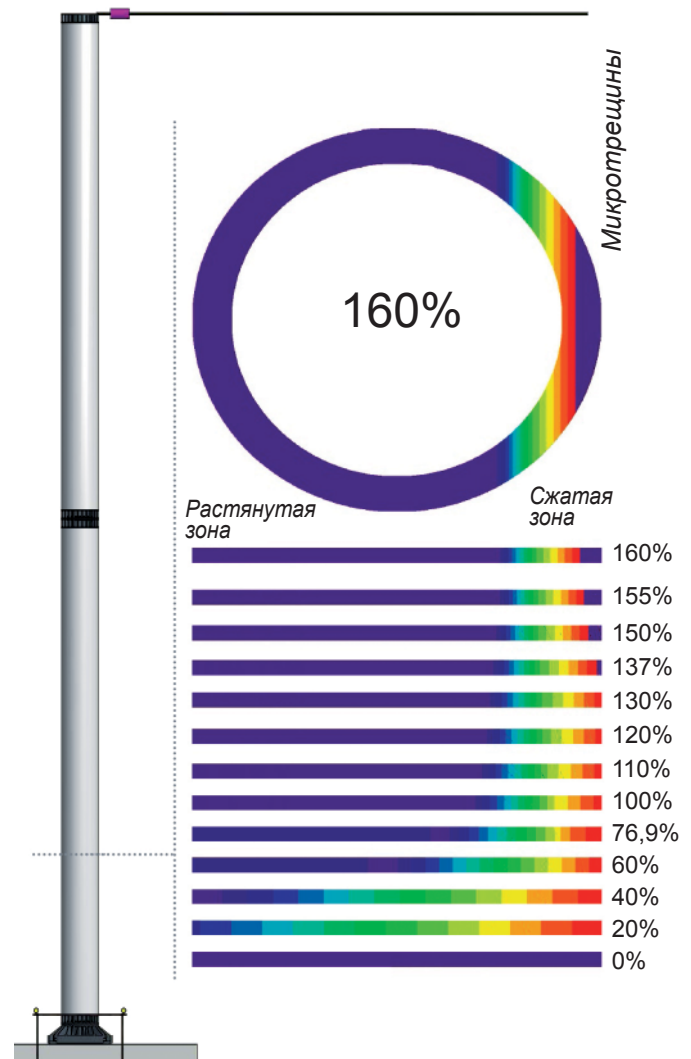
В процессе работы над опорой было выполнено компьютерное моделирование закладных металлических деталей (рис. 1) и железобетонных секционированных стоек (рис. 2).

На эпюрах напряжённого состояния бетона для расчётного сечения стойки приведены величины растянутой и сжатой зоны сечения в зависимости от приложенной нагрузки. Расчётами получены участки образования микротрещин перед разрушением. В апреле 2015 года на полигоне в Хотьково прошли испытания отдельных элементов секционированных стоек, разработанных для конструкций опор 500 кВ. Секции изготовлены на Рыбинском заводе железобетонных конструкций.

В процессе испытаний варьировались конструктивные варианты закладных деталей секций и использование бетонов классов прочности В40 и В60.

Разрушение секций произошло при 150—160% уровне расчётных нагрузок (нормы предписывают

**Рис. 2. Эпюры напряжённого состояния бетона**



**Рис. 3. Разрушение стойки при нагрузке в 160% от расчётного значения. Полигон в Хотьково 24 апреля 2015 года**




140%), что говорит о возможности оптимизации армирования при создании стоек для конкретных опор (рис. 3).

Вопрос установки опоры на трассе обсуждался со специалистами, имеющими большой опыт монтажа двустоечных многогранных опор. Установка с помощью падающей стрелы двустоечных опор большей массы не приведёт к изменению или усложнению процесса (рис. 4).

Экономическая эффективность железобетонных опор для ВЛ напряжением 500 кВ, спроектированных и изготовленных с учётом современного развития технологий и устранённых недостатков в основном складывается из экономии за счёт меньшей стоимости железобетонных элементов по сравнению с металлическими, а так же благодаря сокращению трудозатрат при строительстве на трассе.

Использование элементной базы железобетонных центрифугированных стоек (рис. 5) даёт возможность в кратчайшие сроки конструировать опоры как для любых сочетаний ветровых и гололёдных районов, так и для любых габаритов провода до земли.

Результаты испытаний с высокой точностью подтвердили прогнозируемые технические параметры конструкций: отклонение элементов при заданных нагрузках, момент трещинообразования и разрушающий момент в заделке. Этот факт свидетельствует о правильно выбранном алгоритме построения расчётных программ.

Процесс разработки, изготовления и испытания новой опоры для заданных условий эксплуатации теперь будет занимать меньше месяца. 

**Рис. 4. Процесс подъёма опоры**



**Рис. 5. Элементная база опоры**

Элементная база для опоры СПБ500-0

