ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ДОПУСТИМЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

АВТОРЫ:

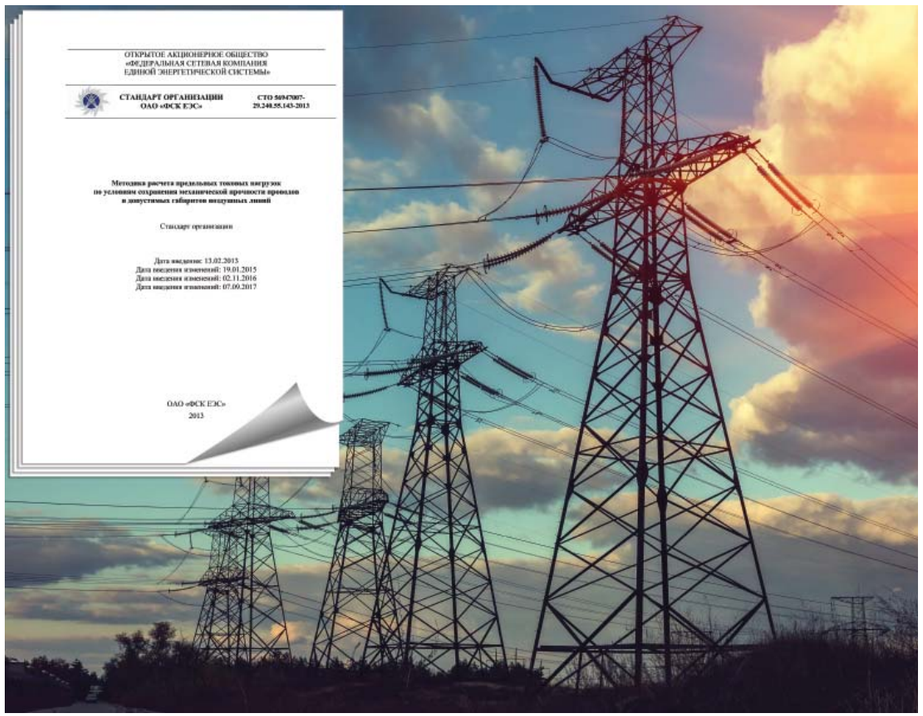
А.В. ЛЯНЗБЕРГ,
ПАО «ФСК ЕЭС»,
МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
ПРИ МИНИСТЕРСТВЕ
ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Р.Г. ШАМОНОВ,
ПАО «ФСК ЕЭС»

В.С. МАТВЕЕВ,
ПАО «ФСК ЕЭС»

Цели и принципы стандартизации в России установлены Федеральным законом от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации — ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Ключевые слова: воздушные линии; допустимые токовые нагрузки в сети; пропускная способность линий; допустимая аварийная нагрузка.



Исследования в пропускной способности воздушных линий электропередачи регулируются стандартом организации «ФСК ЕЭС» № 56947007-29.240.55.143-2013

ВВЕДЕНИЕ

Преобразование пассивных электрических сетей в «интеллектуализированные» продолжает оставаться одним из основных векторов развития единой национальной (общероссийской) электрической сети (ЕНЭС), позволяя повышать эффективность ее использования. Это достигается, с одной стороны, путем применения новых технологий и принципов управления перетоками мощности по линиям электропередачи и напряжением в узлах нагрузки электрической сети (устройства FACTS, и др.), новых средств измерения параметров режима (PMU и др.), а с другой — с помощью применения новых научно обоснованных подходов к эксплуатации существующих элементов электрической сети как в нормальных, так и в аварийных режимах. Разработка последних позволяет в том числе повысить пропускную способность электрической сети при минимуме дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат.

Одним из примеров создания обоснованных требований в области пропускной способности сети можно назвать выпуск приказа [5], в котором значения пропускной способности трансформаторного оборудования являются функцией от целого ряда факторов: длительности протекания тока; температуры окружающей среды; возраста оборудования и его технического состояния.

