

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ПАО «РОССЕТИ СИБИРЬ» ДЛЯ ВЛ 35-110 КВ: БЫСТРОВЗВОДИМАЯ ОПОРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ, СОСТАВНЫЕ ГРИБОВИДНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

ПАО «РОССЕТИ СИБИРЬ»

Дубенко С.А., начальник управления технической политики департамента технологического развития, инноваций, энергосбережения и повышения энергетической эффективности

Доклад сформирован на основании материалов 2 НИОКР в рамках которых разработаны новые конструкции быстровозводимой опоры для проведения аварийно-восстановительных работ на ВЛ напряжением 35-110 кВ типа ПБМ 35(110)-1(т) и сборных грибовидных фундаментов для решетчатых опор воздушных линий электропередачи напряжением 35–110 кВ, а также разработаны рекомендации по модернизации цельных грибовидных фундаментов под требования действующих нормативов.

Быстровозводимая опора для проведения аварийно-восстановительных работ на ВЛ 35-110 кВ. Проблематика, предпосылки создания опоры

Основная деятельность Россети Сибирь направлена на обеспечение надежного и качественного электроснабжения потребителей, которое достигается уменьшением количества и продолжительности технологических нарушений.

Общая протяженность ВЛ 35-110 кВ составляет 48,7 тыс. км, в том числе проходящих в труднодоступной местности – 9,2 тыс. км. Срок эксплуатации 59% ВЛ 35-110 кВ составляет более 35 лет, 18% - более 53 лет.

Отключения на ВЛ могут быть вызваны многими факторами, в том числе и погодными условиями:

шквалистый ветер, грозы, разливы рек. Причем количество зарегистрированных на территории обслуживания Россети Сибирь погодных явлений с превышением нормативных параметров (таблица) составляет от 103 в 2016 году, до 238 в 2018 году. Если средняя продолжительность технологических нарушений на ВЛ 35-110 кВ – менее 2 часов, то средняя продолжительность ТН, связанная с падением опор составляет от 20,8 часа в 2016 году до 17,1 часа в 2018 году.

В подобных условиях снижение времени ликвидации повреждений на ВЛ становится одной из основных задач.

Цель разработки опоры ПБМ 35(110) -1(т)

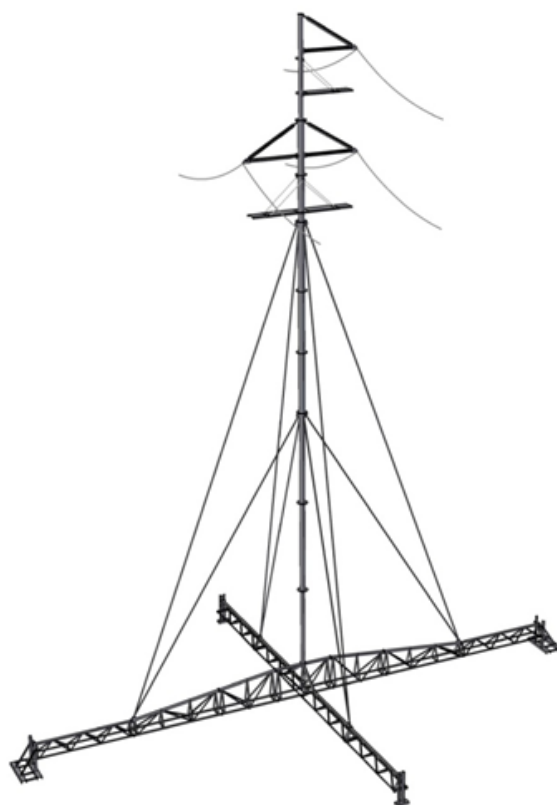
Для восстановления поврежденного участка ВЛ требуются значительные трудозатраты, применение специальной техники, как для доставки материалов, так и для проведения работ на месте. Работы по установке опор производятся с использованием специализированной транспортной техники, требуют задействования грузоподъемных механизмов и бурильных машин, привлечения большого количества персонала. При этом существующие технологии монтажа опор имеют ограничения на проведение работ в неблагоприятных условиях и труднодоступной местности.

Для сокращения сроков ликвидации технологических нарушений на ВЛ 35 и 110 кВ, связанных с повреждением опор в труднодоступной местности, в Россети Сибирь принято решение о разработке опоры многоразового использования, доставляемой и монтируемой в максимально короткие сроки без применения спецтехники и грузоподъемных машин.

