



РОССЕТИ

ФСК ЕЭС

Центр инжиниринга
и управления строительством

Применение современных конструкций и материалов при строительстве и реконструкции ВЛ 35 – 750кВ

WWW.CIUS-EES.RU



АО «ЦИУС ЕЭС» —

крупнейший Технический заказчик по строительству и реконструкции объектов электросетевого комплекса в Российской Федерации

В своей деятельности АО «ЦИУС ЕЭС» учитывает следующие основные задачи электросетевого строительства:

1. Повышение эффективности и качества строительного производства.
2. Применение инновационных технологий строительства.
3. Сокращение капитальных затрат и сроков строительства вследствие применения инновационных конструкций и материалов, индустриализации строительства.

В соответствии с требованиями Положения ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». (Утверждено Советом Директоров ПАО «Россети» 22.02.2017) При производстве СМР следует придерживаться следующих принципов:

П. 7.3.1:

- индустриальные методы строительства, применение конструкций высокой заводской готовности с целью минимизации времени и сложности выполнения технологических операций в условиях трассы ВЛ, сведения к минимуму объема земляных работ;
- применение технологий устройства фундаментов опор, обеспечивающих сокращение затрат времени на монтаж и сведение к минимуму объема земляных работ – вибропогружение, вдавливание свай оболочек, завинчивание винтовых свай и пр.;
- в условиях труднодоступной местности или в стесненных условиях применение вертолётной техники или монтаж опор методом наращивания;
- монтаж проводов и грозозащитных тросов под тяжением без опускания провода на землю, позволяющий обеспечить отсутствие механических повреждений и загрязнения проводов и тросов;

Задачи повышения эффективности и качества строительного производства решаются посредством разработки и внедрения новых конструкций опор и фундаментов, применением современных конструкций проводов ВЛ. Ниже приводится обзор результатов практического применения современных конструкций и материалов ВЛ на объектах строительства и реконструкции электросетевого комплекса.



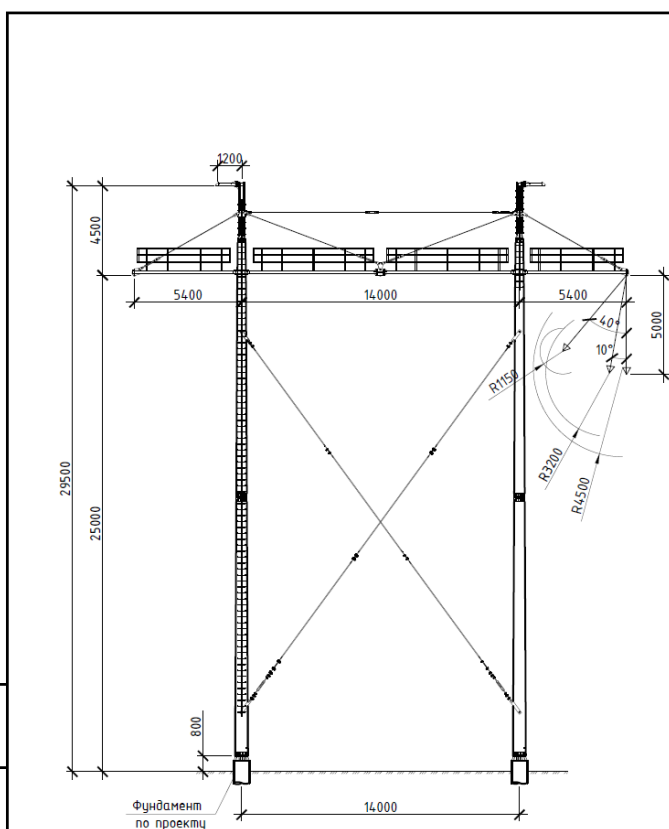
РОССЕТИ

ФСК ЕЭС

Центр инжиниринга
и управления строительством

Применение portalной промежуточной свободностоящей опоры на основе центрифугированных железобетонных секционированных стоек на строительстве ВЛ 500кВ Донская АЭС – Старый Оскол № 2.

Ниже приведены основные характеристики и область применения опоры 2СПБ500-3В



Расчётные данные опоры 2СПБ500-3В			
Нормативы		Глава 2.5 ПУЭ-7 "Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ"	
Расчетные климатические условия		Район по ветру II ($W_k=500$ Па)	
		Район по гололеду	
		III ($h_k=20$ мм)	
		Ветер при гололеде 160 Па	
Пролом	Марка	3 х АС 300/66	
	$\sigma_{\text{н}}$	11,0	12,2
	$\sigma_{\text{з}}$	7,3	8,1
Трос	Марка	АС 70/72	
	$\sigma_{\text{н}}$	28,0	
Габаритный пролёт, м		295	310
Ветровой пролёт, м		295	310
Весовой пролёт, м		369	388

Региональные коэффициенты по ветру и гололеду 1,0.
Ширина траверсы 0,38 м.

