

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ К ВОЗДУШНЫМ ЛИНИЯМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Н.В. Савина, А.О. Варыгина

Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

Одним из главных векторов развития отрасли является переход на путь инновационных и энергоэффективных технологий, использование научного и инновационного потенциала электросетевого комплекса. Традиционные технические решения, основанные на общепринятых методиках проектирования, не позволят осуществить такой переход и в полной мере получить ожидаемые качественные и количественные эффекты поставленных стратегических задач. Наблюдается рост требований к повышению надежности, экономичности, экологичности и эффективности работы электросетевых объектов, и в первую очередь воздушных линий электропередачи (ВЛЭП). Для удовлетворения перечисленных требований в качестве основного решения предлагается внедрение воздушных линий нового поколения. Особенности проектирования ВЛ нового поколения в первую очередь связаны с выбором: инновационной марки провода и его экономически целесообразным сечением, специальной конструкции опор, современной изоляции, а также грозотроса при его необходимости. Целью статьи является исследование влияния инновационных элементов ВЛЭП на результат проектирования, основанный на общепринятой методической и нормативной базе. Исследование вопроса реализовано с помощью системного подхода. В статье представлены особенности инновационных элементов ВЛ нового поколения и показано, что требования нормативных документов в ряде случаев не отвечают применяемым в настоящее время техническим решениям, современным технологиям и принципам. Обоснована необходимость разработки современных методических подходов к проектированию ВЛЭП.

Ключевые слова: электрическая сеть, воздушная линия электропередачи, конструктивное исполнение, опоры, провод, изоляция, грозотрос.

Введение

Единая электроэнергетическая система (ЕЭС) России остро нуждается в применении новых энергоэффективных технологий и высоконадежного оборудования. Об этом свидетельствуют как морально и физически устаревшие фонды ЕЭС, так и современные рыночные условия функционирования электроэнергетики. В соответствии с [1, 2] одним из главных векторов развития отрасли является переход на путь инновационных и энергоэффективных технологий, использование научного и инновационного потенциала электросетевого комплекса. Традиционные технические решения, основанные на общепринятых методиках проектирования, не позволят осуществить такой переход и в полной мере получить ожидаемые качественные и количественные эффекты поставленных стратегических задач.

Технологической и идеологической основой модернизации и развития как электроэнергетики во всём мире, так и ЕЭС России, определена интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС), при создании которой особая роль отводится электрической сети [3].

Современные тенденции в области электроэнергетики показывают рост требований к надежности, экономичности, экологичности и эффек-

тивности работы электросетевых объектов, и в первую очередь воздушных линий электропередачи (ВЛЭП). Для удовлетворения перечисленных требований в качестве основного решения предлагается внедрение воздушных линий (ВЛ) нового поколения.

Под ВЛ нового поколения подразумеваются воздушные трехфазные одноцепные и многоцепные линии электропередачи, созданные с использованием принципиально новых технических решений в части их схемно-конструктивного исполнения, компоновки средствами управления и применением нетрадиционных способов регулирования параметров режимов [4]. Всё это позволяет говорить о том, что появились совершенно новые принципы формирования и функционирования систем передачи и распределения электроэнергии, требующие изучения.

Постановка задачи

Переход электросетевого комплекса на инновационный путь развития вызывает необходимость оценить готовность нормативно-правовой базы к такому переходу и заставляет заново переосмыслить традиционные методические подходы к проектированию новых объектов. Эти методики в большинстве своём были разработаны несколько десятилетий назад при плановой экономике и ос-

нованы на ряде допущений, которые на сегодняшний день могут привести к снижению эффективности.

Целью статьи является исследование влияния инновационных элементов ВЛЭП на результат проектирования, основанный на общепринятой методической и нормативной базе.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть особенности инновационных элементов ВЛ нового поколения, влияющие на результат проектирования;

- провести анализ основных применяемых методических подходов к проектированию ВЛЭП и основных документов, составляющих нормативно-правовую базу, регламентирующую их проектирование;

- провести исследование возможности и целесообразности применения традиционных методических подходов к проектированию ВЛ нового поколения.

Особенности инновационных элементов ВЛ нового поколения, влияющие на результат проектирования

Общая задача проектирования электросетевых объектов сводится к выбору рациональных решений и их наилучших параметров с последующим выбором наиболее эффективного. Одной из самых важных исходных данных является величина передаваемой мощности, которая определяет конструкцию проводов и линии в целом. Как правило при сетевом строительстве конструкции ВЛЭП позволяли обеспечить пропускную способность, близкую к минимальной, с целью обеспечения экономии металла и капиталовложений. Возникшие ограничения пропускной способности не могли не сказаться на надежности электроснабжения и ведении режимов. В рыночных условиях наличие свободной располагаемой мощности становится ещё более значимым.

Основываясь на вышесказанном, на результат проектирования ВЛЭП непосредственное влияние окажет выбор: марки провода и его экономически целесообразного сечения – для обеспечения необходимой пропускной способности; конструкции опор – для обеспечения механической прочности; изоляции, а также средств грозозащиты – для обеспечения надежной работы и защиты объекта. Следовательно, необходимо рассмотреть особенности инновационных элементов ВЛЭП, влияющие на результат проектирования.

При создании ВЛ нового поколения важная роль отводится проводам, номенклатура которых уже достигла нескольких десятков наименований и в дальнейшем будет только расширяться. Разные сечения как традиционных (сталеалюминиевых), так и инновационных проводников определяют пропускную способность провода, его вес на еди-

ницу длины, прочность конструкций, расход металла, размер капиталовложений и последующих издержек.