В ПАО «ФСК ЕЭС» исследования в области пропускной способности воздушных линий электропередачи (ВЛ) легли в основу стандарта организации № 56947007-29.240.55.143-2013 «Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий» [1], о теоретических и практических аспектах использования которого и пойдет речь в настоящей статье.

ПРЕДПОСЫЛКИ ВНЕДРЕНИЯ СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ

Современное развитие программных комплексов позволяет оценить изменение допустимых токовых нагрузок ВЛ не только в зависимости от температуры окружающей среды, но и с учетом солнечной радиации, гололеда, направления и силы ветра.

Приводимые в ПУЭ-7 [2] допустимые токовые нагрузки определены, исходя из недопустимости длительного нагрева проводов ВЛ до температур свыше 70 °С, и зависят только от типа провода и температуры воздуха по трассе ВЛ. В то же время фактическая допустимая токовая нагрузка, приводящая к нагреву проводов до 70 °С, будет различной для каждой географической зоны, отличаясь от данных, приведенных в приказе Минэнерго РФ от 20.05.2003 № 187 [2]. Скорректированную допустимую токовую нагрузку ВЛ, нагревающую провод при заданных климатических условиях до длительно допустимой температуры по условиям механической прочности провода, согласно приказу [2], обозначим как длительно допустимую токовую нагрузку (ДДТН).

В то же время в ГОСТ 839-80 [3] указано, что длительно допустимая температура нагрева алюминиевых проводов в процессе эксплуатации не должна превышать 90 °С. На основании этого был сделан вывод о возможности дополнительного увеличения температуры нагрева провода по сравнению со значениями, указанными в упомянутом приказе Минэнерго [2]. При этом работа ВЛ должна быть ограничена по времени (распространяться на послеаварийные режимы работы энергосистемы), а также проверена на соответствие требованию по обеспечению допустимых габаритных расстояний. Допустимую токовую нагрузку ВЛ, нагревающую провод при заданных климатических условиях до 90 °С, обозначим как аварийно допустимую токовую нагрузку (АДТН).

Возможность повышения нагрузки ВЛ сверх ДДТН до значения АДТН обусловлена временной задержкой нагрева провода, что позволяет предпринять необходимые действия по управлению режимом работы энергосистемы, исключающие избыточные ограничения потребителей и генерации, связанные с отключением перегружаемой ВЛ.

ЭФФЕКТ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТА

Рассчитанные в соответствии с СТО № 56947007-29.240.55.143-2013 [1] ДДТН, как правило, выше значений, указанных в приказе Минэнерго [2]. Разница между значениями увеличивается при снижении температуры окружающей среды. В редких случаях ДДТН может быть ниже значений, указанных в приказе Минэнерго [2] (при температурах 35 °С и более). Однако такая корректировка имеет положительный эффект для самого провода — он не перегревается до недопустимых значений. Ведь, как известно, основная масса аварий, связанных с нарушением габаритных расстояний ВЛ, происходит в период повышенных температур окружающей среды.

Пример сравнения значений ДДТН и АДТН, рассчитанных в соответ-

ДДТН И АДТН ПРОВОДА АС 300/48 НА ВЛ 220 КВ ТЮМЕНЬ — ТАВДА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

t, °C	–20	–15	–10	–5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
ДДТН по [1], А	1224	1184	1142	1100	1056	1012	965	917	866	813	757	697	632
АДТН по [1], А	1345	1309	1272	1235	1197	1158	1119	1078	1036	993	949	902	853
Ток по ПУЭ-7, А	890	890	890	890	856	828	794	766	725	690	649	607	**559**

Таблица 1

НАГРУЗКИ ВЛ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ СХЕМЕ СЕТИ

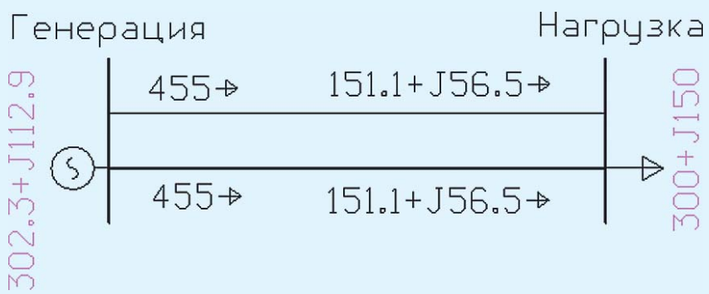


Рис. 1

ствии с СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1], и значений из приказа Минэнерго [2] для провода АС 300/48 на ВЛ 220 кВ Тюмень — Тавда приведен в табл. 1.