Опора ПБМ 35(110)-1(т) применяется при восстановлении ВЛ 35 и 110 кВ, сооруженных на стальных решетчатых, железобетонных, одноцепных и двухцепных опорах, а также других типах опор с сопоставимыми габаритами.

Использование временных быстромонтируемых опор позволяет сократить продолжительность аварийно-восстановительных работ на ВЛ 35-110 кВ, снизить недоотпуск электроэнергии, малыми трудозатратами восстановить электропитание потребителей, обеспечить проведение ремонта стационарных опор ВЛ без отключения линии целиком на время ремонта.

Рис. 1. Схема быстровозводимой опоры ПБМ110



Сравнение с аналогами

Параметр	ПБМ 35 (110)-1(т)	ПС-110-ПВ	ПРХ-220-1М
Продолжительность монтажа опоры, час.	4	4	4
Численность персонала для установки, чел.	4	6	5
Возможность подвески грозотроса	+	-	+
Изменение длины пролёта при установке временной опоры	-	+	+
Наличие заглубляемых фундаментов	-	+	-
Использование автокрана для установки опоры	-	-	+
Использование спецтехники для монтажа провода	-	+	+

Конструктивное исполнение

Ствол опоры секционированный (1), состоит из трубчатых элементов – секций, соединяемых между собой при помощи фланцев.

Изолирующие траверсы (2) – на основе полимерных опорных и подвесных изоляторов. Такое решение позволяет уменьшить количество монтажных элементов в опоре, изоляционные расстояния между проводом и стволом, а также вес опоры. Расположение проводов треугольное.

Для удобства выполнения операций по монтажу провода, под траверсами предусмотрены площадки обслуживания (3). В нормальном положении площадки находятся в сложенном состоянии и подтянуты к стволу опоры.

Для подъема персонала к траверсам на каждой секции ствола опоры закреплена стационарная лестница (4).



Рис. 2. Опора ПБМ с подвеской проводов ВЛ.

Ствол опоры удерживается в проектном положении оттяжками (5). При установке на косограх, для обеспечения вертикальности положения ствола, имеется возможность регулировки длин оттяжек сцепной арматурой.

Ствол при помощи пространственного шарнира (6) опирается на сборный ростверк (7). Ростверк состоит из главной и второстепенной пространственных ферм. Элементы ростверка выполнены из труб. Для удобства перевозки и монтажа фермы ростверка делятся на секции.

Для приведения в проектное положение подъемной стрелы (8) используется монтажная стрела (9) и монтажная лебедка (10) грузоподъемностью 1 т.

Ствол опоры приводится в проектное положение с помощью подъемной стрелы и подъемной лебедки (11) грузоподъемностью 2 т.

Опора ПБМ 35(110)-1(т) имеет следующие характеристики:

- вес основных элементов опоры не превышает 120 кг;
- длина конструктивных элементов опоры не превышает 3 м;
- время монтажа опоры 4 часа (выполняется бригадой из 4 электромонтеров);
- доставка, монтаж опоры производятся без применения спецтехники и крана;
- провод – до АС 300/39;
- грозотрос – до 11,0 мм.;
- район по толщине стенки гололеда – до III (20 мм);
- район по скоростному напору ветра – до IV (36 м/с). При эксплуатации опоры в III-IV ветровом районе по концам главной фермы ростверка устанавливается балласт (входит в комплект опоры), предназначенный для обеспечения устойчивости положения опоры от опрокидывания. Балласт выполняется в виде специальных грузов;
- фундаменты опоры поверхностные, не требующие забурирования, в том числе для крепления оттяжек;
- срок службы – не менее 50 лет;
- быстромонтируемая опора обеспечивает возможность монтажа на местности с уклоном до 18% (10°);

- может устанавливаться в условиях паводка, в местах разлива рек (в воде и мокром грунте, в болотистой местности);
- конструкция является ремонтпригодной и имеет возможность замены запасных частей без применения промышленных технологий;
- разработаны варианты опоры для ВЛ без использования грозотроса и с применением грозотроса;
- защита металлических элементов опоры от коррозии выполнена комплексным покрытием типа Цинол/Алпол;
- технология монтажа опоры обеспечивает требования безопасности.