Уже неоднократно была доказана технико-экономическая целесообразность применения современных проводов, которые позволяют существенно повысить пропускную способность линий, снизить потери электроэнергии и обладают улучшенными физико-техническими характеристиками [5–8], что в результате окажет влияние на эффективность функционирования рынков энергии и мощности и качество управления режимами.

Например, коэффициент теплового расширения высокотемпературного провода ниже, чем у провода АС, что обеспечивает меньшее провисание. Данный факт представляет непосредственный интерес для сетевых компаний, которые должны следить за соблюдением габарита между землей и фазными проводами ВЛ. Хорошо известно, что при протекании электрического тока металл нагревается и расширяется. Как следствие, наблюдается провисание провода. Поскольку расстояние от провода до земли нормируется, то имеет место ограничение в плане тепловых характеристик линии и соответственно ее пропускной способности. Стрела провеса провода нового поколения будет меньше по сравнению со сталеалюминиевым проводом. Это позволит решить проблему обеспечения габаритов линий электропередачи при больших перепадах (реки, преграды, ущелья и др.), к тому же разрывное усилие инновационных проводов больше, чем у провода АС, значит, механическая прочность – выше. В результате при расстановке опор на продольном профиле будет наблюдаться снижение количества пролётов, что позволит уменьшить количество опор, изоляторов и других элементов по сравнению с традиционным исполнением ВЛ.

При проектировании важным фактором, влияющим на конечное принятие решения, являются конкретные климатические условия объекта проектирования. Так, при неблагоприятных климатических условиях (например, интенсивное гололёдообразование, налипание снега) механические характеристики проводов нового поколения могут стать решающим обстоятельством их применения. Ярким подтверждающим примером является применение провода АЕРО-Z, несмотря на стоимость, превосходящую примерно в шесть раз стоимость провода АС [8].

Преимущества применения специальных проводов очевидны. Они позволяют модернизировать электрическую сеть и в некоторых случаях отойти от таких классических подходов, как строительство новых ВЛ, увеличение сечения провода АС, повышение номинального напряжения ВЛ. Согласно [8] для эффективного и динамичного развития электрических сетей России необходимо разработать и утвердить «Методику экономиче-

ской оценки целесообразности применения проводов повышенной пропускной способности».

Следующий не менее важный элемент анализа – это опоры. На сегодняшний день, уровень развития техники и технологий, разработка новых изоляционных материалов, существенные изменения конструкции проводов, массовое сетевое строительство показали необходимость и возможность использования новых конструкций опор.

За многие десятилетия сложилась практика применения деревянных (ДО), железобетонных (ЖБО) и металлических решетчатых (МРО) опор традиционных конструкций.

В результате осознанной необходимости и возможности объединения в одной опоре положительных качеств МРО и ЖБО появились многогранные металлические опоры (ММО) [9]. Основные преимущества ММО: надежность, адаптивность, хорошая транспортабельность, долговечность, эстетичность, простота и удобство монтажа. И несмотря на то, что в развитых странах ММО применяются уже давно, в России их начали применять сравнительно недавно.

В 2009 году в России появились композитные опоры (КО). Основа материала опор – стекловолокно. В работах [10–11] раскрыты основные характеристики и преимущества таких опор, в том числе их малый вес и высокие диэлектрические свойства. Не стоит забывать и о появившихся изолирующих траверсах, выполненных из композитных материалов, обеспечивающих высокие диэлектрические свойства.

Но исследования ведутся не только по пути разработки новых конструкций, но и улучшения уже существующих традиционных [12–13].

В качестве примера приведём в табл. 1 краткую характеристику улучшенных и обычных промежуточных опор ВЛ 10 кВ: деревянных пропитанных опор (ДПО), традиционных ЖБО, новых ММО и КО.

Необходимо отметить, что новые типы опор в отличие от традиционных не всегда унифицированы, что существенно скажется на выборе экономически целесообразного сечения ВЛ. Например, разные производители композитных опор используют различные способы их намотки и модифицируют состав самого композитного материала, получая продукт, отличающийся по своим свойствам и стоимости от конкурентов. При плановой экономике главным критерием оптимизации конструк-

тивного исполнения опор являлся только минимум расхода материала. Но политика унификации прошлых лет в результате электросетевого строительства привела к значительному перерасходу материалов, хотя и имела определённые преимущества. При большом разнообразии климатических и географических условий существующая унификация конструктивных решений не сможет удовлетворить в современных условиях требования инвесторов, ведь она не позволяет использование инноваций и улучшения конструкций.

Кроме этого, интенсивное развитие городов, рост спроса на электрическую энергию и ужесточение территориальных и иных ограничений в совокупности породили тенденцию применения многоцепных и комбинированных ВЛ с различным взаимным расположением проводов и опор нестандартной компоновки. Большая часть ВЛ в СССР и Российской Федерации сооружалась и сооружается на традиционных одно- и двухцепных опорах. Первоначально расположение проводов для одноцепных опор было горизонтальным, а потом – треугольником. Для двухцепных опор основной принцип расположения проводов, несмотря на формы вариации, являлся постоянным и состоял в симметричности относительно оси опоры. Но в результате индивидуального проектирования стали чаще появляться как многоцепные опоры, так и одно- и двухцепные опоры нестандартной компоновки — «вертикаль», все провода друг над другом. Если говорить о разнице между понятиями «многоцепная» и «комбинированная» ВЛ, то в первом случае подразумевается, что более двух комплектов фазных электрических проводов имеют одно номинальное напряжение, а во втором – разное [14].