Как видно из таблицы, учет климатических и географических данных позволяет повысить ДДТН провода на величину от 73 А (при температуре воздуха 40 °С) до 334 А (при температуре воздуха –20 °С), или на 13÷37 % соответственно.

Такое увеличение пропускной способности дает возможность подключить новых потребителей, повысить максимально допустимые перетоки (МДП) мощности по контролируемым сечениям, а иногда и избежать дополнительного электросетевого строительства.

Стоимость увеличения пропускной способности ВЛ при этом ограничивается затратами на измерение габаритных расстояний пролетов ВЛ, проведение тепловизионного контроля контактных соединений и расчет с оценкой климатических и географических условий расположения линии. Кроме этого, в ряде случаев увеличение ДДТН и АДТН может быть достигнуто за счет дополнительных малозатратных работ по увеличению габаритных расстояний в отдельных пролетах, являющихся «узкими местами», ограничивающими нагрузку ВЛ.

Несмотря на то что АДТН проводов ВЛ допустима, в соответствии со стандартом организации № 56947007-29.240.55.143-2013 [1] только в ограниченный период времени после аварии ее наличие также позволяет повысить МДП в сечениях в нормальных схемах.

В соответствии с методическими указаниями по устойчивости энергосистем [4] длительность послеаварийного режима определяется временем, необходимым диспетчеру для восстановления условий нормального режима (не более 20 мин.), а одним из критериев определения МДП является отсутствие токовых перегрузок элементов, превышающих допустимые значения в послеаварийных режимах. Иными словами, при аварийном отключении одного из элементов энергосистемы (как в ремонтных, так и нормальных схемах) токовая нагрузка электросетевых элементов должна быть допустима в течение 20 мин. Для таких случаев и используется АДТН, позволяя увеличить переток в исходном нормальном режиме.

В свою очередь, в приказе Минэнерго [2] нет указаний о возможности дополнительной загрузки ВЛ на такой период времени, поэтому допустимый послеаварийный ток всегда приравнивался к длительно допустимому.

Рассмотрим в качестве примера влияния АДТН упрощенную схему сети 220 кВ, приведенную на рис. 1, со следующими начальными условиями: двухцепная ВЛ с проводами АС 300/48, питающая энергосистему с нагрузкой 300 + J150 МВА,

работает при температуре наружного воздуха +20 °С.

Согласно приказу Минэнерго [2], ДДТН в каждой цепи равен 725 А, согласно СТО № 56947007-29.240.55.143-2013 [1], ДДТН — 866 А. В нормальной схеме при любом из вариантов обеспечивается возможность передачи требуемой мощности, ведь фактический ток по режиму составляет 455 А в каждой из цепей.

При управлении режимом необходимо обеспечить отсутствие недопустимых в течение 20 мин. токовых перегрузок элементов сети в послеаварийных схемах. Для проверки рассмотрим схему с аварийным отключением одной из цепей линии (рис. 2).

В послеаварийной схеме ток по оставшейся в работе цепи составляет 1017 А, что больше длительно допустимого значения как по СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1], так и по приказу Минэнерго [2]. На этапе проектирования это означает, что необходимо увеличить сечение проводов или установить автоматику ограничения перегрузки оборудования (АОПО), которая будет отключать часть нагрузки при аварийном отключении одной из цепей ВЛ. При эксплуатации объекта следует снизить передаваемую мощность в нормальной схеме, ограничив нагрузку в приемной энергосистеме на такую величину, чтобы при отключении одной из цепей ВЛ не происходила недопустимая перегрузка оставшейся в работе.

