

DOI: 10.34831/EP.2020.74.33.001

## Современные проекты секционированных железобетонных опор для уменьшения стоимости воздушных линий электропередачи

КАЧАНОВСКАЯ Л. И., канд. техн. наук

РОМАНОВ П. И., канд. техн. наук

КАСАТКИН С. П.

Научно-исследовательская лаборатория конструкций электросетевого строительства ООО «ПО "Энергожелезобетонинвест"»

191036, Санкт-Петербург, Невский просп., 111/3, оф. 327

info@nilkes.ru



Л. И. Качановская



П. И. Романов



С. П. Касаткин

Статья посвящена вопросам возвращения на линии электропередачи современных вариантов железобетонных опор, долговечность которых сопоставима со сроками службы металлических конструкций, а стоимость вдвое ниже.

Секционированные варианты центрифугированных стоек упрощают транспортировку, а новые решения по установке опор на фундаменты поднимают высоту подвески проводов, что позволяет новым опорам эффективно заменять металлические конструкции более, чем в 60 % случаев.

Современные проекты опор воздушных линий могут быть включены в единое цифровое пространство CIM-модели электрической сети, где на протяжении всего жизненного цикла объекта будет присутствовать необходимая и актуальная информация, которую могут использовать все заинтересованные подразделения.

**Ключевые слова:** секционированная стойка, железобетонная опора, фундамент, типовое проектирование, информационная модель.

Практически половина длины всех воздушных линий (ВЛ) в нашей стране построена с использованием железобетонных опор из центрифугированных стоек. Их массовое внедрение на ВЛ 35 – 750 кВ началось с разработки серии типовых унифицированных конструкций на базе стоек с напрягаемой арматурой. Параметры стоек, оптимизированных с учётом опыта эксплуатации, закреплены в ГОСТ 22687. Таким образом, в середине прошлого века была решена задача сокращения металлоёмкости, а значит и стоимости линий электропередачи.

Центрифугирование железобетона позволило добиться высокой степени

уплотнения материала, использование предварительного напряжения арматуры обеспечило повышенную жёсткость стоек. Данные о параметрах потока отказов опор более, чем за 40-летний период, обработанные ОАО «Фирма ОРГРЭС», свидетельствуют о равной надёжности металлических и железобетонных конструкций.

Сокращение объёмов использования железобетонных опор в начале 2000-х годов связано как с реальными сложностями по доставке на трассу длинномерных стоек (до 26 м), так и с выходом в 2003 г. седьмой редакции Правил устройства электроустановок, после публикации которых все типовые про-

екты, не соответствующие новым требованиям, утратили возможность «проектной привязки» без перерасчёта. Отсутствие типовых проектов и необходимость резкого сокращения длины пролётов железобетонных опор при перерасчётах для требуемого нормами повышенного уровня надёжности ВЛ, поставило эти конструкции в невыгодное положение по сравнению с многогранными опорами, рассчитанными с учётом ПУЭ-7.

### Современные технические решения по секционированию стоек

Новые разработки позволили решить обе задачи (упрощения транспортирования и повышения надёжности железобетонных конструкций).

В 2013 г. были разработаны и испытаны первые образцы стоек, изготовленные из двух секций [1].

Золотая медаль на выставке «Электрические сети России» и одобрение данного направления ПАО «Россети» стали отправной точкой для разработки серии опор на базе секционированных центрифугированных стоек. Первоначально внешний фланец для соединения секций (рис. 1) был заменён на внутренний, который помещался в опалубку перед центрифугированием (рис. 2).

Отказ от приварки фланцев после изготовления стоек позволил обеспечить выпуск полностью готового изделия, а также соосность верхней и нижней секций. Современные стойки по-прежнему изготавливаются в конических или цилиндрических опалубках длиной 26 и 20 м соответственно. Короткие секции обладают повышенной жёсткостью, не повреждаются при транспортировании и легко соединяются между собой при помощи болтов на монтажной площадке.

Такое решение проверено испытаниями известных конических стоек длиной 26 м, выполненных в секционированном варианте.