Существовавшие подходы к организации изоляции во время унификации конструкций опор исключали возможность сближения проводов соседних фаз для любого класса номинального напряжения. Но сейчас изолирующие распорки позволяют выполнить установленные требования.

Изменение конструктивного исполнения опор уже нашло широкое применение во всём мире и в дальнейшем будет только набирать обороты.

В части улучшения качества изоляции в настоящее время получено множество решений, таких как:

– изоляторы, которые могут быть использованы в областях с высокой грозовой активностью

Таблица 1

Краткая характеристика промежуточных опор ВЛ 10 кВ

Опора	ДПО	ЖБО	ММО	КО
Высота опоры, м	11	11	11	11,4
Масса в сборе, т	0,350	1,130	0,300	0,205
Расчётный изгибающий момент, кН·м	70	50	60	100
Долговечность, лет	40	25	50	60
Стоимость, тыс. руб.	4,300	10,230	30,810	45,247

Конструктивные изменения элементов ВЛ

Элемент	Изменения по сравнению с традиционным исполнением	Изменившиеся параметры ВЛ
Опоры	1. Увеличилось разнообразие видов конструкции (многогранные и композитные опоры). 2. Появились различные вариации многоцепных конструкций. 3. Применяется различное взаимное расположение проводов.	Габарит ВЛ, отвод земли, тип и размер опор, стрела провеса, длина пролета, механическая прочность, пропускная способность, сечение провода, показатели грозоупорности, импульсная прочность линейной изоляции, тросовая защита, стоимость
Провода	Увеличилось разнообразие новых конструкций за счёт: – использования современных материалов повышенной прочности и проводимости, обладающих стойкостью к повышенным нагрузкам; – изменения формы токопроводящих проволок	
Средства грозозащиты	1. Совмещение оптоволокну и грозотроса. 2. Применение ОПН	
Изолирующая подвеска	1. Изменение формы изоляторов. 2. Применение современных изолирующих материалов. 3. Сочетание различных изолирующих материалов	

(пример: ШС 10Е(Д) – инновационная двукрылая форма);

– сочетание материалов при производстве изоляторов (примеры: силиконовое покрытие стеклянных изоляторов для увеличения гидрофобности; сочетание стекла с полимерными материалами для улучшения характеристик без существенного удорожания продукта);

– применение современных изолирующих материалов и др.

Более того, важно понимать, что применение композитных опор уже само по себе меняет изоляционные свойства линии электропередачи.

Новые технические решения в части схемно-конструктивного исполнения ВЛЭП окажут непосредственное влияние на её эксплуатационные характеристики, ведь их определяют элементы, входящие в её состав. Обобщим в табл. 2 изменения, которые претерпели элементы ВЛ нового поколения по сравнению с традиционным исполнением, а также основные параметры ВЛ, подвергшиеся изменению.

Таким образом, ВЛ нового поколения значительно отличается от ВЛ традиционного исполнения, о чём говорит большой ряд изменившихся параметров. Улучшение технических, экологических, эстетических, режимных параметров и снижение издержек граничит с увеличением капиталовложений. Следовательно, необходим новый комплексный подход к технико-экономическому обоснованию ВЛ нового поколения и её элементов в проектной документации.

Нормативно-правовая база проектирования ВЛ

При новом строительстве и модернизации каждой ВЛ составляется детальный проект, в котором учитывается большое количество параметров

и характеристик, начиная от трассы ВЛ и заканчивая затратами на реализацию проекта. В любом проекте можно увидеть следующие формулировки: «Все технические решения приняты и разработаны в полном соответствии с действующими на дату выпуска проекта Нормами и Правилами», «Раздел проекта разработан согласно и с учетом требований действующих нормативов» или похожие им по смыслу.

Проектирование ВЛЭП – процесс сложный и многоэтапный. Каждый элемент играет очень важную роль, а неверно принятое решение может не только не дать ожидаемые эффекты, но нанести ущерб. В совокупности это объясняет необходимость регламентирования процесса проектирования на каждом его этапе. К основным нормативам и стандартам при подготовке проектов относятся ГОСТы, СНиПы и ПУЭ. Рассмотрим подробнее «ядро» нормативно-правовой базы, регламентирующей проектирование, и оценим, насколько учтены особенности ВЛ нового поколения в нём.

В самом начале любого проекта обязательно просчитывается отвод земли для его реализации. В [15] конкретные размеры земельных участков или их частей, изымаемых во временное и постоянное пользование, в проектной документации берутся из [16], где соответствующие площади и полосы рассчитаны для опор традиционных конструкций. Для других вариантов расчёт приходится выполнять собственноручно.

Основополагающим нормативным документом отрасли является [17], утвержденный приказом Минэнерго России от 20.05.2003 № 187. Требования [17] обязательны для всех организаций, поэтому именно на них в первую очередь опирается инженер. Важной особенностью этого документа является то, что он подвергается пересмотру и текущая редакция – уже седьмая по счёту. Но тут

же возникает вопрос: насколько актуальной является представленная в нём информация? Рассмотрим несколько глав, относящихся к ВЛ: «Воздушные линии электропередачи напряжением свыше 1 кВ» (глава 2.5) и «Изоляция ВЛ» (глава 1.9).