Однако от всего этого можно отказаться, если учесть возможность аварийной перегрузки линии согласно СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1]. АДТН будет равняться 1036 А, а значит, даже в послеаварийной схеме можно обеспечить питание полного объема нагрузки дефицитной энергосистемы в течение требуемых 20 мин., за которые диспетчер сможет предпринять действия по изменению перетоков по сети без ограничений для потребителей.

Таким образом, использование при проектировании и эксплуатации электрических сетей ДДТН и АДТН, рассчитанных в соответствии с СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1], позволяет сократить затраты на строительство и увеличить МДП в контролируемых сечениях в существующей сети. Подобный подход уже дал ощутимый результат в ряде межсистемных сечений ЕНЭС.

НАГРУЗКИ ВЛ В ПОСЛЕАВАРИЙНОЙ СХЕМЕ СЕТИ

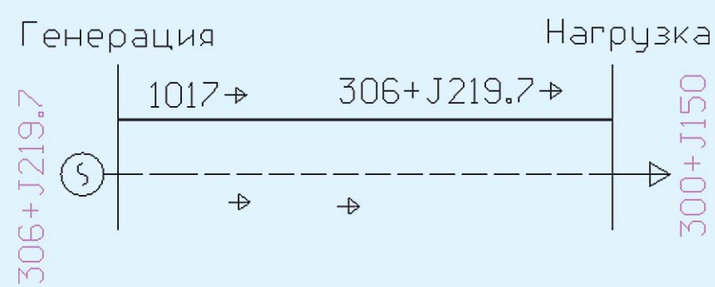


Рис. 2

УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ ПУЭ ПО ГАБАРИТНЫМ РАССТОЯНИЯМ

Одной из основных сложностей при реализации алгоритма программного комплекса по расчету ДДТН и АДТН стало обеспечение требований приказа Минэнерго [2] по условиям габаритных расстояний и до уровня земли, и до пересечений ВЛ между собой и с другими препятствиями. Расчетные условия для указанных требований значительно изменяются как для линий разного класса напряжения, так и для различных типов пересечений.

Например, габарит до земли для линий напряжением 500 кВ и ниже регламентируется при отсутствии токовой нагрузки по проводу и максимальной температуре наружного воздуха, а для линий 750 кВ — при протекании максимального рабочего тока и при температуре воздуха теплого периода с обеспеченностью 0,99. Расстояния при пересечении ВЛ между собой регламентируются при температуре воздуха +15 °С, кроме пересечения ВЛ 750 кВ с опорами других ВЛ, где температура окружающего воздуха должна быть принята согласно максимальной температуре наружного воздуха региона прохождения ВЛ и т. д. Кроме того, все нормируемые габаритные расстояния должны быть проверены для случаев максимальной гололедной нагрузки при отсутствии тока и температуре наружного воздуха в зависимости от высоты прохождения трассы ВЛ над уровнем моря.

Всего было выявлено 73 различных требования по габаритным расстояниям для разных типов пересечений для каждого класса напряжения ВЛ 110÷750 кВ. В этой связи обеспечить корректный учет выполнения требований габаритных расстояний без специального программного комплекса крайне затруднительно.

ИЗМЕНЕНИЕ ГАБАРИТА ДО ЗЕМЛИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКЕ

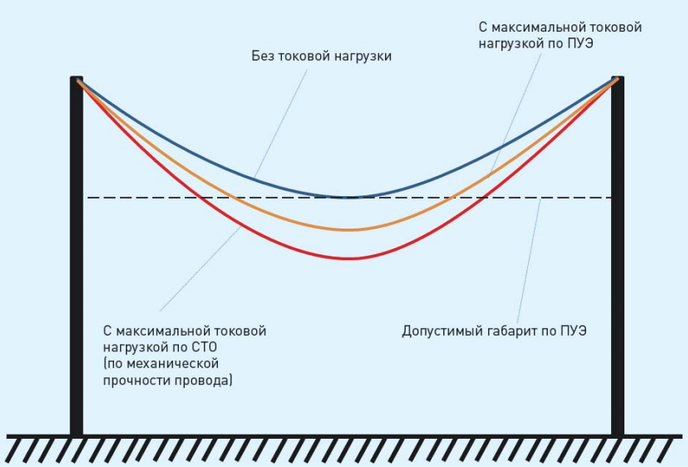


Рис. 3

Для автоматизации расчетов допустимых токовых нагрузок ВЛ в ПАО «ФСК ЕЭС» применяется специализированное программное обеспечение ПК «Мониторинг ВЛ». В алгоритмы данного комплекса в виде исходных данных внесены требования СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1] и приказа Минэнерго [2], что сокращает трудозатраты пользователя на проведение расчетов. Программа сама проверяет соответствие всем требованиям по каждому из пролетов и при необходимости указывает тип несоответствия.

И если для случаев нормирования габаритных расстояний с токовой нагрузкой все кажется явным, т. е. протекающий ток, помимо воздействия на механическую прочность провода, не должен приводить к его недопустимому растяжению, то для определения ДДТН и АДТН без учета токовых нагрузок используется иной алгоритм.

Оценка соответствия габаритных расстояний нормативным требованиям до поверхности земли для ВЛ 500 кВ и ниже в ненаселенной, труднодоступной местности и на недоступных склонах, а также для ВЛ 220 кВ и ниже в населенной местности (регламентируется без учета токовой нагрузки) производится в следующей последовательности:

1. На основе полного состава измеренных исходных данных определяются механические характеристики провода в каждом из пролетов ВЛ (составляется модель пролетов).
2. Для полученной модели пролетов ВЛ рассчитываются габаритные расстояния при отсутствии токовой нагрузки в линии, солнечной радиации при чистом воздухе (ясно), минимальной скорости ветра, равной 0,6 м/с (направление — перпендикулярно проводу), и температуре воздуха, равной абсолютной максимальной температуре воздуха региона прохождения ВЛ.
3. В случае, если хотя бы на одном из пролетов ВЛ, рассчитанному по п. 2, габаритное расстояние меньше нормативных требований приказа Минэнерго [2] считается, что вся ВЛ имеет недопустимые габаритные расстояния.
4. В случае, если на всех пролетах ВЛ рассчитанное по п. 2 габаритное расстояние не менее нормативных требований приказа Минэнерго [2], считается, что вся ВЛ имеет допустимые габаритные расстояния, а токовая нагрузка провода ВЛ должна быть ограничена только по условию сохранения его механической прочности (определяется согласно ГОСТ 839-80 [3]).

Аналогичным алгоритмом определения соответствия габаритных расстояний нормативным требованиям следует руководствоваться и при прочих, указанных в п. 2.5 приказа Минэнерго [2] условиях (пересечение ВЛ с автомобильными дорогами, дамбами, трубопроводами, водными пространствами и пр.).

По результатам расчетов определяются не только значения ДДТН и АДТН и формируется заключение о соответствии нормативным габаритным расстояниям, но и конкретные значения негабаритных расстояний для дальнейшего формирования программы устранения негабаритов на ВЛ.

Стоит особо отметить, что при нормировании допустимых габаритных расстояний без учета токовой нагрузки использование ДДТН и АДТН, согласно СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1], приводит к тому, что фактический габарит при эксплуатации ВЛ будет ниже, чем при использовании допустимой токовой нагрузки, согласно приказу Минэнерго [2]. При этом никакие нормативные требования нарушены не будут. Поясняющий пример приведен на рис. 3.

Как видно из рисунка, габарит без учета токовой нагрузки может соблюдаться (выполнено нормативное требование), однако увеличение токовой нагрузки вплоть до пределов по механической прочности тока обязательно приведет к дополнительному нагреву провода и увеличению стрелы провеса.

Исходя из этого, целесообразно пересмотреть требования по габаритным расстояниям, нормировав их при аварийно допустимой токовой нагрузке. Такой подход приведет к единообразию требований, а допустимый габарит между проводом и землей или препятствием не будет зависеть от значения тока в линии или расстояния между опорами в пролете.

