

# РУМ

## РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1954 ГОДА

1 | 2026

СИМ в России и мире — 2026: репортаж с VI Международной научно-технической конференции

Портальные опоры на ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук»

Тиристоры, модули и высоковольтные тиристорные вентили для СТК и ППТ

Стандартизация — инструмент обеспечения надежности в электроэнергетике СНГ



## СОБЫТИЯ ОТРАСЛИ

4 СИМ в России и мире — 2026: репортаж с VI Международной научно-технической конференции

## В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

6 Портальные опоры на ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук»

## ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

14 Тиристоры, модули и высоковольтные тиристорные вентили для СТК и ППТ

## ПРАВОВОЙ ВОПРОС

25 Обзор изменений законодательства в сфере электроэнергетики за II полугодие 2025 года

## НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

44 Введение в действие национальных стандартов Российской Федерации

46 Нормативно-технические документы, включенные в реестр ПАО «Россети»

## В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

50 Перечень действующей документации по проектированию объектов электрических сетей по состоянию на 01.01.2026 года

РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ  
(РУМ)

Научно-технический журнал

№ 1/2026

Главный редактор  
Архипов И.Л.

Ред. коллегия  
Акинин А.А., к.т.н.  
Воротницкий В.Э., д.т.н.  
Дементьев Ю.А.  
Кустова О.В.  
Панфилов Д.И., д.т.н.  
Хренников А.Ю., д.т.н.

Выпускающий редактор  
Михаленко О.И.  
Корректур  
Изюмова Е.Н.

Дизайн и верстка  
Григорян Р.Г.

Учредитель:  
АО «Россети Научно-технический центр»

Наш адрес: 115201, Москва,  
Каширское шоссе, д. 22, корп. 3

Телефон: (495) 727-19-09

Email: Mikhalenko\_OI@ntc-power.ru

Фото ©:  
ПАО «Россети», АО «СО ЕЭС», Shutterstock  
Фотографии и рисунки к статьям  
предоставлены авторами

Отпечатано в ООО «КОНСТАНТА-принт»  
Юридический и почтовый адрес: 308519,  
Белгородская область, Белгородский район,  
пос. Северный, ул. Березовая, 1/12

Издается с января 1954 года

Периодичность: 4 выпуска в год  
Тираж 1000 экз.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе  
по надзору в сфере информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 06.12.2016

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-67845

Подписано в печать 05.03.2026

Мнение редакции может не совпадать  
с мнением автора статьи

Станьте частью команды  
АО «Россети Научно-  
технический центр»



Сканируйте QR-код —  
начните путь  
к профессиональному  
росту!

Л.И. Качановская, к. т. н.,  
заведующая лабораторией  
С.П. Касаткин, к. т. н.,  
руководитель сектора конструкций  
ООО «Энергожелезобетонинвест»,  
НИЛКЭС

## Портальные опоры на ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук»

Статья посвящена особенностям конструктивного решения промежуточных опор, железобетонный вариант которых разработан в НИЛКЭС специально для ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук». Современные железобетонные и металлические свободностоящие порталные конструкции соседствуют на этой линии, доказывая свое преимущество перед другими расчетными схемами опор в конкретных условиях трассы, которая расположена в районах с высокими ветровыми и гололедными нагрузками, проходит по степным и горным ландшафтам с сельхозугодьями и населенными пунктами, пересекает множество рек, озер, автодорог и других инженерных сооружений.



**Рис. 1.** Железобетонные опоры 2СПБ330-5ВФ  
на ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук»

Подходят к завершению работы по реконструкции ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук», и это хороший повод для разговора о применении современных конструкций опор на этой линии электропередачи (рис. 1).

Основное требование к разработке проекта любого объекта — необходимость найти вариант, который обеспечит минимизацию затрат на всех этапах его существования: проектирования, строительства и эксплуатации. При проектировании ВЛ, после решения основного энергетического вопроса (выбора типа провода и грозозащитного троса), главной задачей становится поиск оптимальных конструкций. Так как стоимость опор и фундаментов обычно составляет порядка 70% затрат на строительство ВЛ, очевиден высокий уровень ответственности при выборе их конструктивных решений.