Все элементы ВЛ должны соответствовать главе 2.5 [17], но в ней не предусмотрены инновационные элементы ВЛ нового поколения. Так, например, минимально допустимые сечения проводов по условиям механической прочности, допустимое механическое напряжение в проводах и тросах ВЛ напряжением выше 1 кВ и физико-механические характеристики даны для проводов сталеалюминиевых, стальных, алюминиевых и из не термообработанного и термообработанного алюминиевого сплава. В свою очередь минимальные диаметры проводов ВЛ по условиям короны и радиопомех даны лишь для провода АС. Провод АС выбирается согласно [17] по методу экономической плотности тока, который справедлив лишь для одноцепных ВЛ. В разделе «Защита от перенапряжений, заземление» главы 2.5. не представлены требования относительно композитных опор.

В разделе «Изоляция ВЛ» [17] регламентируется принимать значения различных показателей (удельная эффективная длина пути утечки, количество изоляторов, изоляционные расстояния) на основе данных, определенных для традиционных металлических и железобетонных опор.

В итоге, появившиеся в России только в 2009 году композитные опоры, инновационные проводники и связанные с ними технические особенности не отражены в действующей редакции [17], которая была введена в действие 01.01.2003.

Следует отметить, что 01.06.2018 впервые введены в действие два ГОСТа, распространяющиеся на композитные опоры напряжением 6–20 кВ [18] и 35–220 кВ [19]. Этот шаг является отражением статьи 26 [20], но он не является полным. Эти ГОСТы не представляют все классы напряжения, на которые разработаны композитные опоры в России (0,4 кВ). [19] не включает в себя анкерные, анкерно-угловые и ответвительные композитные опоры на классы напряжения 35–220 кВ.

Дополнительно хотелось бы отметить проблему определения сметной стоимости проектов ВЛ нового поколения. Приказ Минэнерго России от 17.01.2019 г. № 10 [21] определяет базовые нормативы и финансовую потребность в отношении типовых технологических решений, в том числе ВЛ 0,4–750 кВ. При определении сметной стоимости ВЛ 0,4–750 кВ в таблицах, определяющих норматив цены для отдельных элементов (в части опор), укрупнённый норматив цены (УНЦ) выделен только для многогранных опор. Для остальных опор предусмотрена формулировка «все типы опор, за исключением многогранных». И здесь возникает вопрос: неужели композитные опоры объединены с традиционными или же про-

сто не учтены? С таким подходом определение сметной стоимости ВЛ с композитными материалами становится невозможным и возникает риск исключения инновационного элемента на стадии согласования инвестиционных программ сетевых компаний в Минэнерго России по причине превышения УНЦ проекта.

Таким образом, на любом этапе проектирования возникают сложности нормативно-правовой обоснованности ВЛ нового поколения. Происходящие изменения, обусловленные особенностями новых технических решений, по большей части не нашли отражение в нормативно-правовой базе.

Как же тогда справляются организации отрасли? Электросетевые компании пересматривают положения о технической политике и вносят поправки, а также выпускают собственные стандарты (СТО). Так, в подразделе «Методические подходы при проектировании» раздела «Воздушные линии электропередачи» [22] наметился вектор использования современных разработок (композитных опор, изолирующих траверс и др.), но при соответствующем технико-экономическом обосновании или только в местности, характеризующейся неблагоприятными климатическими условиями, с целью снижения ущерба от массовых повреждений. Вот только другая организация уже не сможет опираться на подобный документ и будет вынуждена разрабатывать свой. Ярким примером СТО является стандарт ПАО «ФСК ЕЭС» [23], устанавливающий нормы технологического проектирования ВЛЭП напряжением 35–750 кВ. В [23] указывается, что при проектировании ВЛ должно быть обеспечено внедрение прогрессивных проектных решений и возможно применение индивидуальных конструкций, но нормативно опирается на требующие актуализации документы.

Так называемое индивидуальное проектирование становится более востребованным, а инновационные технические решения внедряются всё чаще. Утвержденные отдельные документы и стандарты организаций могут действовать внутри организации, которая их утвердила, но возникает вопрос насколько правомочно их использование другими.

В итоге, проблема отставания нормативно-правовой базы от современных тенденций развития электросетевого комплекса налицо. Особенности ВЛ нового поколения учтены не полностью в нормативно-правовых документах федерального уровня, хотя и предпринимаются определённые шаги в этом направлении.

Методические подходы к проектированию ВЛЭП

Рассмотрим, с чем придётся столкнуться инженеру при разработке и экспертизе проектной документации в части методических подходов к проектированию ВЛ нового поколения.

Характеристика методических подходов к проектированию ВЛ

Элемент	Методические подходы к проектированию		Вывод
	СССР	В настоящее время	
Провод	1. Коэффициент дефицитности металла. 2. Метод экономической плотности тока. 3. Метод экономических токовых интервалов	1. Метод экономической плотности тока 2. Метод экономических токовых интервалов	На сегодняшний день не существует обоснованной методики выбора сечений проводников ЛЭП по нормируемым обобщенным показателям
Опора	1. Экономия материалов. 2. Унификация конструкций. 3. Строительные нормы и правила, введенные в 1963 г.	Стандарты предприятия позволяют применять как унифицированные, так и новые конструкции	Отсутствует единый подход на уровне отрасли, зачастую в проектах даже не рассматривается применение новых опор
Грозотрос	Методические указания, разработанные в СССР в 1976 г.	Стандарты предприятий [28, 29]	Актуален вопрос о необходимости пересмотра и переработки действующих норм
Изоляция	1. Опыт эксплуатации ВЛ. 2. Применение стеклянных и фарфоровых изоляторов	Инструкция [30] и стандарты организаций	

В [24, 25] авторами проведён анализ методов выбора сечений проводников и на конкретном примере доказано, что ни метод экономической плотности тока (ЭПТ), ни метод экономических токовых интервалов (ЭТИ) выбрать сечение инновационного проводника не позволяет. Даже пере-счёт существующих значений экономической плотности тока и экономических токовых интервалов не позволит решить проблему. Но метод ЭПТ закреплён в [17], и СТО [23] тоже ссылается именно на него. Однако этот метод имеет множество допущений и недостатков, а также был просчитан в 50-х годах XX века. Получается, что, несмотря на все современные тенденции, для выбора сечений провода методически следует пользоваться устаревшей ЭПТ. Метод ЭТИ нормативно не закреплён, хоть и имеет преимущества перед ЭПТ и приводится в технической литературе, например, в [26]. Можно сказать, что обоснованной методики выбора сечений проводов просто нет. Применение устаревших методов будет некорректным даже к традиционным проводам, а к проводам нового поколения и вовсе ошибочным.