Также следует отметить, что нередко допустимая токовая нагрузка ВЛ ограничивается концевым оборудованием (трансформаторы тока, высокочастотные заградители). Необходима стандартизация допустимых кратковременных перегрузок данных видов оборудования в зави-

ПРИМЕР ОРГАНИЗАЦИИ ФОРМЫ

№	Дата и время камера, ДД.ММ.ГГ, чч.мин	№ пролета, (№оп.1–№оп.2)	Измеряемая фаза	Марка провода	Тип местности	Расстояние между опорами, м	Высота подвеса провода, м		Высота основания опоры над уровнем моря, м		Габарит от провода до земли в середине пролета, м
							оп.1	оп.2	оп.1	оп.2	
1	19.04.16 08:15	3–4	AB	АС 400/51	Населенная	241	25	30	200,9	200,8	20,5
2	19.04.16 08:15	720-721	ABC	АС 30039	Ненаселенная	298	24,6	24,6	177,4	169,2	20,75
3	19.04.16 08:15	418-419	C	АС 330*43	Труднодоступная	190	15,9	16	53	56	12,2
4	14.04.16 12:20	531-532	ABC	АС 330/43	Труднодоступная	224	16	16,1	126	131	13,2
5	13.04.16 15:20	576-577	ABC	АС 330/43	Труднодоступная	307	15,9	15,9	128	128	8
6	13.04.16 15:20	577-578	ABC	АС 330/43	Населенная	307	16,1	16,3	128	128	7,7
7	13.04.16 15:20	578-579	ABC	АС 330/45	Труднодоступная	307	16	15,9	128	128	7,9

Таблица 2

ПРИМЕР УПРОЩЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

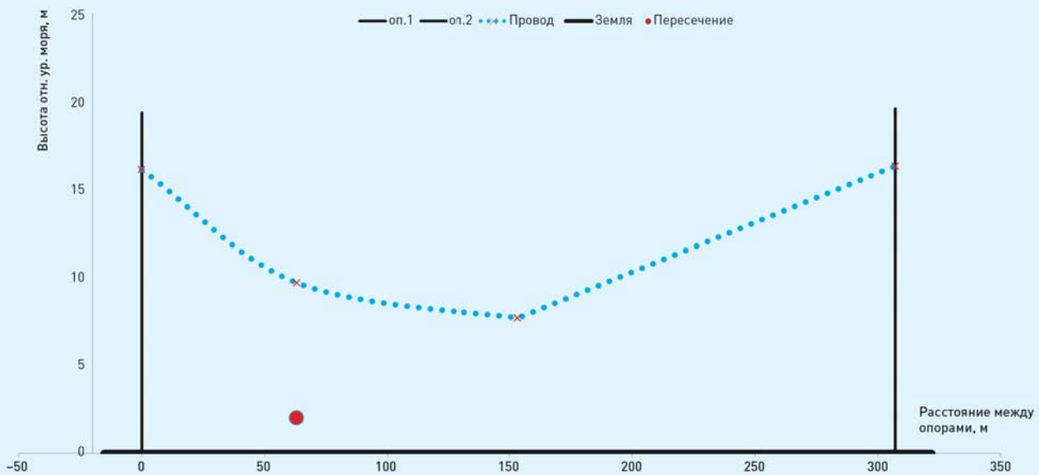


Рис. 4

симости от температуры окружающей среды.

УНИФИКАЦИЯ СБОРА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Расчет ДДТН и АДТН подразумевает сбор большого объема информации о параметрах ВЛ: марки проводов, габаритные размеры пролетов и расстояний до земли, погодные условия и ток во время измерений, типы местности и пересечений и пр.

В целях снижения трудозатрат персонала линейных служб на подготовку исходных данных перед проведением расчетов, а также исключения грубых ошибок в ПАО «ФСК ЕЭС» используется специальная форма для заполнения и проверки исходных данных в формате Excel.