По данным заводов-изготовителей, стоимость доставки автотранспортом старой конической стойки длиной 26 м сокращается в три – четыре раза при исполнении её аналога в секционированном варианте (две секции по 13 м). При этом отсутствует необходимость оформления разрешения на перевозку негабаритной продукции спецтранспортом, срок получения которого состав-



Рис. 1. Внешний фланец для соединения секций стойки (первоначальный вариант)



Рис. 2. Внутренний фланец для соединения секций (типовое решение)

ляет порядка двух недель. Стоимость доставки железнодорожным транспортом существенно снижается за счёт отказа от использования турникетов и сцепов из двух платформ.

### Этапы внедрения современных опор в строительство

К настоящему времени совместными усилиями Группы компаний ПАО «Россети» и разработчиков конструкций выполнен комплекс работ по подготовке широкого использования новейших разработок:

- Введены в действие «Нормы технологического проектирования ВЛ напряжением 35 – 750 кВ» (СТО 56947007-29.240.55.192–2014), которые предусматривают применение на ВЛ 35 – 500 кВ железобетонных опор из секционированных стоек.

- Внесены рекомендации по использованию железобетонных опор из секционированных стоек для ВЛ 110 – 750 кВ в Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе».

- Введён в действие СТО 56947007-29.29.120.90.247–2017 «Железобетонные опоры ВЛ 35 – 750 кВ на базе центрифугированных секционированных стоек. Технические требования».

- Накоплен опыт использования унифицированных железобетонных опор, модифицированных на базе типовых стоек в секционированном варианте, при техническом перевооружении существующих ВЛ на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» [2].

- Разработан первый современный типовой проект железобетонных опор из секционированных стоек для ВЛ 110 кВ. В 2018 г. результаты работы, выполненной по заказу ПАО «Ленэнерго», занесены в реестр Инновационных решений ПАО «Россети» (№ 18-027-0067/1), в 2019 — удостоены дипломов лауреатов национального этапа конкурса «Сделано в России» и Международного конкурса научно-

технических и инновационных разработок Минэнерго ТЭК-2019 [3].

- В рамках конкретных проектов разработаны более 20 типов новых опор для ВЛ 220, 330, 500 кВ. В их числе и опора 2СПБ500-3В, спроектированная для работы в условиях высоких ветровых и гололёдных нагрузок. В январе 2019 г. пять промежуточных порталных свободностоящих опор этого типа установлены на ВЛ 500 кВ «Донская АЭС – Старый Оскол 2».

- Решением Научно-технического совета ПАО «Россети» одобрены направления научных исследований ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» в области разработки железобетонных опор ВЛ из центрифугированных секционированных стоек и рекомендована подготовка заявки на проведение НИОКР по теме «Разработка унифицированных железобетонных опор ВЛ 220 – 500 кВ из центрифугированных секционированных стоек».

Серия новых конструкций будет разрабатываться на основании опыта вышеуказанных разработок.

### Железобетонные секционированные стойки для замены опор ВЛ

Для замены старых опор и создания аварийного резерва ПАО «Россети» и ПАО «ФСК ЕЭС» рекомендуют использовать секционированные аналоги находящихся в эксплуатации железобетонных опор на базе конических стоек типа СК22 и СК26. Плановая работа по установке новых опор проводится в МЭС Центра, МЭС Северо-Запада, МЭС Волги, МЭС Урала, МЭС Юга с 2015 г. Секционированные стойки изготавливают на заводах ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» в городах Рыбинске, Волгограде, Гулькевичах Краснодарского края, каждый из которых аттестован на их производство в ПАО «Россети».

Новые секционированные опоры, выборочно устанавливаемые взамен вышедших из эксплуатации, формально

рассчитаны на восприятие тех же нагрузок. Однако, кроме указанной возможности легко перевозить отдельные жёсткие секции без повреждений, они обладают существенным преимуществом: во всех конструкциях используется канатное армирование, позволяющее за счёт предварительного натяжения повысить трещиностойкость, а использование бетона повышенного класса прочности (В60 вместо В40 или В30), водонепроницаемости (W14 вместо W8) и морозостойкости (F<sub>1400</sub> и выше вместо F<sub>1200</sub>) повышает долговечность стоек до 70 лет, что практически исключает потребность в их ремонте при эксплуатации (рис. 3). В 2019 г. ПАО «ФСК ЕЭС» заменило шесть промежуточных опор на магистральных линиях электропередачи 220 кВ «Черепетская