Говоря о системе молниезащиты, ряд нормативных документов, используемых в настоящее время, был выпущен более 15 лет назад, а некоторые документы – более 20 лет. Переизданные нормы, как правило, не отличаются в принципиальных подходах от ранее изданных. В связи с этим до сих пор актуален вопрос о необходимости пересмотра и переработки действующих норм.

Методика расчёта удельной грозоупорности ВЛЭП изложена в [27]. В [27] предлагается оценивать удельное число грозовых отключений, учитывая лишь усредненные показатели ВЛЭП, такие как сопротивление заземления опор, тип опор, а

также суммарная длина линии. Учёт индивидуальных параметров опор и пролётов, различие между которыми может достигать значительных значений, не предусмотрен. А с учётом инновационных элементов ВЛЭП и изменением её характеристик эта проблема становится лишь острее.

Представим в табл. 3 характеристику методических подходов к проектированию ВЛ в части выбора проводника и его сечения, опоры, а также грозотроса и изоляции.

Таким образом, единого методического подхода, а тем более документа для проектирования ВЛ нет. Отдельные стандарты организаций вроде и позволяют при соответствующем технико-коммерческом обосновании применение инновационных элементов ВЛ, но не учитывают все правовые и современные особенности.

Заключение

Приведенный анализ показал, что Россия значительно отстаёт от развитых стран на технологическом уровне, а отечественный инженер и проектировщик не обладают соответствующим инструментарием для внедрения ИЭС ААС. Все эксплуатационные параметры ВЛ оцениваются по устаревшим методикам.

Анализ состояния проблемы исследования позволяет сделать следующие выводы.

1. Соответствовать современным требованиям на старой технической и технологической базе становится труднее, а в некоторых случаях – невозможно.

2. При проектировании ВЛЭП необходимо обоснованно внедрять прогрессивные технические решения, современные материалы и технологии, направленные на улучшение её эксплуатационных

характеристик. Необходим комплексный подход к технико-экономическому обоснованию предлагаемых решений в проектной документации.

3. Наблюдается постепенный переход к индивидуальному проектированию электросетевых объектов и отход от применения унифицированных конструкций, что обосновывает пересмотр методической и нормативной базы, применяемой при проектировании.

4. Требования нормативных документов не гармонизированы с технологическими изменениями, происходящими в отрасли, или успели устареть, а следовательно, требования нормативных документов в ряде случаев не отвечают применяемым в настоящее время техническим решениям, современным технологиям и принципам.

5. Наблюдается отставание в методических подходах под инновационное проектирование, в частности, остро необходима разработка современных методических подходов к проектированию ВЛЭП.

Важно учитывать, что модернизация сетевого комплекса является сложным и многофакторным процессом, основой которого должно стать согласованное и комплексное применение инновационных технологий наряду с традиционными решениями. Только такой подход с учётом реальных технико-экономических, экологических, режимных и климатических условий позволит достичь максимальных положительных как технических, так и экономических эффектов.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утв. распоряжением Правительства от 13.10.2009 № 1715-р. – <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96681> (дата обращения: 23.03.2019).

2. Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации, утв. распоряжением Правительства от 03.04.2013 № 511-р. – <http://government.ru/docs/all/86843> (дата обращения: 23.03.2019).

3. Основные положения Концепции развития интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. – М.: Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы, 2012. – 51 с.

4. Методические подходы к выбору вариантов линий электропередачи нового поколения на примере ВЛ-220 кВ / В.М. Постолатий, Е.В. Быкова, В.М. Суслов и др. // Проблемы региональной энергетики. – 2010. – № 2. – С. 1–18.

5. Федоров, Н.А. Провода нового поколения и вопросы надежности ЛЭП // Материалы международной научно-практической конференции «Работы систем электроснабжения в условиях гололедно-ветровых нагрузок». Уфа, 19 октября 2016 г. – Уфа: Изд-во ГОУ ВПО «Уфимский госу-

дарственный авиационный технический университет», 2016. – С. 42–49.

6. Котов, Р.В. Инновации в производстве проводов для ЛЭП / Р.В. Котов // Энергия единой сети. – 2015. – № 1 (18). – С. 18–24.

7. Варыгина, А.О. Оценка целесообразности применения на ВЛ проводников нового поколения / А.О. Варыгина, Н.В. Савина // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г.Ю. Гуляева. – Пенза: Изд-во «Наука и Просвещение», 2017. – С. 50–55.

8. Колосов, С.В. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений / С.В. Колосов, С.В. Рыжков. – М.: ЗАО НТЦ «Электросети», 2011. – 36 с.

9. Вариводов, В.Н. Стальные многогранные опоры для распределительных электрических сетей / В.Н. Вариводов, С.Е. Казаков, В.М. Ударов // Электро. – 2005. – № 2. – С. 37–42.