Основные параметры опоры (справочно):

Высота опоры: 22 м;

Высота подвески нижнего провода: 17,7 м;

Межфазное расстояние (по вертикали): 3 м;

Габариты ростверка в плане: 18×12,5 м;

Габаритный, ветровой и весовой пролеты: 300 м;

Масса опоры: 2,83 т (с тросостойкой);

Масса балласта (только для III-IV ветрового района): 1,25 т.

Масса опоры обусловлена следующими факторами:

- значительные ветровые нагрузки – скорость ветра до 36 м/с;
- маркой провода – до АС 300/39;
- применением поверхностных фундаментов при действующих ветровых нагрузках для обеспечения устойчивости;
- высотой опоры – определена исходя из условия замены одной стационарной типовой опоры 110 кВ на одну быстромонтируемую. Для обеспечения габарита от проводов до земли, высота подвески провода на быстромонтируемой опоре должна быть равна высоте подвески на стационарной опоре.

Сборку и монтаж опоры, в соответствии с эксплуатационной документацией, необходимо выполнять с использованием двух ручных, или электрических лебедок грузоподъемностью 1 и 2 т, пневмо/электро гайковертов, бензогенератора или автоинвертора.

Основные операции:

- Сборка ростверка;
- Сборка и подъем Л-образных монтажных стрел лебедкой;
- Сборка ствола опоры;
- Подъем ствола опоры лебедкой;
- Монтаж проводов лебедкой через обводные блоки, расположенные на концах траверс.

Демонтаж опоры производится в обратной последовательности, после монтажа стационарной опоры.

Разработанная быстромонтируемая опора является универсальной конструкцией: может применяться в различных климатических, географических, геоморфологических условиях; ресурс временной опоры позволяет использовать ее в качестве опоры аварийного резерва на протяжении всего срока эксплуатации опоры (не менее 50 лет). После ремонта и установки основной опоры, быстромонтируемая опора демонтируется и возвращается на место хранения в аварийный резерв. Быстромонтируемая опора многоразовая и может быть применена повторно сразу после демонтажа.

Соответствие установленным требованиям

В результате выполнения НИОКР разработана конструкторская и технологическая документации для изготовления промежуточной быстромонтируемой опоры ПБМ 35(110)-1(т), в 2012 году получен патент на полезную модель «Быстромонтируемая опора линий электропередачи» от 01.06.2012 №120683 (правообладатель ПАО «Россети Сибирь»).

В 2014 изготовлен опытный образец опоры ПБМ 35(110)-1(т), проведены приемочные и сертификационные испытания на специализированном полигоне ООО «ФИРМА ОРГРЭС» (г. Хотьково, Московская область), по результатам, которых получен сертификат соответствия ГОСТ (от 21.10.2014 №1696897).

Практическое применение в «Россети Сибирь»

В сентябре 2015 года в филиале Кузбассэнерго-РЭС проведена противоаварийная тренировка с установкой на ВЛ образца быстромонтируемой опоры, без использования специальных машин.

С целью получения опыта использования быстромонтируемой опоры при проведении тренировки присутствовали технические специалисты всех филиалов Россети Сибирь. Комплект технической документации к быстромонтируемой опоре дополнен разработанными «Технологической картой по монтажу и установке быстромонтируемой опоры ПБМ 35(110)-1(т) на ВЛ 35-110 кВ», «Инструкцией по охране труда при выполнении работ по монтажу временной быстромонтируемой опоры типа ПБМ 35(110)-1(т)».

В 2017 году для филиалов Россети Сибирь изготовлено и поставлено 21 быстромонтируемая опора ПБМ 35(110)-1(т). При поступлении опор проведена их приемка путём сборки и подъёма тела опоры в рабочее положение, проведены противоаварийные тренировки, в условиях, максимально приближённых к реально возможной аварийной ситуации в труднодоступной местности: на одноцепных ВЛ 35-110 кВ произведена установка быстромонтируемых опор с подвеской проводов всех фаз, без использования для сборки опоры специальных машин и механизмов.

В 2018 году опора ПБМ 35(110)-1(т) использовалась при ликвидации технологического нарушения в филиале Алтайэнерго. При подъёме уровня воды в р. Ануй оказалась подтоплена часть опор ВЛ 110 кВ. В результате вымывания грунта у основания опоры произошло ее падение. Без электроснабжения остались 6 населённых пунктов Усть-Калманского района, ряд социальных объектов.