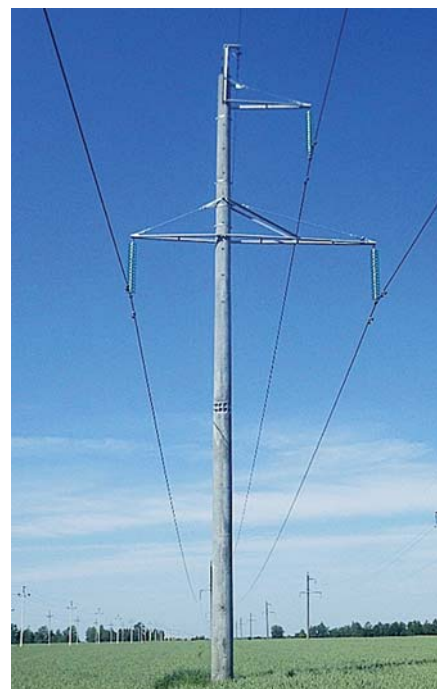


Рис. 3. Промежуточная железобетонная опора марки ПБ220-1(с) на ВЛ 220 кВ Тамбовская — Иловаяская

Напряжение ВЛ (кВ)	110			
Цепность	Одноцепные			
Тип опоры	Промежуточные		Промежуточные повышенные	
Район по ветру ( $W_0$ , Па)	2-3 (500-650)	2-3 (500-650)	2-3 (500-650)	2-3 (500-650)
Район по гололеду ( $l_0$ , мм)	2-3 (15-20)	2-3 (15-20)	2-3 (15-20)	2-3 (15-20)
Марки проводов	АС 95/16 АС 120/19	АС 150/24 АС 185/29 АС 240/32	АС 95/16 АС 120/19	АС 150/24 АС 185/29 АС 240/32
Марка грозозащитного троса	9,2-МЗ-В-ОЖ-Н-Р			
Эскиз опоры				
Марка опоры	СПБ110-1	СПБ110-3	СПБ110-5Ф	СПБ110-7Ф
Монтажная схема	16.006-1.5.003	16.006-1.5.004	16.006-1.5.005	16.006-1.5.006
Масса железобетона, т	6,91	7,01	7,28	7,35
Масса металлических конструкций, кг	523	508	622	663
Марка секционированных стоек	СКЗ260.65-1	СКЗ260.65-3	СКЗ260.65-5	СКЗ260.65-7

Рис. 4. Обзорный лист одноцепных промежуточных опор

ГРЭС – Электрон» и «Брянская – Литейная с отпайкой на ПС Войлово» в Калужской области.

### Новые типовые железобетонные опоры ВЛ 110 кВ из секционированных стоек

Для широкого использования железобетонных опор в новом строительстве в рамках НИОКР ПАО «Ленэнерго» разработана серия унифицированных конструкций для ВЛ 110 кВ. Полноценный типовой проект включает в себя конструкторскую документацию на 23 типа опор, в том числе 8 промежуточных и 15 анкерных в одноцепном и двухцепном исполнении. В целях минимизации материала и стоимости опор все конструкции разработаны в двух вариантах для групп проводов различной прочности (рис. 4).

Промежуточные опоры выполнены на базе конических стоек типа СКЗ6 (из двух секций длиной по 13 м), нижний диаметр которых составляет 650 мм, верхний — 410 мм. Для более нагруженных анкерных опор используются цилиндрические стойки диаметром 800 мм, изготавливаемые в опалубках длиной 20 м (две секции по 10 м).

В отличие от известных типовых проектов, в которых анкерные опоры были рассчитаны на максимальный (обычно 60°) угол поворота трассы ВЛ, для каждой конструкции нового проекта указаны максимальные по несущей способности углы поворота ВЛ в зависимости от сочетания климатических условий,

проводов и троса. Такой подход позволяет при расстановке опор не использовать тяжёлые конструкции там, где можно обойтись их облегчённым вариантом.