### Выбор типа конструкции опоры

За более чем сто лет проектирования линий электропередачи накопился огромный арсенал конструкций опор ВЛ высокого напряжения. Однако после выхода седьмой редакции ПУЭ в 2003 г. все типовые проекты опор и фундаментов, разработанные в прошлом веке в соответствии с ПУЭ-6, были переведены в разряд «материалов для проектирования». Этот статус документации позволяет использовать ее только после расчетов, выполненных под условия конкретного проекта.

Известно, что любое приспособление типовых опор, спро-

ектированных в соответствии с требованиями старых норм, является вынужденной мерой и не может обеспечить новое строительство конструкциями, оптимальными для современных линий. При новом строительстве экономически обоснованными становятся конструкции, разработанные специально для данного объекта.

В распоряжении проектировщиков имеется исходная информация о климатических условиях вдоль трассы будущей ВЛ, о геологических и гидрологических изысканиях, а также — сведения об использовании земельных угодий в районе планируемой линии. Есть данные об эксплуатации существующих ВЛ и нормативные документы, которые часто предписывают выбор тех или иных решений.

При выборе вариантов конструкций опор на ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук» проектировщиками были приняты следующие исходные данные:

- нормативный скоростной напор ветра — до 800 Па;
- толщина стенки гололеда — от 35 до 45 мм;
- горный ландшафт местности с сельхозугодьями, территориями населенных пунктов и широкой сетью пересекаемых автодорог;
- подтопление, склоновые и эрозионные процессы в пределах трассы ВЛ;
- грунтовые условия, исследованные до глубины 17 м: в верхней части включающие черноземные почвы, техногенные грунты, часто содержащие дресву и строительный мусор, в нижем — суглинки и глины различной

прочности с включениями гальки и щебня, отдельные участки ВЛ — с просадочными и элювиальными грунтами;

- сейсмичность вдоль трассы линии — до 9 баллов.

Каждый параметр по-своему влияет на выбор конструкции. Например, в сильно гололедных районах ПУЭ рекомендует использовать горизонтальную подвеску проводов — для исключения возможности их схлестывания. В густонаселенных сельскохозяйственных районах целесообразно сокращать площадь землеотвода под опоры (в частности, не использовать опоры с оттяжками). Слабые грунты требуют увеличения мощности заделки опор. В районах с высоким уровнем сейсмической опасности предпочтительно устанавливать гибкие конструкции опор и т. п.

Анализ информации о трассе ВЛ привел проектировщиков к необходимости использовать свободную порталную опору с внутренними связями, хорошо зарекомендовавшую себя в эксплуатации [1, 2, 3]. Повышенная вандалоустойчивость — еще один аргумент в пользу выбора этого типа конструкции.

К началу проектирования были известны типовые порталные железобетонные опоры, разработанные в НИЛКЭС на базе центрифугированных стоек и рассчитанные по требованиям ПУЭ-6, а также — многогранные опоры для ВЛ 330–500 кВ по ПУЭ-7. Однако готовой промежуточной опоры для ВЛ 330 кВ под такие жесткие климатические условия не существовало.

### Поиск технических решений для разработки опоры

Железобетонные опоры прошлого века обеспечили сокращение стоимости строительства относительно металлических конструкций, однако сложности транспортировки длинномерных (до 26 м) стоек существенно сказывались на сроках и стоимости строительства. Решение было найдено в процессе разработки секционированных стоек, имеющих внутренний соединительный узел фланцевого типа, помещаемый в опалубку до центрифугирования, и позволяющий разделить стойку на части после ее изготовления.