В связи с невозможностью проезда специальной техники к месту падения опоры по размытым подъездным путям и отсутствию возможности надежного закрепления новой железобетонной опоры в зоне подтопления, применена быстромонтируемая опора ПБМ 35(110)-1(т). Благодаря компактности в транспортном состоянии, опора в кратчайшие сроки была доставлена к месту монтажа и установлена на образовавшийся после разлива реки заболоченный участок. Тем самым в кратчайшие сроки обеспечено устранение причины технологического нарушения и восстановление нормальной схемы электроснабжения потребителей. После окончания паводка и восстановления подъездных путей, установлена стаци-

онарная железобетонная опора, демонтирована и размещена на склад опоры ПБМ 35(110)-1(т).

Успешное применение опоры ПБМ 35(110)-1(т) при ликвидации технологического нарушения в филиале Алтайэнерго, позволило в условиях реальной чрезвычайной ситуации подтвердить заявленные характеристики и преимущества опоры аварийного резерва.

В настоящее время изготовлено 48 быстромонтируемых опоры как для ДЗО ПАО «Россети» так и для предприятий нефтегазового комплекса.



Рис. 3. Сборка опоры ПБМ.

Грибовидные фундаменты повышенной долговечности. Проблематика и предпосылки выполнения НИОКР

Предпосылки к выполнению работы.

В Россети Сибирь при новом строительстве и реконструкции ВЛ 35–110 кВ преимущественно используются анкерные и анкерно-угловые решётчатые опоры с применением железобетонных грибовидных фундаментов.

Транспортировка цельных фундаментов, особенно на удаленные площадки строительства затруднительна. В процессе доставки такие фундаменты подвержены повреждениям, сколам и трещинам. Что негативно сказывается на сроках их службы.

Так же, актуальным является вопрос обеспечения долговечности железобетонных изделий, которая в большинстве случаев меньше срока службы металлических опор, что ведёт к существенным затратам при ремонте или их замене.

Фундаменты, разработанные в 80 годах прошлого столетия на основании требований ПУЭ-6 и СНиП, не соответствуют действующим нормам, утвержденным в период с 2003 по 2018 годы (ПУЭ-7, СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»), в том числе по несущей способности.

Ремонт находящихся в эксплуатации железобетонных фундаментов трудоемок и затратен, что в условиях широкого применения таких фундаментов и значительной удаленности объектов требует принятия мер.

Основные задачи создания и модернизации фундаментов

Исходя из проблематики были определены следующие задачи НИОКР:

- увеличение долговечности фундаментов до 60 лет, минимизация ремонтов в период эксплуатации;
- снижение стоимости грибовидных фундаментов с учетом доставки к месту монтажа и затрат на их эксплуатацию, в т.ч. за счёт уменьшения

объёма работ по ремонту из-за транспортировочных повреждений;

- выработка решений по составным и цельным унифицированным фундаментам, обеспечивающим их соответствие действующим нормативным документам;
- разработка документации по применению фундаментов, создание электронного каталога;
- обеспечение автоматизации процесса выбора и проверки фундаментов при проектировании ВЛ.

Далее рассмотрим, что было сделано для решения поставленных задач.

Увеличение срока службы и сокращение затрат на ремонт

Для увеличения срока службы и минимизации объемов ремонтов в период эксплуатации подобран оптимальный состав бетонной смеси с применением цемента ПЦ 500 и добавок с наночастицами. Это позволило снизить водопроницаемость бетона, повысить химическую и морозостойкость.



Рис. 4. Составные грибовидные фундаменты повышенной долговечности.

Предусмотренная прочность бетона на сжатие — не ниже В30, так же обеспечивает требуемую стойкость к внешним воздействиям.

Защитный слой бетона над стальной арматурой не менее 35 мм обеспечивает антикоррозионную защиту решетки на весь период эксплуатации.

В железобетонной конструкции стойки фундамента применён металлический оголовник. Такое решение исключает сколы и трещины узла при транспортировке, более устойчиво к влиянию агрессивной среды при эксплуатации.

Все внешние металлические элементы фундамента защищены горячим оцинкованием толщиной не менее 80 мкм.

В условиях сильно агрессивной среды рекомендована традиционная дополнительная вторичная защита бетона, в т.ч. покрытия и пропитки.

Оптимизация конструктивного исполнения фундаментов

При создании и проверке конструкции фундамента использованы современные программные комплексы численного моделирования.

Расчеты элементов и узлов фундаментов выполнены с помощью специализированных программных комплексов («Лири 10» версия 6, Midas GTS NX).