В данной форме вносимые параметры ограничены различными факторами, например для типа местности — это выбор из выпадающего списка одного из значений, согласно приказу Минэнерго [2]: населенная, ненаселенная, труднодоступная, недоступные склоны. Ограничена возможность указания внесения направления угла направление ветра (0–90 °), определены пределы по широте и температурам и пр. (табл. 2 на с. 79). Все это позволяет загружать исходные данные непосредственно в ПК «Мониторинг ВЛ» в формате Excel без их дополнительной обработки.

Кроме того, унификация информации о типах других объектов, пересекаемых ВЛ (реализовано выпадающими списками), позволяет реализовать внутри программы сопоставление измеренных габаритных расстояний со всеми требованиями, описанными в приказе Минэнерго [2].

Для первичной оценки корректности вносимых габаритных параметров в форме предусмотрено построение упрощенной визуализированной модели пролета (рис. 4), по которой персонал линейных служб может самостоятельно произвести визуальный анализ замеров. Это позволяет максимально сократить число опечаток при вводе информации.

В перспективе сбор такой информации должен быть упрощен за счет применения средств аэросканирования или лазерного сканирования, позволяющих определить габаритные расстояния от проводов ВЛ до реального рельефа местности или других объектов, повысив точность полученных данных.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДДТН И АДТН НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

После утверждения в ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1] перед специалистами проектных компаний встал вопрос о корректном учете допустимых токовых нагрузок не только существующих ВЛ (их предоставляет ПАО «ФСК ЕЭС» в рамках передачи исходной информации для проектирования), но и вновь вводимых ВЛ.

Согласно СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1], при проектировании необходимо провести серию расчетов, направленных на определение ДДТН и АДТН вновь вводимой ВЛ с учетом климатических и географических условий ее прохождения. Такой подход приводил к существенному увеличению стоимости и сроков проектирования: каждому подрядчику необходимо закупить соответствующее программное обеспечение или разработать собственную программу, собрать данные о регионе прохождения ВЛ и т. д.

Для упрощения проектирования ВЛ для всех проводов, указанных в приказе Минэнерго [2], в СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1] внесены уже рассчитанные значения ДДТН и АДТН, которые должны использоваться проектировщиками на стадии разработки основных технических решений, технико-экономическом обосновании строительства объектов и пр. Значения токов различаются для разных широт. Таким образом, в качестве исходных данных достаточно определить лишь географические параметры расположения проектируемой ВЛ.

При расчетах подразумевается, что вновь сооружаемая ВЛ не будет иметь нарушений габаритных расстояний, а также локальных перегревов.

При этом приведенные в СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1] допустимые токовые нагрузки проводов приведены для наихудших климатических условий с точки зрения пропускной способности (солнце, отсутствие ветра и осадков, ясный день), для того чтобы оставить запас, целесообразный при проектировании.

МАСШТАБИРОВАНИЕ ОПЫТА И УНИФИКАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ

Учитывая положительный опыт применения рассчитанных в соответствии с требованиями СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1] значений ДДТН и АДТН, целесообразно закрепить на уровне нормативно-правового акта Минэнерго России требования к пропускной способности проводов ВЛ, выполненных по ГОСТу 839-80 [3].

В то же время наличие противоаварийной автоматики, действующей на разгрузку элементов сети с различными выдержками времени, с возможностью отстройки от температуры окружающей среды ставит задачу по расширению требований к определению ДТН на разных временных интервалах, например, аналогичных указанным в приказе Минэнерго [5]. Реализация такого подхода позволит избежать преждевременного срабатывания устройств противоаварийной автоматики и оптимизирует объемы отключаемой нагрузки и генерации.

Немаловажным фактором становится и определение ДДТН и АДТН первичного оборудования подстанции, зачастую ограничивающего пропускную способность всей ВЛ и трансформаторного оборудования: выключателей, разъединителей, трансформаторов тока, ВЧ-заградителей, токоограничивающих реакторов, жестких шин и ошиновок. В настоящее время информации о возможном превышении данным оборудованием номинальных паспортных значений тока практически нет. Связано это, прежде всего, с отсутствием требований к предоставлению таких данных.