						ВЛ 500 кВ Донская АЭС – Старый Оскол №2 с реконструкцией ПС 500 кВ Старый Оскол.		
Изм.	Фол. ил.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Стадия	Лист	Листов
Разработчик						Опора 2СПБ500-3В		
Касаткин						ООО «ПО «ЭЖБИ» НИИЭС		

Формат А3

Применение portalной промежуточной свободностоящей опоры на основе центрифугированных железобетонных секционированных стоек на строительстве ВЛ 500кВ Донская АЭС – Старый Оскол № 2.

Разработка конструкции начата в 2014-м году НИЛКЭС ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест». Первое практическое применение – 4-ый квартал 2018г. на ВЛ 500кВ Донская АЭС – Старый Оскол. Фактически является железобетонным аналогом многогранной опоры 2МП500-1В, от которой выгодно отличается стоимостью.

Конструктив СЖБО разработан с учётом необходимости преодоления известных проблем применения центрифугированных железобетонных опор в электросетевом строительстве.

Затраты времени на сборку и установку практически те же, что и у многогранного аналога.

Устанавливается методом поворота посредством встроенного шарнира на центрифугированную фундамент с ответным фланцем требуемой длины. Данный конструктив фундамента позволяет оптимизировать процесс монтажа, обеспечить безригельное закрепление и неизменность пространственного положения в эксплуатации



Решения для минимизации полосы отвода. Результаты применения двухцепных опор ВЛ 500кВ на заходах ВЛ 500кВ на ПП Тобол.

Это заходы ВЛ 500кВ на Ростовскую АЭС. Фотография отражает эволюцию промежуточных опор ВЛ и изменения подходов к задачам электросетевого строительства за пол века.

При общей неизменности конфигурации – двухстоечная порталная опора с горизонтальным расположением проводов в условиях изменения требований НТД и преобладающих технических решений, имеющих технологических возможностей на смену наиболее экономичной конструкции – железобетонной опоры на основе конических стоек СК-26 в начале 21-го века пришла стальная порталная решетчатая опора на оттяжках как более технологичная и долговечная. С 2006-го года в рамках целевой программы ПАО «ФСК ЕЭС» начата разработка стальных многогранных опор. Двухстоечная свободностоящая опора 2МП500-3В является весьма удачным конструктивом – современным решением, позволяющим свести к технологическому минимуму затраты времени на сборку и установку.

Но во всех случаях общая геометрия опор остаётся одинаковой и полоса отвода для 4-х ВЛ 500кВ при параллельном следовании составляет порядка 250-ти метров.

Задача минимизации полосы отвода становится всё более актуальной. Решения для этой цели – двухцепные опоры ВЛ 500кВ и опоры с вертикальным подвесом. Результаты применения двухцепных опор ВЛ 500кВ на заходах ВЛ 500кВ на ПП Тобол.



Применение двухцепных опор ВЛ 500кВ позволяет уменьшить ширину полосы отвода под 4 цепи ВЛ 500кВ до 133-ти метров (до 121-ти метров в стеснённых условиях).

Двухцепные опоры разработаны в рамках НИОКР ПАО «ФСК ЕЭС». Опора с вертикальным подвесом – ООО «Отделение Дальних Передач». Конструкции рассчитаны в соответствии с требованиями действующих нормативных документов испытаны и в настоящее время фактически являются типовыми решениями для минимизации полосы отвода при прохождении ВЛ 500кВ при параллельном следовании в стеснённых условиях.

ПС500-2/28,5. Вес – 17,1т. Высота общая – 49,9м. Расстояние между крайними фазами – 14,8м.

УС500-2/14 Вес – 50,9 т. Высота общая – 40,8м. Расстояние между крайними фазами – 23,2м.

УС500-В. Вес – 36,9т. Высота общая – 53,5м.

Вопросы особенностей конструкций и проблемы практического применения рассмотрены на следующем слайде.



Особенности конструкции и проблемы практического применения двухцепных опор ВЛ 500кВ и опор с вертикальным подвесом. Результаты применения двухцепных опор ВЛ 500кВ на заходах ВЛ 500кВ на ПП Тобол.



Опора ПС500-2/28,5 устанавливается методом поворота. Для установки УС500-2/14 потребовалось применение 2-х кранов повышенной грузоподъёмности.