### Фундаменты для современных железобетонных опор

Существенным достижением явилось решение об установке стоек на фундаментные секции из цилиндрических железобетонных свай-оболочек диаметром 800 мм. Предложенная конструкция фланцевого узла соединения опор с фундаментами (рис. 5) позволила поднять высоту подвески проводов,

увеличить пролёты и сократить общее количество опор на километр трассы ВЛ. По этому параметру железобетонные опоры стали сопоставимы с металлическими. Для восприятия повышенных в таком случае нагрузок несущая способность стоек была усилена за счёт выбора системы армирования и применения бетонов повышенной прочности. Максимальный момент в заделке новых конических стоек достигает 75 тм, цилиндрических — 130 тм (в отличие от 55 и 100 для стоек, изготавливаемых по ГОСТ 22687-85 и типовым сериям).

Нагрузки на фундаменты приведены для каждой анкерной опоры с шагом

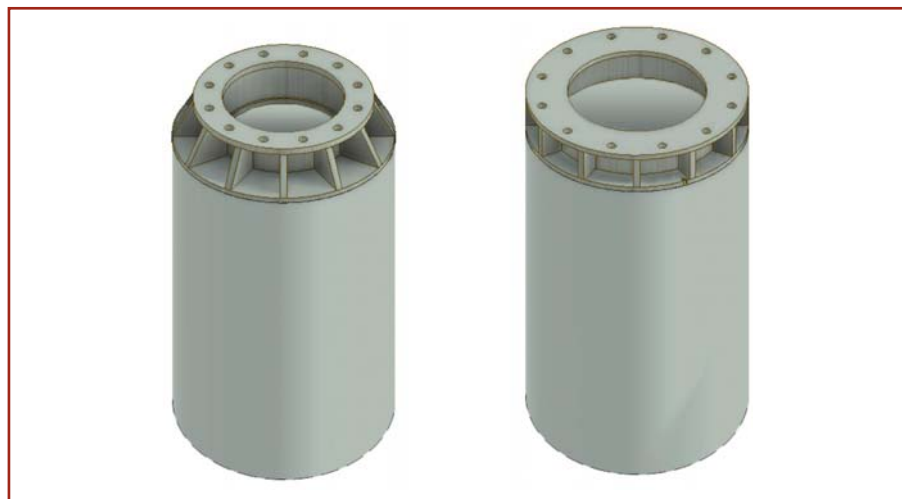


Рис. 5. Узлы соединения фундаментных секций с промежуточными и анкерно-угловыми железобетонными опорами



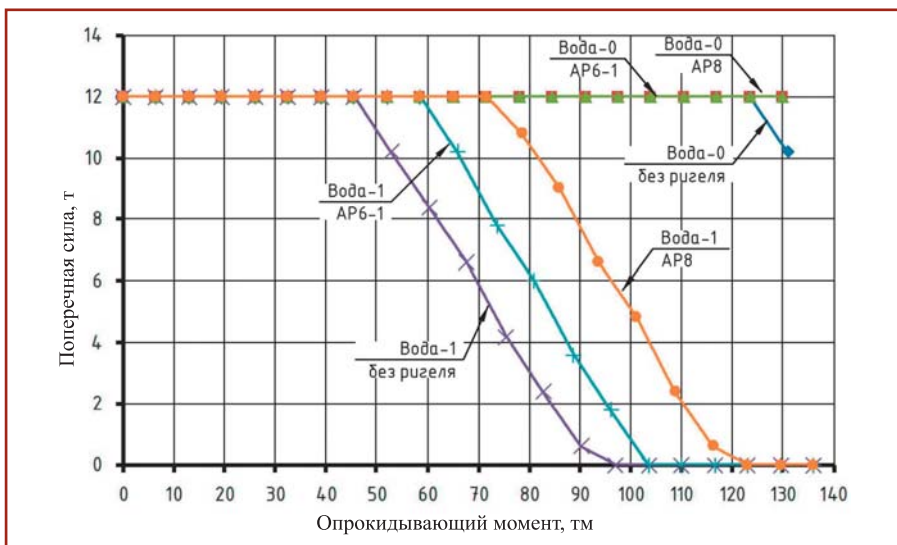


Рис. 6. График несущей способности по грунту для фундамента под промежуточную опору длиной 5 м



Рис. 7. Переходной элемент для закрепления многогранных опор на железобетонном фундаменте

10°, что позволит оптимальным образом подбирать её закрепление в зависимости от реального угла её установки на трассе.