По информации заводов-изготовителей (ABB, GE, РЭТЗ «Энергия», «Электроаппарат», УЭТМ и пр.), все указанное выше оборудование допустимо перегружать на непродолжительное время и при определенной температуре окружающей среды, однако полномасштабных исследований на данный счет не проводилось из-за отсутствия требований заказчиков.

Таким образом, будущие работы следует направить на оценку пропускной способности проводов ВЛ, выключателей, разъединителей, трансформаторов тока, ВЧ-заградителей, токоограничивающих реакторов, жестких шин и ошиновок в соответствии с форматом табл. 3 на с. 82, что позволит качественно изменить подход к управлению электроэнергетическим режимом сети, уменьшить объемы сетевого строительства и оптимизировать объемы отключаемой нагрузки при возникновении аварийных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическое применение СТО 56947007-29.240.55.143-2013 [1] позволяет сделать следующие выводы:

1. Регламентированный подход к регулярному расчету допустимых токовых нагрузок ВЛ

ФОРМАТ ОТОБРАЖЕНИЯ ДАННЫХ ПО ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ

Продолжительность нагрузки	Допустимая нагрузка элемента сети при температуре охлаждающего воздуха, °С							
	–25	–20	–10	0	10	20	30	40
20 с	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
1 мин	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
5 мин	1800	1800	1800	1700	1700	1700	1700	1700
10 мин	1600	1600	1600	1600	1500	1500	1500	1500
20 мин	1600	1600	1500	1500	1500	1500	1500	1500
30 мин	1600	1600	1500	1400	1400	1300	1200	1200
1,0 ч	1600	1500	1500	1400	1400	1300	1200	1200
2,0 ч	1500	1500	1500	1400	1300	1300	1200	1100
4,0 ч	1500	1500	1400	1400	1300	1200	1200	1100
8,0 ч	1500	1500	1400	1400	1300	1200	1200	1100
24,0 ч	1500	1500	1400	1400	1300	1200	1200	1100
Без ограничения по времени	1250	1250	1250	1250	1250	1200	1150	1080

Таблица 3

на основе стандарта организации способствует значительному повышению качества и эффективности эксплуатации ВЛ электросетевой компании.

2. Использование при эксплуатации АДТН ВЛ в ряде случаев позволяет отказаться от применения устройств АОПО.
3. Целесообразно пересмотреть требования по габаритным расстояниям ВЛ, нормировав их при аварийно допустимой токовой нагрузке.
4. Разработка и внедрение унифицированной формы сбора исходных данных позволяет существенно повысить качество сбора информации и ускорить производительность расчетов
5. Приведение в стандарте ДДТН и АДТН для основных типов проводов позволяет сократить время выполнения проектирования.
6. Видится целесообразным продолжить исследования по определению и нормативному закреплению ДДТН и АДТН проводов ВЛ на различных интервалах времени протекания тока для оптимизации управляющих воздействий противоаварийной автоматики.
7. Для повышения пропускной способности электрических сетей необходима стандартизация допустимых кратковременных перегрузок концевого оборудования ВЛ (выключатели, разъединители, трансформаторы тока, ВЧ-заградители, токоограничивающие реакторы, жесткие шины и ошиновки) в зависимости от времени протекания повышенного тока и температуры окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. ПАО «ФСК ЕЭС», СТО 56947007-29.240.55.143-2013. Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов. М., 2013.
2. Приказ Минэнерго России от 20.05.2003 № 187 «Правила устройства электроустановок». Издание 7-е. М., 2003.
3. ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередач. Министерство электротехнической промышленности СССР. М., 1981.
4. Приказ Минэнерго России от 03.08.2018 № 630 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок. Методические указания по устойчивости энергосистем».
5. Приказ Минэнерго России от 20.02.2019 № 81 «Об утверждении требований к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию и о внесении изменений в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г. № 229».