К проблемным позициям следует отнести и значительные затраты времени на сборку опоры. Как было отмечено выше – современные конструкции и материалы должны обеспечивать высокую заводскую готовность и минимизацию затрат времени на сборку и установку.

На фото внизу слева показана собранная нижняя секция опоры УС500-2/14, установленная на многоярусный ростерк из унифицированных стальных балок, разработки прошлого века. На особенностях монтажа таких ростерков мы остановимся ниже.

Совершенно необходим отказ от применения составных (в том числе – крестовидных сечений элементов опор). Пояса опоры УС500-2/14, как показано на снимке ниже, являются составными. Такое решение является следствием увеличения расчётных нагрузок в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. При этом, на территории Российской Федерации уголкового проката больших сечений (более L 200X20) производят только по спецзаказу и при заказе более 1000 тонн. Вследствие чего на ряде линейных объектов применены составные пояса анкерно-угловых опор.

Пользуясь случаем, обращаюсь к представителям конструкторских бюро и проектных организаций – от применения составных элементов опор необходимо уходить. Технические, конструктивные возможности для этого есть. При разработке конструкций и материалов ВЛ необходимо учитывать не только решение проблем надёжности и полосы отвода, но и учитывать необходимость оптимизации технологии сборки и установки. Все новые конструкции опор должны разрабатываться с учётом требования эффективности строительного производства.



Применение стальных решетчатых опор ВЛ 220кВ новой унификации.

Не смотря на весьма широкое распространение СМО ВЛ 220- 500кВ, основным видом применяемых опор остаются и, очевидно, будут оставаться в ближайшее время стальные решетчатые опоры. До настоящего времени в основном применяются конструкции опор унификаций прошлого века.

И вот, наконец, в 2019-м году полностью завершена разработка стальных опор ВЛ 220 – 500кВ новейшей унификации, конструктив которых полностью отвечает требованиям действующих нормативных документов. Разработана конструкторская документация, изготовлены опытные образцы, проведены успешные механические испытания, разработаны технологические карты на сборку и установку. На стадии согласования и утверждения находятся стандарты ПАО «ФСК ЕЭС», содержащие указания по их применению.

Впервые опоры новой серии применены на ВЛ 220кВ Тира – Надеждинская: анкерно-угловые У220н-2.1, У220н-2.1т и промежуточные – П220н-2.1, П220н-2.1т.

Цепность	двухцепные				
Тип опоры	промежуточные				
Район по ветру	II				
Район по гололёду	II				
Марка провода	АС 240/56				
Марка троса	11,0-М3-В-ОЖ-Н-Р				
Эскиз					
Шифр опоры	П220н-2.1	П220н-2.1м	П220н-2.1-9.3	П220н-2.1м-9.3	П220н-2.1+3.2
№ чертежа монтажной схемы	7.220.01-КМ2.01	7.220.01-КМ2.01	7.220.01-КМ2.01	7.220.01-КМ2.01	7.220.01-КМ2.01
Масса опоры, кг без цинка / с цинком	7989/8368	8342/8738	6340/6637	6693/7007	9006/9439
В том числе метизы, кг	435	463	381	408	465

Применение стальных решетчатых опор ВЛ 220кВ новой унификации.

Стальные опоры ВЛ 220-500кВ новой унификации :

- Конструкция соответствует требованиям действующих нормативных документов.
- Рассчитаны на нагрузки в соответствии с требованиями действующих НТД.
- При разработке оптимизирована высота до нижней траверсы, конструктив решетки, ширина базы, расстояния между ярусами траверс.
- Позволяют эффективно использовать преимущества проводов нового поколения.
- Достигается сокращение количества опор и фундаментов, удельной материалоемкости ВЛ, снижение затрат на СМР.



- При разработке новых конструкций опор и фундаментов необходимо исходить не только из целевой функции минимизации удельной материалоемкости ВЛ, но и так же из задач повышения эффективности и качества строительного производства – сокращения трудозатрат на сборку и установку.
- Разработка решетчатых стальных опор ВЛ 200-500кВ новейшей унификации вовсе не означает достижения совершенства конструктива. Приглашаем действующие конструкторские бюро превзойти достигнутый уровень. И в части повышения эффективности и качества строительного производства. Есть смысл продолжить поиск в области применения новых марок сталей, альтернативных вариантов проката, оптимизации заполнения решетки.

Старая – новая – новейшая. Рюмки...



На фото эволюция свободностоящей промежуточной опоры ВЛ 500кВ Р-2 (рюмка) за пол века.