Упрощенная перевозка отдельных, более жестких, секций длиной до 13 м, а также их сборка на болтах в месте установки опор позволила не только увеличить скорость строительства, но и повысить долговечность конструкций, исключив возможные дефекты при неправильной перевозке длинномерных стоек. Однако новая секционированная стойка все еще не могла стать основой конструкции, способной конкурировать с решетчатыми опорами по высоте подвески провода и, соответственно, по длине пролетов на трассе.

Техническим прорывом стало предложение установки железобетонной стойки на фундаменты за счет закладных деталей фланцевого типа, встроенных в нижнюю часть стойки и верхнюю часть фундамента. Идея использования отдельного фундамента для порталных опор появилась в НИЛКЭС в 2007–2009 гг. при разработке серии металлических опор из многогранного профиля для ВЛ 330–500 кВ.

Выделение отдельной фундаментной секции и возможность варьировать несущую способность выбором толщины стенки и диаметром стоек дали толчок широкому использованию опор этого типа, особенно для ВЛ 500 кВ. Однако стоимость многогранных опор оставалась очень высокой.

Новые железобетонные порталные опоры на фундаменте (2СПБ500–3В) впервые были установлены в 2018 г. на одном из анкерных участков ВЛ 500 кВ «Донская АЭС — Старый Оскол», где они, соседствуя с многогранными конструкциями (2МП500–3В), продемонстрировали возможность существенного сокращения стоимости строительства при сопоставимых трудозатратах на их монтаж.

**Техническим прорывом стало предложение установки железобетонной стойки на фундаменты за счет закладных деталей фланцевого типа, встроенных в нижнюю часть стойки и верхнюю часть фундамента**

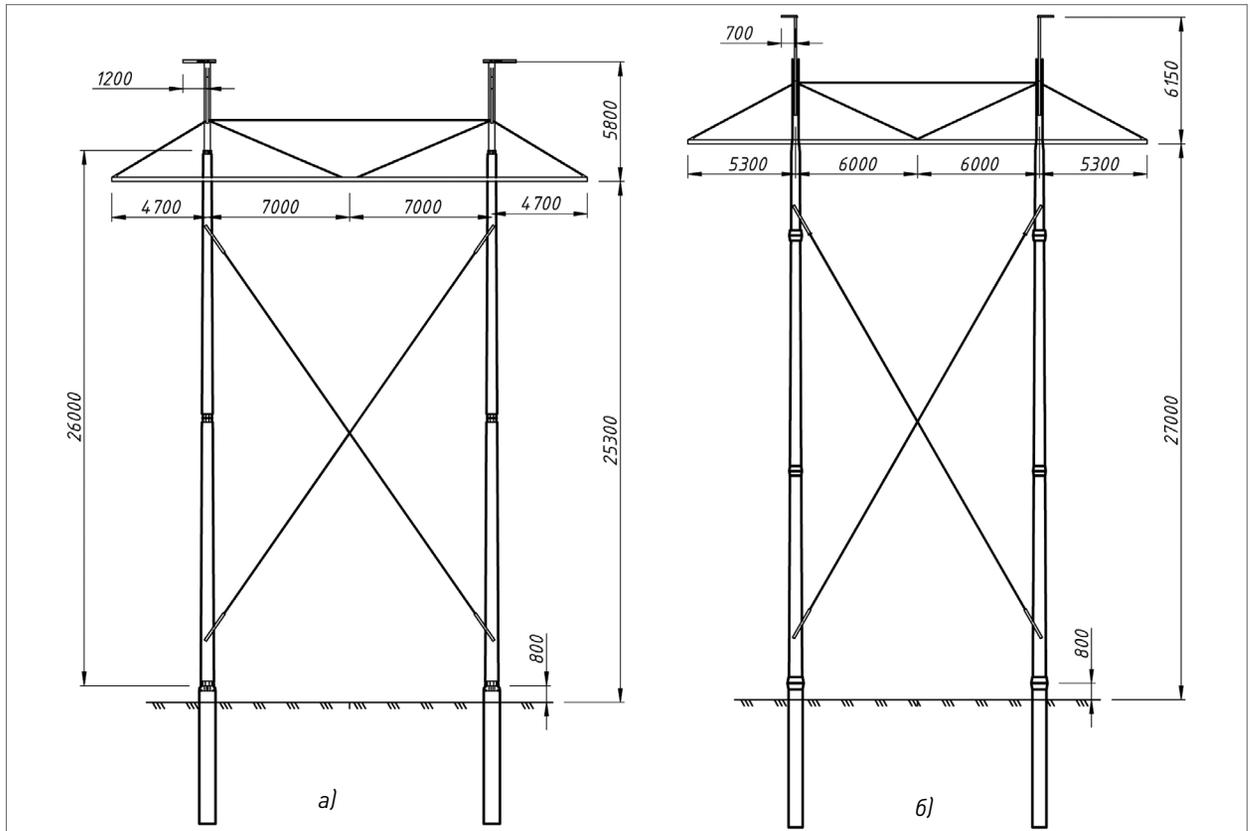
Предварительно на полигоне фирмы ОРГРЭС были испытаны как опоры, так и конструкции фундаментных секций с соединительными узлами фланцевого типа.