В отличие от типовых решений по закреплению железобетонных опор, предусматривающих погружение нижней части стойки в пробуренный котлован на глубину 3,3 м, современные промежуточные опоры заглубляются в грунт минимум на 4,0 м, а анкерные — на 4,5 м. Повышенные опоры устанавливаются на фундамент, длина которого (5 или 6,7 м) может быть выбрана в зависимости от характеристик грунта в точке установки. Увеличение глубины заделки опор, устанавливаемых в пробуренный котлован, или использование фундаментных секций диаметром 800 мм существенно улучшают несущую способность фундаментов, позволяя в большинстве случаев (сочетание грунтов и нагрузки) отказаться от дополнительной установки ригелей на промежуточных опорах при безусловном обеспечении прочности закрепления на весь срок службы опор.

Для упрощения процесса подбора фундаментов для всей трассы ВЛ разработана серия графиков, по которым может быть сделан выбор необходимого типа закрепления в зависимости от характеристик грунтов в месте установки конкретной опоры и нагрузок на фундаменты. Для каждого из 56 грунтов, характеристики которых приведены в СП 22.13330 «Основания зданий и сооружений», разработаны по четыре графика несущей способности: для фундаментных секций длиной 5 и 6,7 м отдельно для анкерно-угловых и для промежуточных опор. Расчёты выполнены по алгоритму, описанному в пособии к СНиП «Основания и фундаменты», а графики построены с помощью электронных таблиц. Пример графика

для определения несущей способности по грунту для фундаментной секции под промежуточную опору длиной 5 м и диаметром 800 мм приведён на рис. 6. По значениям поперечной силы и изгибающего момента легко выбрать тип заделки: без ригеля, с ригелем AP6 или AP8. Приведены варианты для обводнённых и необводнённых грунтов.

Таким образом, выбор схемы фундамента под каждую стойку становится простым, рассчитанным по единой методике и, в то же время, индивидуальным для каждой опоры. Это позволит выбрать для опор всех ВЛ оптимальные, а значит экономически обоснованные решения по закреплению опор.

Целесообразность использования именно железобетонных фундаментов обосновывается высокой коррозионной стойкостью железобетонных секций, которая подтверждена многолетней практикой эксплуатации центрифугированных стоек в грунтах разной степени агрессивности. Повышенная долговечность (не менее 70 лет) гарантируется использованием современных технологий по подбору состава бетона, режимов центрифугирования, тепловлажностной обработки и конструктивных решений по разработке узлов соединения секций между собой и стоек с фундаментами.

При указанных выше характеристиках бетона центрифугированных стоек и фундаментных секций любая грунтовая среда к бетону становится неагрессивной, и фундаменты не требуют организации вторичной защиты от коррозии (нанесения защитных покрытий на бетонную поверхность стойки).

В большинстве случаев промежуточные опоры не требуют установки ригелей. Наличие закладной детали в нижней части стойки позволяет установить такую опору на любой свайный фунда-

мент, ростверк которого имеет ответный фланец. Такие решения целесообразны для закрепления конструкций в сложных геологических условиях. В слабых грунтах могут быть использованы широколопастные винтовые сваи, в скальных грунтах – буронабивные.

### Железобетонные фундаменты для многогранных опор

Необходимо отметить потенциальную возможность расширения области использования железобетонных фундаментов. Они могут применяться для закрепления опор из многогранного профиля при помощи переходного элемента (рис. 7). Такие железобетонные сваи-оболочки будут вдвое дешевле