10. Репина, А.И. Промежуточные опоры из композитных материалов для ВЛ 110–220 кВ / А.И. Репина, О.А. Савотин, А.И. Павлов // Энергия единой сети. – 2014. – № 2 (13). – С. 52–59.

11. О разработке промежуточных опор из композитных материалов воздушных линий электропередачи напряжением 0,4 и 6–10 кВ / С.С. Рахматуллин, М.Н. Голота, А.Н. Мельденберг, П.В. Осипов // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – 2017. – № 1 (40). – С. 6–13.

12. Сесюк, Е. Какой должна быть опора ЛЭП? / Е. Сесюк // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – 2012. – № 2 (11). – С. 134–135.

13. Качановская, Л. Железобетонная опора из секционированных центрифугированных стоек для ВЛ 500 кВ / Л. Качановская, П. Романов, С. Касаткин // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – 2015. – № 6 (33). – С. 66–69.

14. Высотные опоры в индивидуальном проектировании воздушных линий / Д.Н. Смазнов, С.В. Родчихин, А.В. Москалев, К.Н. Зимин // Энергия единой сети. – 2017. – № 1 (30). – С. 38–45.

15. Правила определения размеров земельных участков для размещения воздушных линий электропередачи и опор линии связи, обслуживающих электрические сети, утв. постановлением Правительства РФ от 11.08.2003 № 486. – <https://base.garant.ru/12132072> (дата обращения: 23.03.2019).

16. Нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38–750 кВ № 14278ТМ-Т1. – Введ. 1994-06-01. – М.: Минтопэнерго, 1994. – 12 с.

17. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – СПб.: ДЕАН, 2008. – 704 с.

18. ГОСТ Р 58021–2017. Опоры композитные полимерные для воздушных линий электропередачи напряжением 6–20 кВ. Общие технические условия. – Введ. 2018-06-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2018. – 22 с.

19. ГОСТ Р 58018–2017. Опоры промежуточные композитные полимерные для воздушных линий электропередачи напряжением 35–220 кВ. Общие технические условия. – Введ. 2018-06-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2018. – 22 с.
20. Федеральный закон от 29 июня 2015 г. N 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». – <https://base.garant.ru/71108018> (дата обращения: 24.03.2019).
21. Приказ Минэнерго России от 17.01.2019 года № 10 «Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов энергетики в части объектов электросетевого хозяйства». – <https://minenergo.gov.ru/node/13918> (дата обращения: 14.04.2019).
22. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе», утв. протоколом от 22.02.2017 № 252. – <https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika.pdf> (дата обращения: 24.02.2019).
23. СТО 56947007-29.240.55.016-2008. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ. – Введ. 2008-10-24. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2008. – 42 с. – (Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС»).
24. Варыгина, А.О. Развитие методов выбора сечений проводников и их адаптация к современным условиям / А.О. Варыгина, Н.В. Савина // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2018. – № 81. – С. 50–55.
25. Varygina, A.O. The influence of new functional properties of active-adaptive electrical networks on the correctness of selection and verification of conductor cross-sections by existing methods / A.O. Varygina, N.V. Savina // Proceedings of the IEEE International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 3–4 October 2018. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602740
26. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии / под ред. В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского и др. – 9-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 964 с.
27. РД 153-34.3-35.125-99. Руководства по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозозащитных и внутренних перенапряжений / под науч. ред. Н.Н. Туходеева. – 2-е изд. – СПб.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 353 с.
28. СТО 56947007-29.060.50.015-2008. Грозозащитные тросы для воздушных линий электропередачи 35–750 кВ. – Введ. 2008-07-15. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2008. – 16 с. – (Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС»).
29. СТО 56947007-33.180.10.173-2014. Методические указания по расчету термического воздействия токов короткого замыкания и термической устойчивости грозозащитных тросов и оптических кабелей, встроенных в грозозащитный трос, подвешиваемых на воздушных линиях электропередачи. – Введ. 2014-05-21. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2014. – 80 с. – (Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС»).
30. РД 34.51.101-90. Инструкции по выбору изоляции электроустановок. – Введ. 1990-04-23. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1990. – 84 с.

Савина Наталья Викторовна, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Энергетика», проректор по учебной работе, Амурский государственный университет, г. Благовещенск; nataly-savina@mail.ru.

Варыгина Александра Олеговна, аспирант, кафедра «Энергетика», Амурский государственный университет, г. Благовещенск; alleks_13@mail.ru.

Поступила в редакцию 15 мая 2019 г.

TESTING THE APPLICABILITY OF EXISTING APPROACHES TO NEXT-GEN OPL DESIGN

N.V. Savina, nataly-savina@mail.ru,
A.O. Varygina, alleks_13@mail.ru

Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation

Power engineering currently seeks, among other things, to use innovative energy-efficient technology and to benefit from the R&D potential associated with grids. Conventional solutions based on general design methodologies are a hindrance in this respect, as they prevent the strategic objectives from having the expected quantitative and qualitative effects in full. Requirements to the reliability, cost-effectiveness, and performance of grid facilities are ever stricter, specifically those to overhead power lines (OPL). Next-gen power lines are proposed as a solution. What makes a power line design next-gen? An innovative wire of cost-effective cross-section, a special tower design, state-of-the-art insulation and ground wire, if necessary. The paper seeks to investigate how innovative OPL components affect the design outcomes from the standpoint of common guidelines and standards. The research uses a systematic approach and presents the specifics of innovative next-gen OPL components to show that standards are sometimes obsolete and do not match the today's state-of-the-art solutions. The paper advocates the development of newer standards and guidelines on OPL design.