Для армирования фундаментных плит и железобетонных стоек предусмотрена арматура А500С.

Закладные детали и оголовник выполняются из листового проката по ГОСТ 19903 с маркой стали 09Г2С.

Разработано два варианта узла объединения стойки с фундаментной плитой:

Шпоночный – с повышенной коррозионной стойкостью и простой сборкой, однако имеющий ограничения по несущей способности при выдерживающих нагрузках.

И болтовой – с максимальной несущей способностью в том числе для фундамента высотой 5,2 м.

Элементы фундамента изготавливаются и транспортируются отдельно, объединяются на строительной площадке.

С учетом принятой вариативности конструкции каталог изделий включает 120 марок унифицированных фундаментов с выделением четырех групп по несущей способности.

Преимущества составных фундаментов

Информация о соответствии характеристик фундаментов требованиям действующих нормативных документов приведена в таблице на слайде.

Экономические преимущества применения составных фундаментов достигаются за счет снижения затрат на их изготовление, транспортировку и ремонт.

Снижение затрат на изготовление фундамента достигается за счет сокращения количества арматуры и расхода бетона.

Транспортировка более экономична за счет компактных размеров в разобранном состоянии.

Снижение затрат на ремонт достигается за счет меньшего объема выполняемых работ в связи с применением бетона повышенной прочности и стойкости к внешней среде, а так же применения металлического оголовника.

При увеличении ветровой нагрузки на опору на 33% и нагрузки на опору от проводов на 55% расчетная нагрузка на фундамент под промежуточную опору увеличивается на 44%, расчетная нагрузка на фундамент под анкерно-угловую опору увеличивается на 15%.

В соответствии с СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» толщина защитного слоя бетона должна быть не менее 35 мм (ранее 25 мм).

Использование арматуры класса А-III не обеспечивает требуемой несущей способности по параметрам допустимых деформаций в растянутой арматуре и сжатом бетоне при расчете прочности сечений на основе нелинейной деформационной модели, регламентированной, действующим СП 63.13330.2012.

Дефицит несущей способности достигает 15% для разных марок фундаментов.

В соответствии с письмом Департамента строительства и ЖКХ Минрегионразвития Российской Федерации от 28.09.2005 № 5780-ВД/70 обе серии переведены в разряд «материалов для проектирования» без права привязки с использованием их в качестве материалов при разработке конкретных проектов.

Как следует из сравнения значений коэффициентов, при больших значениях коэффициентов надежности по ответственности и регионального коэффициента, расчетные нагрузки по ПУЭ-7 существенно выше, чем по ПУЭ-6.

В ПУЭ-6 (приложение к главе II-5 «Общие положения, сочетания нагрузок») при расчете опор по прочности и устойчивости (первая группа предельных состояний) в аварийных режимах проводов и тросов расчетные нагрузки от веса гололеда, от давления ветра на опоры, провода и тросы и от тяжения проводов и тросов умножаются на коэффициенты сочетаний:

- 0,8 – при расчете промежуточных опор;
- 0,95 – при расчете анкерно-угловых опор.

По ПУЭ-7 (Общие требования 2.5.11) при расчете элементов ВЛ расчетные нагрузки могут дополнительно умножаться на коэффициенты сочетаний. При отсутствии указаний о значениях коэффициентов, они принимаются равными единице. В результате, тяжение в аварийных режимах при обрыве проводов и тросов при коэффициентах сочетаний равных единице для промежуточных опор увеличивается на 20%, для анкерно-угловых опор на 5%.

Определение условной горизонтальной нагрузки на промежуточную опору от расщепленного троса (из двух составляющих) в ПУЭ-7 производится следующим образом – $0,4T_{max}$, но не менее 20 кН, где T_{max} – наибольшая расчетная нагрузка от тяжения тросов.

Есть различие в расчете монтажного режима опор анкерного типа по ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Помимо различия в климатических условиях, по ПУЭ-7 тяжение

в смонтированных проводах и тросах принимается равным $0,6T_{max}$, где T_{max} – наибольшее расчетное горизонтальное тяжение проводов и тросов. Расчетные нагрузки, передаваемые на конструкции опор, получаются в результате умножения нормативных нагрузок на коэффициенты перегрузки, которые в свою очередь существенно отличаются от коэффициентов, принятых по ПУЭ-6. Расчетным режимом в результате такого сочетания условий для опор анкерного типа на маленьких углах поворота ВЛ может оказаться монтажный режим.