Слева опора Р-2 «старой унификации» (Энергосетьпроект. 5713тм. Масса – 12т., Высота до нижней траверсы – 27м.). Характеризуется неустойчивостью конструкции при подъёме.

В центре – РС500-1 (ОДП Энергосетьпроект, 3.407.2-155, Масса – 12,1 т. Высота до нижней траверсы – 32м. Состоит из нескольких сотен элементов – до 7 дней на сборку.

Слева – опора РС500н-3 новейшей унификации (СибНИИЭ АО «НТЦ ФСК ЕЭС» Масса – 14т. Высота до нижней траверсы – 30м.). Полностью соответствует требованиям действующих НТД.

Фундаменты стальных многогранных опор. Поиск оптимальной конструкции и технологии.

С 2010-го года на ВЛ 220кВ и выше всё шире применяются стальные многогранные опоры (СМО). В том числе, построено 8 новых ВЛ 500кВ с применением СМО. В этот период разработаны и применены практически десятки конструкций фундаментов СМО. К 2020-му году можно подвести некоторый итог данной работы и определить наиболее эффективные с точки зрения эффективности строительного производства конструкции.



Фундаменты стальных многогранных опор. Поиск оптимальной конструкции и технологии.

Технологии завинчивания, вибропогружения и вдавливания свай-оболочек требуют применения дорогостоящей техники. Существенное ограничение применения монолитных фундаментов – доставка бетона на трассу.

На сегодняшний день наибольшее распространение получила стальная буроопускная свая-оболочка из гнутого профиля с ответным фланцем. Материал – сталь 09Г2С. Антикоррозийная защита – изоляционные покрытия. От аналога на основе трубы выгодно отличается доступностью проката. Имеет приспособления для подъема опоры методом поворота и в необходимых случаях конструкции для закрепления ригеля.

На сегодняшний день НИЛКЭС ООО «ПО «ЭЖЬБИ» разработана свая-оболочка на основе 800мм centrifугированной цилиндрической секции требуемой длины. Ожидаемый эффект от применения данной конструкции – снижение затрат на антикоррозийную защиту и безригельное закрепление.



Применение конструкции индивидуальной разработки - оптимальный подход для цели повышения эффективности и качества строительного производства.



Конструкции опор и фундаментов ВЛ:

- Типовые
- Модифицированные
- Индивидуальной разработки.

Типовые конструкции позволяют сократить затраты времени на проектирование, их производство освоено заводами-изготовителями, строительно-монтажные организации имеют опыт сооружения ВЛ с применением таких конструкций, службы эксплуатации имеют опыт технического обслуживания и ремонта.

Однако, технический и технологический прогресс, эффективные решения сложных, нестандартных задач, повышение эффективности и качества строительного производства возможны только вследствие применения конструкций индивидуальной разработки.

Применение конструкции индивидуальной разработки - повышение эффективности и качества строительного производства.

Типовые конструкции.

1. Конструкторская документация полностью разработана.
2. Процедура допуска к применению завершена.
3. Есть опыт применения, доступный для анализа.
4. Разработана методическая и нормативная база.
5. Не требуется постановка на производство – изготовление КМД, наладка технологических линий.
6. Освоено строительно-монтажными организациями
7. Снижение затрат времени на разработку ПСД

Конструкции индивидуальной разработки.

1. Достигается существенная экономия затрат.
2. Повышается эффективность и качество строительного производства.
3. Повышается эффективность эксплуатации.
4. Выход на принципиально новый, технологический уровень.
5. Техническая эстетика и экологический эффект.
6. Эффективное решение нестандартных задач.
7. Но: - необходимость разработки, испытания и постановки на производство.

Применение конструкции индивидуальной разработки - повышение эффективности и качества строительного производства.

Рассмотрим вопросы применения конструкций индивидуальной разработки на конкретном примере. Слева – типовая конструкция ростверка свайных фундаментов, соединяемых сваркой.

Справа – ростверк индивидуальной разработки, конструктив которого практически исключает монтажную сварку.



Применение конструкции индивидуальной разработки - повышение эффективности и качества строительного производства.



1. Затраты времени на монтаж – 4 – 5 смен.
2. Значительный объём монтажной сварки.
3. Необходимость удаления заводского антикоррозионного горячецинкового покрытия.
4. Невозможно восстановить заводское антикоррозионное покрытие с исходными характеристиками (ЦИНОЛ + АЛПОЛ).

1. Затраты времени на монтаж – 1 -2 смены.
2. Нет монтажной сварки.
3. Заводское горячецинковое покрытие не нарушается.