Успешный опыт строительства железобетонных опор на ВЛ 500 кВ позволил уже в 2019 г. разработать аналогичную конструкцию опоры СПБ330-5ВФ для ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук», оптимальную для более жестких климатических условий. На одном из участков трассы использовали многогранную опору, первоначально разработанную для ВЛ 500 кВ. Схемы железобетонной и металлической порталных опор приведены на рис. 2.

Буква «В» в маркировке опор указывает на наличие внутренних связей. Перераспределяя нагрузку от проводов и тросов, они облегчают работу стоек. Тем самым увеличивается несущая способность опоры в целом.

Как же удалось достичь высоких прочностных характеристик железобетонной опоры и ее закреплений?

Для обеспечения несущей способности самих секционированных стоек, которая требуется для восприятия повышенных нагрузок от увеличенных пролетов, армирование стоек было усилено. При этом, для достижения необходимой прочности и трещиностойкости, использовали бетон повышенного класса прочности (В60 по сравнению с В40 для цельных стоек по ГОСТ 22687–85). Показатели водонепроницаемости  $W$  и морозостойкости  $F_r$  бетона стоек в этом случае возрастают до  $W16$  и  $F_r400$  (по сравнению с  $W8$  и  $F_r150$ , которые



**Рис. 2.** Схемы порталных опор на ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук»:  
а) железобетонная опора 2СПБ330-5ВФ;  
б) металлическая опора 2МП500-7В

требовались стойкам прошлого века). Это, несомненно, увеличивает срок службы опор, исключая необходимость их замены в процессе эксплуатации. Расчетный изгибающий момент новых конических секционированных стоек на уровне 2,6 м от нижнего торца достиг 75 тм, что превышает аналогичные показатели цельных стоек на 35–50 %.

Для закрепления железобетонных опор разработаны центрифугированные цилиндрические железобетонные сваи-оболочки, изготавливаемые в опалубках диаметром 800 мм и длиной 20 м. В зависимости от количества секций в одной опалубке они могут иметь длину 5 м, 6,7 м



или 10 м. Такой диаметр закреплений опоры позволяет воспринять изгибающий момент в заделке до 130 тм, в отличие от 40–50 тм в случае погружения типовой конической стойки с диаметром основания 650 мм. Кроме того, глубина заделки, ранее не превышающая 3,3 м, теперь может быть выбрана исходя из геологических особенностей в месте установки опоры.

На рис. 3 видны узлы соединения секций опоры между собой и нижней части стойки с фундаментом опоры 2СПБ330-5ВФ.