Разработанные фундаменты применимы для всех видов промежуточных и анкерных унифицированных решетчатых опор ВЛ 35-110 кВ.

Программный комплекс «Платан»

В рамках НИОКР разработан программный комплекс «Платан», который содержит полный электронный каталог разработанных и модернизированных изделий и позволяет автоматизировать процесс подбора и проверки фундамента.

Основные возможности комплекса представлены на слайде.

Применение комплекса позволяет сократить время проектирования, минимизировать ошибки.

Комплекс доступен для скачивания на сайте Россети Сибирь.

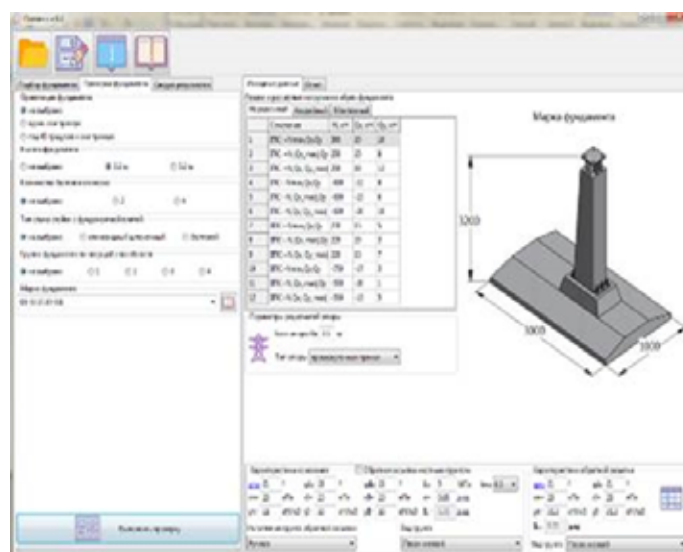


Рис. 5. Программный комплекс «Платан».

Фактические результаты НИОКР

Результаты работы:

- комплект конструкторской и технологической документации на составные и модернизированные цельные железобетонные фундаменты для опор ВЛ 35-110 кВ
- методические указания по подбору и проверке фундаментов.
- общедоступный программный комплекс для подбора фундаментов и проверки их несущей способности.

Результаты испытаний опытных образцов на полигоне «ОРГРЭС» в Хотьково подтвердили корректность расчетов и их соответствие требованиям нормативной и разработанной документации.

Технические решения по узлу соединения защищены патентами РФ.

Получено свидетельство о государственной регистрации ПК «Платан».

Плановые объекты внедрения в «Россети Сибирь» так же представлены на слайде, реализуется стадия проектирования.



Рис. 6. Испытание на растяжение.



Рис. 7. Испытание на сжатие.

Тиражирование

В целях коммерциализации результатов НИОКР, Россети Сибирь заключены лицензионные договоры со следующими производителями:

На производство опор типа ПБМ 35(110)-1(т)

1. ООО «Завод металлических конструкций Сибири» г. Красноярск.
2. ОАО «Мелеузовский завод металлоконструкций», г. Мелеуз, Башкортостан.
3. ООО «ОЛАНД ПРОМТЕХМОНТАЖ», г. Москва.

На производство фундаментов:

1. ООО «СевЗапРегионСтрой», г. Москва.
2. ПАО «Уяржелезобетон», г. Уяр.

Контакты для заключения договоров на поставку быстровозводимых опор и составных фундаментов представлены на слайде.

Все лицензионные договоры прошли государственную регистрацию в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности».

Предложения

1. Россети Сибирь предоставить участникам Конференции каталог разработанных составных и цельных модернизированных фундаментов, методические указания по их применению и ПК «Платан», стандарт ПАО «Россети» по применению быстровозводимой опоры типа ПБМ-110-1(т).

2. Рекомендовать при новом строительстве и реконструкции ВЛ 35-110 кВ рассматривать применение разработанных в рамках НИОКР «Россети Сибирь» составных и цельных модернизированных грибовидных фундаментов повышенной долговечности, для комплектования аварийного запаса ВЛ 35-110 кВ использовать быстровозводимую опору типа ПБМ-110-1(т). ■

ПАО «РОССЕТИ СИБИРЬ»

Красноярск

8 (800) 1000-380

info@rosseti-sib.ru

www.mrsk-sib.ru

К СОДЕРЖАНИЮ