Рис. 8. Лестница опоры с анкерными петлями

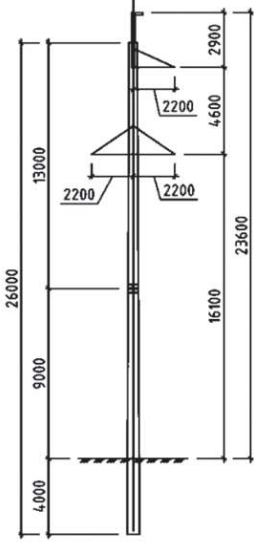
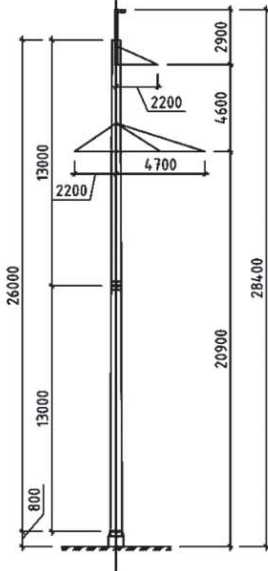
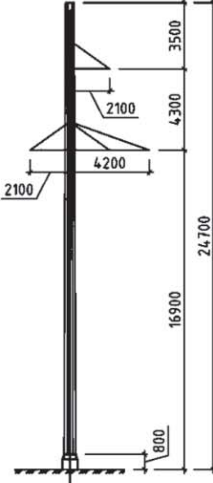
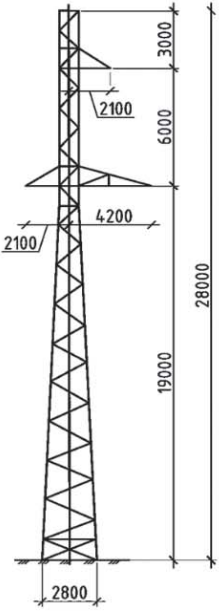
Железобетонные опоры		Стальные опоры	
Новые секционированные		Многогранная	Решётчатая
ПУЭ-7		ПУЭ-7	ПУЭ-6
			
<b>СПБ110-3</b>	<b>СПБ110-7Ф</b>	<b>ПМ110-1Ф</b>	<b>П110-5В</b>

Рис. 9. Схемы одноцепных опор, принятых для сравнения

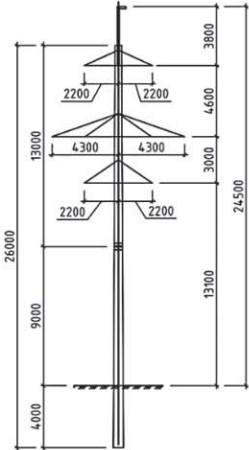
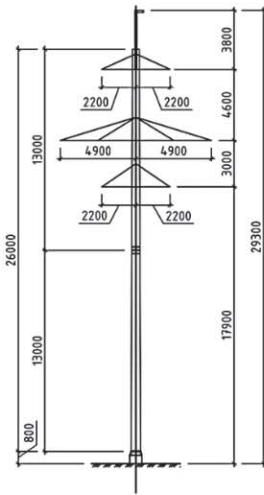
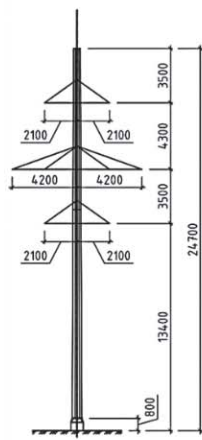
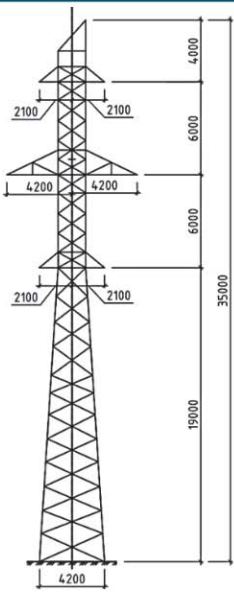
Железобетонные опоры		Стальные опоры	
Новые секционированные		Многогранная	Решётчатая
ПУЭ-7		ПУЭ-7	ПУЭ-6
			
<b>СПБ110-4</b>	<b>СПБ110-8Ф</b>	<b>ПМ110-2Ф</b>	<b>П110-6В</b>

Рис. 10. Схемы двухцепных опор, принятых для сравнения

металлических фундаментов из труб сопоставимого диаметра.

Для реального использования типового проекта при новом строительстве разработана серия нормативных документов, включающая технологические карты на монтаж и инструкцию по эксплуатации секционированных конструкций.

Все типы опор ВЛ 110 кВ испытаны на полигоне ОАО «Фирма ОРГРЭС» в Хотьково. Все заводы-изготовители аттестованы на право их изготовления в ПАО «Россети».

Для обеспечения безопасности работ на высоте все опоры оснащены лестницами на всю высоту стойки, конструкция которых снабжена анкерными петлями открытого типа для организации гибких анкерных линий и предусматривает возможность установки жестких анкерных линий в необходимых случаях (рис. 8).