**Рис. 3.** Опора 2СПБ330-5ВФ на трассе ВЛ

### ■ Типы порталных опор на ВЛ

Новая порталная опора 2СПБ330–5ВФ на базе секционированных железобетонных стоек, установленных на фундаментах, разработанная НИЛКЭС специально для ВЛ «ГЭС-2 — Машук», оказалась сопоставимой по высоте подвески проводов с многогранной опорой 2МП500–7В.

При близких пролетах стоимость новой железобетонной порталной опоры 2СПБ330–5ВФ оказалась меньше стоимости многогранной опоры 2МП500–7В, рассчитанной на те же нагрузки. Это и определило выбор основного типа промежуточных опор для трассы ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук».

Общая длина реконструируемой ВЛ составляет около 70 км. Количество промежуточных опор на ВЛ — 214 шт., из них:

- железобетонных секционированных 2СПБ330–5ВФ — 197 шт., часть опор покрашена в красный и белый цвет по требованиям авиации (рис. 4);
- металлических многогранных 2МП500–7В — 17 шт. (рис. 5).

### ■ Фундаменты под опоры на ВЛ

Фундаменты под порталные опоры представляют собой сваи-оболочки, выполненные из железобетонных центрифугированных секций для опор 2СПБ330–5ВФ (рис. 6) или из металлических секций многогранного профиля для 2МП500–7В. (рис. 7). Все они имеют ответные фланцы для соединения с фланцами нижних секций стоек.

Большая часть фундаментов как железобетонных, так и ме-



**Рис. 4.** Железобетонные опоры 2СПБ330–5ВФ, окрашенные по требованиям авиации



**Рис. 5.** Многогранная опора 2МП500–7В



**Рис. 6.** Узел соединения железобетонной опоры 2СПБ330-5ВФ с фундаментом

таллических опор имеет длину 10 м, что объясняется грунтовыми условиями на трассе. Отдельные фундаменты длиной 6,7 м усилены ригелями для восприятия горизонтальных нагрузок.

### Провод и его влияние на конструкцию опор

При реконструкции линии существующий провод АС330/39 был заменен на высокопрочный провод АТЗП/С 300/67 со стальным сердечником из стальных оцинкованных проволок и верхним поводом из профилированных проволок из алюминиевого сплава. Его рабочая температура выше предыдущего: 210 °С по сравнению с 90 °С, что обеспечивает возможность увеличения пропускной способности ВЛ. Разрывное усилие больше исходного на 60%, что позволяет поднять рабочее тяжение с 12,2 до 17,9 кг/мм<sup>2</sup> и, соответственно, увеличить пролеты между опорами.

Несмотря на такое высокое напряжение в проводе, играющее решающую роль при расчете про-



**Рис. 7.** Узел соединения многогранной опоры 2МП500-7В с фундаментом

межуточных опор в аварийном режиме (кручение при обрыве провода), прочностные характеристики современной секционированной железобетонной опоры 2СПБ330-5ВФ позволяют обеспечить высокие расчетные про-

леты даже в особо гололедном районе (табл.).

### Особенности монтажа опоры

Портальные опоры полностью собираются на земле, причем нижние части стоек опор располагаются у заранее установленных фундаментных секций и соединяются с ними при помощи монтажных шарниров.

Подъем опоры может выполняться при помощи «падающей стрелы» или, как в случае данной ВЛ, двумя кранами, с использованием двух тракторов, один из которых тяговый, другой тормозной.

Элементы шарниров, изготовленные на заводе, являются частью конструкции, что упрощает технологический процесс, исключая необходимость их съема после установки опоры.

**Таблица. Область применения опоры 2СПБ330-5ВФ**

Климат	Район по ветру (Па)	IV (800)		
	Район по гололеду (мм)	VI (35)	VII (40)	Особый (45)
	Ветер при гололеде, Па	200		
Провод	Марка	2 x АТЗП/С 300/67		
	$\sigma_{\max}/\sigma_{\text{эксп}}$ , МПа	179/119		
Трос	Марка	ГТК20-0/90-12.1мм-53кА <sup>2*</sup> -111кН		
	$\sigma_{\max}$ , МПа	570		
Пролет	Габаритный, м	305	280	260
	Ветровой, м	305	280	260
	Весовой, м	381	350	325



Рис. 8. 3D-модель опоры 2СПБ330-5ВФ

### Обеспечение безопасной эксплуатации опор

Одна из стоек железобетонной опоры оснащается лестницей с анкерными точками в виде открытых петель, позволяющих организовать безопасный подъем рабочих при помощи гибкой анкерной линии.