Keywords: electric grid, overhead power line, design, towers, wire, insulation, ground wire.

References

1. *Energeticheskaya strategiya Rossii na Period do 2030 goda, utv. rasporyazheniem pravitel'stva ot 13.10.2009 № 1715-r* [Russia's Energy Strategy for the Period up to 2030, Approved Government Decree of 13.10.2009 no. 1715-p]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96681> (accessed 23.03.2019).
2. *Strategiya razvitiya elektrosetevogo kompleksa rossiyskoy federatsii, utv. rasporyazheniem Pravitel'stva ot 03.04.2013 № 511-r* [The Development Strategy of the Electric Grid Complex of the Russian Federation, Approved Order of the Government of 03.04.2013 no. 511-p]. Available at: <http://government.ru/docs/all/86843> (accessed 23.03.2019).
3. *Osnovnyye polozheniya Kontseptsii razvitiya intellektual'noy elektroenergeticheskoy sistemy Rossii s aktivno-adaptivnoy set'yu* [The Main Provisions of the Concept for the Development of the Intelligent Electric Power System of Russia with an Actively-Adaptive Network]. Moscow, Scientific and Technical Center of the Federal Grid Company of the Unified Energy System, 2012. 51 p.
4. Postolatiy V.M., Bykova E.V., Suslov V.M., Shakaryan Yu.G., Timashova L.V., Kareva S.N. [Methodical Approaches to the Choice of Options VL-220 kV New Generation]. *Problemy Regional'noy Energetiki* [Problems of Regional Energy], 2010, no. 2, pp. 1–18. (in Russ.)
5. Fedorov N.A. [New Generation Wires and Power Transmission Reliability Issues]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Raboty sistem elektrosnabzheniya v usloviyakh gololedno-vetrovykh nagruzok"*. Ufa, 19 oktyabrya 2016 g. [Materials of the International Scientific-Practical Conference "Works of Power Supply Systems in Icy-wind Loads"]. Ufa, GOU VPO "USATU" Publ., 2016, pp. 42–49. (in Russ.)
6. Kotov R.V. [Innovations in the Production of Wires for Power Lines]. *Energiya edinoi seti* [Energy of Unified Grid], 2015, no. 1 (18), pp. 18–24. (in Russ.)
7. Varygina A.O., Savina N.V. [The Assessment of the Appropriateness of the Use on Overhead Lines the Conductors of the New Generation]. *Sovremennyye tekhnologii: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sb. st. X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern Technologies: Actual Questions, Achievements and Innovations: Collection of Articles of the X International Scientific Practical Conference]. Penza, Nauka i Prosveshchenie Publ., 2017, pp. 50–55. (in Russ.)
8. Kolosov S.V., Ryzhkov S.V. *Povyshenie propusknoy sposobnosti VL: analiz tekhnicheskikh resheniy* [Overhead Line Capacity Increase: Analysis of Technical Solutions]. Moscow, ZAO NTTs "Elektroseti" Publ., 2011. 36 p.
9. Varivodov V.N., Kazakov S.E., Udarov V.M. [Steel Multifaceted Supports for Electrical Distribution Networks]. *Electro* [Elektro], 2005, no. 2, pp. 37–42. (in Russ.)
10. Repina A.I., Savotin O.A., Pavlov A.I. [Intermediate Supports Made of Composite Materials for 110–220 kV Overhead Lines]. *Energiya edinoi seti* [Energy of Unified Grid], 2014, no. 2 (13), pp. 52–59. (in Russ.)

11. Rakhmatullin S.S., Golota M.N., Mel'denberg A.N., Osipov P.V. [On the Development of Intermediate Supports Made of Composite Materials of Overhead Power Lines with Voltage of 0.4 and 6–10 kV]. *Electric Power. Transmission and Distribution*, 2017, no. 1 (40), pp. 6–13. (in Russ.)

12. Sesyuk E. [What Should be the Power Line Support?]. *Electric Power. Transmission and Distribution*, 2012, no. 2 (11), pp. 134–135. (in Russ.)

13. Kachanovskaya L., Romanov P., Kasatkin S. [Reinforced Concrete Support from Partitioned Centered Racks for 500 kV Overhead Lines]. *Electric Power. Transmission and Distribution*, 2015, no. 6 (33), pp. 66–69. (in Russ.)

14. Smaznov D.N., Rodchikhin S.V., Moskalev A.V., Zimin K.N. [High-Rise Supports in Individual Design of Overhead Lines]. *Energiya edinoy seti* [Energy of Unified Grid], 2017, no. 1 (30), pp. 38–45. (in Russ.)

15. *Pravila opredeleniya razmerov zemel'nykh uchastkov dlya razmeshcheniya vozdukhnykh liniy elektroperedachi i opor lini svyazi, obsluzhivayushchikh elektricheskoye seti, utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 11.08.2003 № 486* [Rules for Determining the Size of Land Plots for the Placement of Overhead Power Lines and Communication Line Poles Serving the Electrical Networks, Approved by Decree of the Government of the RV Dated 11.08.2003 no. 486]. Available at: <https://base.garant.ru/12132072> (accessed 23.03.2019).

16. *Normy otvoda zemel' dlya elektricheskikh setey napryazheniem 0,38–750 kV № 14278TM-T1* [Norms of Allotment of Land for Electric Networks of 0.38–750 kV no. 14278TM-T1]. Moscow, 1994. 12 p.

17. *Pravila ustroystva elektroustanovok (PUE)* [Rules for Electrical Installation (PUE)]. 7th ed. St. Petersburg, 2008.