### Технико-экономическое обоснование

Технико-экономическое сравнение стоимости участка ВЛ 110 кВ выполнено путём сравнения стоимости опор и фундаментов для строительства 1 км линии электропередачи. Вариант использования новых железобетонных опор (обычных и повышенных) сопоставлен с вариантами установки металлических (решётчатых и многогранных) опор (рис. 9, 10). Количество конструкций, необходимое на каждый километр трассы ВЛ, определено с учётом расчётных пролётов для всех указанных опор при одинаковых значениях климатических условий (скорости ветра и толщины стенки гололёда), типа провода и троса. При этом пролёты решётчатых опор уточнены в соответствии с требованиями ПУЭ-7. Учтены затраты на монтаж и постоянный землеотвод, зависящий от площади проекции опоры на землю. Результаты оценки показали, что новые железобетонные конструкции позволяют при строительстве вдвое сократить затраты на опоры и фундаменты, экономить на каждом километре трассы минимум 900 тыс. руб. для одноцепных (табл. 1) и 1300 тыс. руб. для двухцепных линий электропередачи (табл. 2).

### Современные железобетонные опоры для конкретных проектов ВЛ 35 – 500 кВ

Кроме типовых конструкций для ВЛ 110 кВ, в рамках конкретных проектов ВЛ напряжением 35, 110, 220, 330, 500 кВ разработано более 20 типов железобетонных опор ВЛ на базе секционированных стоек. В январе 2019 г. один из анкерных пролётов ВЛ 500 кВ «Донская АЭС – Старый Оскол 2» был построен с использованием порталных железобетонных опор 2СПБ500-3В (рис. 11).

### Необходимость разработки современных типовых проектов железобетонных опор для ВЛ 220 – 500 кВ

Индивидуальные проекты новых конструкций, обеспечивая оптимальные решения в конкретных условиях, предъявляют высокие требования к квалификации разработчиков, как правило, нуждаются в проведении испытаний и выпуске нормативной документации,

Таблица 1

Сравнительная стоимость одноцепного участка ВЛ 110 кВ

Сравниваемые параметры	Железобетонные опоры				Стальные опоры			
	новые секционированные				многогранная		решётчатая	
	ПУЭ-7				ПУЭ-7		ПУЭ-6	
Марка опоры	СПБ110-3		СПБ110-7Ф		ПМ110-1Ф		П110-5В	
Количество опор на 5 км	18,12		15,06		18,87		18,52	
Стоимость, тыс. руб.	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок
Материалы	228	4 142	358	5 395	451	8 504	403	7 464
% к СПБ110-3		100		130		205		180
Монтаж	27	484	35	529	30	558	77	1 430
% к СПБ110-3		100		109		115		295
Землеотвод	10	176	14	209	13	249	22	412
% к СПБ110-3		100		119		141		234
Всего (на 5 км)	265	4 802	407	6 133	493	9 311	502	9 306
Всего (на 1 км)		960		1 227		1 862		1 861
% к СПБ110-3		100		128		194		194
Экономия на 1 км, тыс. руб.		—		—		+900		+900

Таблица 2

Сравнительная стоимость двухцепного участка ВЛ 110 кВ

Сравниваемые параметры	Железобетонные опоры				Стальные опоры			
	новые секционированные опоры				многогранная		решётчатая	
	ПУЭ-7				ПУЭ-7		ПУЭ-6	
Марка опоры	СПБ110-4		СПБ110-8Ф		ПМ110-2Ф		П110-6В	
Количество опор на 5 км	24,51		23,58		25		19,61	
Стоимость, тыс. руб.	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок	1 опора	участок
Материалы	311	7 611	428	10 081	564	14 105	759	14 884
% к СПБ110-4		100		132		185		196
Монтаж	29	710	38	893	30	739	94	1 839
% к СПБ110-4		100		126		104		259
Землеотвод	17	409	19	443	17	417	26	518
% к СПБ110-4		100		108		102		127
Всего (на 5 км)	356	8 730	484	11 416	611	15 261	879	17 241
Всего (на 1 км)		1 746		2 283		3 052		3 448
% к СПБ110-4		100		131		175		197
Экономия на 1 км, тыс. руб.		—		—		+1 306		+1 702

Особенностью конструкции стала установка стоек опор на железобетонные фундаменты (рис. 12), что позволило поднять отметку подвески провода и увеличить пролёты до уровня многогранных опор 2МП500-3В, которые установлены на других участках данной линии. При этом стоимость самих конструкций опор и фундаментов сократилась по сравнению с металлическими аналогами в 1,5 раза, обеспечив экономию в 1,9 млн руб. на 1 км трассы ВЛ.