Для перемещения по траверсе устроены поручни и настил из просечно-вытяжного листа. В местах проведения работ по замене изоляторов на постоянной основе устанавливаются монтажные петли, предусматриваются места крепления струбцин для фиксации заземляющих штанг (рис. 8, 9).

Элементы монтажного шарнира в узле соединения нижней части стойки с фундаментом, первоначально предназначенные для установки опоры, будут в дальнейшем использоваться для крепления технологической оснастки при подъеме на опору оборудования, которое необходимо для работ по обслуживанию ВЛ.

### Заключение

Свободностоящие порталные опоры, установленные на ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук», обеспечили:

- сокращение стоимости строительства за счет выбора железобетонных конструкций как основного типа промежуточных опор на ВЛ;
- уменьшение вероятности схлестывания проводов в сильно гололедных районах за счет горизонтального расположения проводов;
- сокращение землеотвода в зоне активного земледелия по сравнению с башенными



Рис. 9. Настил и поручни на траверсе опоры 2СПБ330-5ВФ

конструкциями и опорами на оттяжках;

- более высокую вандалоустойчивость относительно решетчатых башенных конструкций;
- надежное закрепление в слабых грунтах за счет возможности выбора глубины заделки фундаментов;
- повышенную сейсмостойкость за счет гибкости стоек;
- долговечность за счет использования бетона повышенной прочности для стоек и фундаментов опор;
- удобство и безопасность эксплуатации из-за наличия специальных анкерных точек для подъема на опору, насти-

ла и поручней для передвижения по траверсам.

### ■ Выводы

Новые порталные опоры из железобетонных секционированных стоек на фундаментах, разработанные в НИЛКЭС специально для ВЛ 330 кВ «ГЭС-2 — Машук», показали целесообразность их использования для обеспечения больших пролетов и сокращения общей стоимости строительства по сравнению с многогранными опорами, применяемыми уже более 20 лет.

### ■ Список источников

1. Качановская Л.И., Касаткин С.П. Десятилетие инноваций в кон-

струкциях железобетонных опор ВЛ 35–750 кВ // Энергетика и промышленность России. 2023. № 23–24 (475–476).

2. Качановская Л.И., Касаткин С.П., Романов Ф.К. Свободностоящие порталные опоры для ВЛ 220, 330, 500 кВ — новый виток развития железобетонных конструкций // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 1 (58). С. 44–47.
3. Качановская Л.И., Романов П.И., Касаткин С.П., Рогачев М.Е. Современные проекты секционированных железобетонных опор для уменьшения стоимости воздушных линий электропередачи // Энергетик. 2020. № 1. С. 3–9.

## РЕГИСТРАЦИЯ ИЗОБРЕТЕНИЙ, ПОЛЕЗНЫХ МОДЕЛЕЙ, ТОВАРНЫХ ЗНАКОВ, ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ

Эксперты АО «Россети Научно-технический центр» подготовят и оформят необходимые материалы для получения патентов и регистрационных свидетельств, удостоверяющих исключительное право на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации.

### ГЛАВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СОТРУДНИЧЕСТВА С НАШЕЙ КОМПАНИЕЙ

- АО «Россети Научно-технический центр» оказывает услуги на всех этапах регистрации — от подготовки комплекта заявочных материалов до получения документов исключительного права.
- Наши эксперты сочетают профессиональные технические знания с высшей квалификацией патентных поверенных РФ и имеют опыт работы более 20 лет.

---

**+7 (495) 727-19-09**