18. *GOST R 58021–2017. Opory kompozitnye polimernye dlya vozdukhnykh liniy elektroperedachi napryazheniem 6–20 kV. Obshchie tekhnicheskoye usloviya* [State Standard 58021–2017. Composite Polymeric Supports for Overhead Power Lines of Voltage 6–20 kV. General Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 22 p.

19. *GOST R 58018–2017. Opory promezhutochnye kompozitnye polimernye dlya vozdukhnykh liniy elektroperedachi napryazheniem 35–220 kV. Obshchie tekhnicheskoye usloviya* [State Standard 58018–2017. Interim Composite Polymeric Supports for Overhead Power Lines Voltage 35–220 kV. General Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 22 p.

20. *Federal'nyy zakon ot 29 iyunya 2015 g. N 162-FZ “O standartizatsii v Rossiyskoy Federatsii”* [Federal Law of June 29, 2015 no. 162-FZ “On Standardization in the Russian Federation”]. Available at: <https://base.garant.ru/71108018> (accessed 24.03.2019).

21. *Prikaz Minenergo Rossii ot 17.01.2019 goda № 10 “Ob utverzhdenii ukрупnennykh normativov tseny tipovykh tekhnologicheskikh resheniy kapital'nogo stroitel'stva ob"ektov energetiki v chasti ob"ektov elektrosetevogo khozyaystva”* [Order of the Ministry of Energy of Russia Dated 17.01.2019 no. 10 “On Approval of Enlarged Price Standards for Typical Technological Solutions for Capital Construction of Energy Facilities in Terms of Electric Grid Facilities”]. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/13918> (accessed 14.04.2019).

22. *Polozhenie PAO “Rosseti” “O edinoy tekhnicheskoy politike v elektrosetevom komplekse”, utv. protokolom ot 22.02.2017 № 252* [The Position of PJSC “Rosseti” “On an Unified Technical Policy in the Electric Grid Complex”, Approved Protocol no. 252 of 02.22.2017]. Available at: <https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika.pdf> (accessed 24.02.2019).

23. *STO 56947007-29.240.55.016-2008. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya vozdukhnykh liniy elektroperedachi napryazheniem 35–750 kV* [Standard of the Organization of JSC FGC UES 56947007-29.240.55.016-2008. Norms of Technological Design of Overhead Power Lines with Voltage of 35–750 kV]. Moscow, JSC FGC UES Publ., 2008. 42 p.

24. Varygina, A.O., Savina N.V. [The Development of Methods of Conductor's Cross-section Selection and their Adaptation to Modern Conditions]. *Bulletin of the Amur State University. Ser. Natural and Economic Sciences*, 2018, no. 81, pp. 50–55. (in Russ.)

25. Varygina, A.O., Savina N.V. The Influence of New Functional Properties of Active-Adaptive Electrical Networks on the Correctness of Selection and Verification of Conductor Cross-Sections by Existing Methods. *Proceedings of the IEEE International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. Vladivostok, 2018, pp. 1–5. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602740

26. Gerasimova V.G., D'yakova A.F., Il'inskogo N.F. (Ed.). *Elektrotekhnicheskyy spravochnik. V 4 t. T. 3: Proizvodstvo, peredacha i raspredeleniye elektricheskoy energii* [Electrotechnical Handbook. In 4 Vol. Vol. 3: Production, Transmission and Distribution of Electrical Energy]. 9th ed., Moscow, MPEI Publ., 2004. 964 p.

27. *RD 153-34.3-35.125-99. Rukovodstva po zashchite elektricheskikh setey 6–1150 kV ot grozovykh i vnutrennikh perenapryazheniy* [Guidance Document 153-34.3-35.125-99. Guidelines for the Protection of Electrical Networks 6–1150 kV from Lightning and Internal Overvoltages]. 2nd ed. St. Petersburg, PEIPK Mintopenergo RF Publ., 1999. 353 p.

28. *STO 56947007-29.060.50.015-2008. Grozozashchitnye trosy dlya vozdushnykh liniy elektroperedachi 35–750 kV* [Lightning Cables for Overhead Power Lines of 35–750 kV]. Moscow, JSC FGC UES Publ., 2008. 16 p.

29. *STO 56947007-33.180.10.173-2014. Metodicheskie ukazaniya po raschetu termicheskogo vozdeystviya tokov korotkogo замыкания i termicheskoy ustoychivosti grozozashchitnykh trosov i opticheskikh kabeley, vstroennykh v grozozashchitnyy tros, podveshivaemykh na vozdushnykh liniyakh elektroperedachi* [Standard of the Organization of JSC FGC UES 56947007-33.180.10.173-2014. Guidelines for Calculating the Thermal Effects of Short-Circuit Currents and Thermal Stability of Lightning Cables and Optical Cables Embedded in the Ground Wire Suspended on Overhead Power Lines]. Moscow, JSC FGC UES Publ., 2014. 80 p.

30. *RD 34.51.101-90. Instruktsii po vyboru izolyatsii elektroustanovok* [Guidance Document 34.51.101-90. Instructions for Choosing Electrical Installation Insulation]. Moscow, SPO Soyuztekhnenergo Publ., 1990. 84 p.

Received 15 May 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Савина, Н.В. Анализ целесообразности применения существующих методических подходов проектирования к воздушным линиям нового поколения / Н.В. Савина, А.О. Варьгина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 69–79. DOI: 10.14529/power190208

FOR CITATION

Savina N.V., Varygina A.O. Testing the Applicability of Existing Approaches to Next-Gen OPL Design. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 69–79. (in Russ.) DOI: 10.14529/power190208