вследствие чего времени и средств, отведённых на разработку проекта ВЛ, часто не хватает.

Решение указанной проблемы в современных условиях может быть найдено путём комплексной разработки базовых серий железобетонных опор и на напряжениях 220, 330 и 500 кВ, планируемых к выпуску в рамках НИОКР ПАО «ФСК ЕЭС».

Реальная оптимизация проектных решений может быть достигнута в том случае, если проектировщики ВЛ будут снабжены необходимым комплексом вспомогательных программ для расчёта несущей способности опор и фундаментов для условий, встречающихся на трассе ВЛ. Доступность новых типовых проектов широкому кругу специалистов, позволит оперативно выполнять серию необходимых расчётов для установки конструкций в конкретных условиях, обеспечит возможность выпуска проектов ВЛ необходимой надёжности





Рис. 11. Портальная железобетонная опора 2СПБ500-3В на ВЛ 500 кВ «Донская АЭС – Старый Оскол 2»

Рис. 12. Фундамент опоры 2СПБ500-3В

при минимальной стоимости строительства и эксплуатации.

Кроме того, наличие проверенного базового варианта конструктивных решений позволит оперативно модифицировать опоры для условий, отличающихся от принятых при разработке основной серии, получая оптимальные (практически индивидуальные) конструкции для конкретных ВЛ.

Наличие 3D-моделей опор позволит избежать ошибок при разработке конструкций, сократить сроки разработки проектов ВЛ, гарантировать отсутствие проблем при заводском изготовлении, сборке опор при строительстве и принимать обоснованные решения об объёмах ремонта на этапе эксплуатации.

Для гарантии поставки на трассу качественных конструкций, стойки опор будут снабжены электронными маркерами, использующими технологию радиочастотной идентификации. Метка

содержит исходную информацию о стойке, позволяющую при необходимости расширить её данными, хранящимися на сервере завода, в целях уточнения параметров её изготовления. Информация о всех поставляемых на объекты ПАО «Россети» изделиях будет служить Заказчику для контроля этапа строительства ВЛ и в процессе всего срока службы конструкции, когда данные о реально установленных на трассу опорах будут привязаны к географическим координатам местности (GIS-модель) и могут быть использованы в общей СИМ-модели электрической сети (Common Information Model) для решения задач производственно-технического управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новое поколение опор ВЛ на базе секционированных железобетонных стоек / Л. И. Качановская, М. С. Ермошина,

П. И. Романов // Электроэнергия. Передача и распределение. 2014. № 2(23), март – апрель. — С. 104 – 107.

2. Качановская Л. И., Романов П. И. Секционированные центрифугированные железобетонные стойки для ремонта и технического перевооружения ВЛ 35 – 500 кВ. Опыт применения на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2016. № 6(39), ноябрь – декабрь.

3. Разработка железобетонных опор воздушных линий 110 кВ из центрифугированных секционированных стоек / П. И. Романов, О. В. Туркина, Л. И. Качановская, С. П. Касаткин // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие топливно-энергетической и добывающей отрасли 2019 года. — М.: Минэнерго РФ, ООО «Технологии развития». — С. 72 – 80.

## ПОДПИСКА

Цены на подписку через редакцию на первое полугодие 2020 г.

115280, Москва,  
3-й Автозаводский проезд, 4, корп. 1.  
Тел. +7 (495) 234-74-21.  
energetick@mail.ru

Наименование издания	Подписной индекс	Цена одного экземпляра без почтовых расходов в рублях	
		без НДС	с НДС
Энергетик	71108	1365,00	1501,50
Библиотечка электротехника	88983	855,00	940,50
Энергетика за рубежом	87261	760,00	836,00