Однако, для применения того или иного конструктива необходимо, чтобы он был предусмотрен Проектной документацией. При этом конструкции разрабатываются конструкторскими бюро, а проектные организации работают в условиях жёстких временных рамок разработки ПД. Разработка индивидуальных конструкций требует затрат времени и денежных средств на разработку конструкторской документации, изготовление опытного образца, проведение механических испытаний и постановку на производство. Таким образом, применение конструкций индивидуальной разработки на стадии «Проект» имеет серьёзные проблемы. Применение типовых конструкций удобно, не требует дополнительных затрат, но не оставляет возможностей для технологического развития.

Применение конструкции индивидуальной разработки - повышение эффективности и качества строительного производства.



! Возможно и дальнейшее совершенствование конструктива (фото слева). Но в существующих условиях как правило применяются типовые конструкции.

Варианты организации разработки новых конструкций и материалов ВЛ:

- 1. В рамках целевых программ крупных Электросетевых компаний.**
- 2. Конструкторскими бюро в рамках НИОКР.**
- 3. Заводами-изготовителями за счёт собственных средств.**
- 4. Конструкторскими бюро для решения конкретной задачи синхронно с разработкой проектной документации на строительство (реконструкцию) ВЛ.**

4-ый путь – наиболее эффективный. Но эффективный механизм его реализации до настоящего времени не найден.

Провода нового поколения.



Провода нового поколения применяются в Российском электросетевом строительстве сравнительно недавно.

На сегодняшний день это уже десятилетняя история применения начиная от импортных проводов, объединённых известным брендом «аеро-z» и проводов с зазором до широкой линейки отечественных компактированных и высокотемпературных проводов.

Если 10-12 лет назад стоимость стандартных проводов (по ГОСТ 839-80) и компактированных проводов различалась на порядок, то на сегодняшний день цены некоторых типов компактированных проводов приближаются по стоимости к стандартным.

В 2019-м году утверждён стандарт ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.060.50.268-2019 «Указания по проектированию ВЛ 220кВ и выше с неизолированным и проводами нового поколения». В данном стандарте приводится номенклатура и классификация практически всех ПНП, представленных сегодня на российском рынке.

Применение проводов нового поколения даёт следующие возможности:

1. Повышение пропускной способности ВЛ.
2. Снижение нагрузок на опоры. Получение технико-экономического эффекта при строительстве (реконструкции) ВЛ за счёт уменьшения количества опор.
3. Оптимизация конструкций больших переходов.

Провода нового поколения.



Одна из первых реконструкций с заменой существующего стандартного провода на компактированный - реконструкция ВЛ 220кВ Афи́пская – Кры́мская.

В ходе реконструкции произведена замена провода АС300/66 на GTACSR 217/47 (J-Power Systems, Japan) в результате чего:

- увеличена пропускная способность на 25%;
- уменьшен диаметр провода на 2 мм (снижение нагрузки на опоры);
- снижена масса провода (на 90 кг/км);
- прочность провода возросла на 10%.

Провод	I дл. доп, А	Сопротивление, Ом/км	Диаметр, мм	Удельный вес. кг/км	Разрывное усилие, кН
АС 400/51	825	0,073	27,5	1490	120,48
АААС-504-2Z	940	0,067	27,45	1401	162,3

При этом необходимо отметить:

1. При планировании такого рода мероприятий необходимо учитывать остаточный ресурс и состояние ВЛ.
2. Если срок службы более 40-ка лет, то как правило необходима комплексная реконструкция. Так как опоры с учётом износа не выдержат нагрузок, рассчитанных в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Провода нового поколения.



Сооружение ВЛ 750кВ – событие незаурядное. При проектировании подобного рода объектов имеет смысл не только выполнить ТЭО различных конструкций фазы, но и НИОКР, так как экономический эффект может составить десятки (сотни) миллионов рублей. Существенно снизятся затраты на СМР.

Так, например, при проектировании ВЛ 750кВ длиной порядка 450км. вследствие применения фазы из компактированных проводов АААС-Z301-2Z потребуется существенно меньшее количество промежуточных опор – порядка 250шт. В результате применение более дорогой фазы даст технико-экономический эффект за счёт экономии материалов, конструкций и затрат времени на СМР.

При этом если значение диаметра фазного провода менее рекомендуемого таблицей 2.5.6 ПУЭ, требуется изучить вопрос коронного разряда и радиопомех.

Провод	Сопротивление, Ом/км	Диаметр, мм	Удельный вес, кг/км	Стоимость, тыс. руб./тонна с НДС	Разрывное усилие, кН	Количество опор по трассе, шт.
АС 300/39	0,073	24	1132	270	90,574	1400
АААС-Z301-2Z	0,067	21	856	383	162,3	1150