

# МОНИТОРИНГ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЛ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

АВТОР:

ШКАПЦОВ В.А.,  
К.Т.Н.  
ГРУППА КОМПАНИЙ  
ОПТЭН

**В** течение недели, с 14 по 20 сентября, в Окленде (Новая Зеландия) проходил международный симпозиум «Лучшая практика эксплуатации линий электропередачи и распределительных сетей в условиях изменяющейся среды», в работе которого приняли участие 350 специалистов из 35 стран. От Российской Федерации на секции «Мониторинг

температуры проводов и рейтинга реальной пропускной способности ВЛ» представителем Российского национального комитета СИГРЭ в ИК В2 Шкапцовым В.А. был сделан доклад «Методы и средства мониторинга пропускной способности ВЛ в реальном времени и в условиях изменений окружающей среды». В данном номере мы публикуем статью, подготовленную на основе этого доклада.

**Ключевые слова:** линии электропередачи, условия среды, средства мониторинга, пропускная способность, механическое состояние, сетевая инфраструктура.



Международный симпозиум и заседания семи исследовательских комитетов СИГРЭ прошли в Окленде с 14 по 20 сентября 2013 г.

## ДОПУСТИМЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРМИРОВАННОГО ГАБАРИТА $H = 7$ М, УСТАНОВЛЕННЫЕ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ПЕРВИЧНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

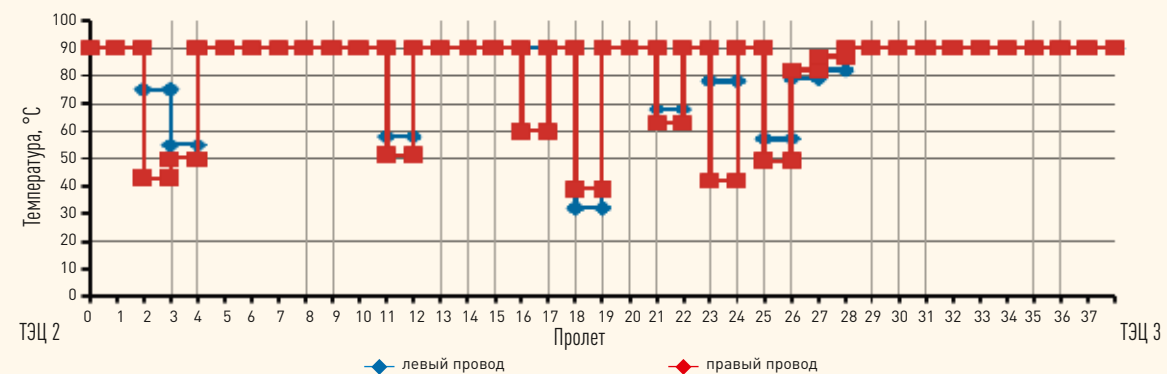


Рис. 1

### ВВЕДЕНИЕ

В основу статьи положены данные многочисленных исследований линий электропередачи, выполненных специалистами группы компаний ОПТЭН в различных странах мира (Австралия, Новая Зеландия, Словения, США, Франция и др.), а также во многих сетевых предприятиях Российской Федерации.

Для значительной части (до 65% от общего числа) существующих воздушных линий электропередачи 35, 110, 150 и 220 кВ, т.е. линий высокого напряжения (ВН), не отвечающих в полной мере требованиям действующих норм и регламентов технического состояния в силу физического и морального старения, серьезной проблемой является снижение реальной пропускной способности. Вследствие этого возникает необходимость ограничения токовых нагрузок, уменьшения перетоков энергии и мощности, которые могут надежно и безопасно осуществляться в нормальных и послеаварийных режимах работы сетей. В организационном плане это ведет к тому, что ранее согласованные между сетевыми

компаниями и региональными диспетчерскими управлениями (РДУ) режимные параметры работы ОНЛ, в частности величины максимально допустимых токовых нагрузок, требуют пересмотра и приведения в соответствие с актуальным техническим состоянием существующих линий ВН.

### ВЕРИФИКАЦИИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЛ

Технология верификации пропускной способности ВЛ хорошо известна [1, 2], достаточно отработана. Верификация выполняется с применением таких последовательных операций, как сканирование ВЛ с применением воздушных носителей [3] или наземных устройств (при условии обязательной регистрации метеорологических и режимных параметров, характеризующих состояние ВЛ) глубокой и высокоточной обработки данных съемки. Затем осуществляются передача всех имеющихся данных в систему автоматизированного проектирова-

### ИНФОРМАЦИЯ

#### О ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКЕ ОАО «ФСК ЕЭС»

Обязательно для ОАО «ФСК ЕЭС» и его филиалов, научно-исследовательских, проектных, ремонтных и пр.

2.3.1.9.2. Комплексная диагностика ВЛ включает следующие виды диагностических работ: ...

– измерение расстояний по вертикали от проводов до поверхности земли вдоль трассы ВЛ.

2.3.1.9.4. При контроле состояния ВЛ рекомендовано применять: ...

– аэросканирование с электромагнитной, лазерной фиксацией дефектов при токовой нагрузке обследуемой ВЛ не ниже 50% номинальной.

## МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ, НЕ ПРИВОДЯЩИЕ К НАРУШЕНИЯМ ГАБАРИТОВ ПРОВОДОВ В ПРОЛетах ВЛ, ВКЛЮЧАЯ КРИТИЧЕСКИЕ

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха Т, °С								
	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
0	312 А	281 А	248 А	212 А	172 А	127 А	127 А	127 А	127 А

Таблица 1

## МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ, СОГЛАСОВАННЫЕ ОАО «СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ» С РДУ ДО ПРОВЕДЕНИЯ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ВЛ

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха Т, °С								
	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
0	658 А	632 А	612 А	587 А	566 А	636 А	510 А	470 А	449 А

Таблица 2

ния и построение отражающих состояние линий 2D- или 3D-моделей самих ВЛ и рельефа прилегающей местности.

Сформированные в результате применения программного комплекса PLS-CADD математические модели ВЛ могут быть использованы для разработки различных инженерных решений, всестороннего анализа и прогнозирования поведения объекта в любых метеорологических условиях и эксплуатационных режимах, отличающихся от условий в момент выполнения съемки. Одной из наиболее распространенных причин снижения пропускной способности линий ВЛ является часто фиксируемое при проведении аэросканирования несоответствие действующим в РФ нормативам [4] (которые мало чем отличаются от подобных норм, принятых в других странах) вертикальных габаритов проводов до земли, дорог и пересекаемых ВЛ низшего напряжения.

Выполненные специалистами ГК ОПТЭН в различных странах мира обследования более чем 100 тыс. км ВЛ выявили существенное снижение габаритов проводов и, соответственно, пропускной способности как минимум 30% обследованных линий ВЛ, срок службы которых составляет 30–40 лет и более. В результате верификации было установлено, что зафиксированные в исполнительной документации значения габаритов не учитывают влияния таких факторов, как происхождение рельефа, строительство новых и реконструкция существующих коммуникаций, рост культурного слоя, особенно заметный на территории городов. К важным факторам влияния следует отнести также происходящую с течением времени вытяжку алюминиевых и сталеалюминиевых (АС) проводов. Причем темп такой вытяжки резко возрастает при воздействии на провода нередких в последние годы экстремальных ветровых, гололедных нагрузок

(катастрофические ураганы в США, ледяные дожди в Канаде, России и т.д.).

На линиях электропередачи, техническое состояние которых удовлетворяет действующим требованиям [4], габарит до земли не должен быть нарушен при повышении температуры провода до максимально допустимого значения +70 °С. На рис. 1 приведена характерная для многих сетевых объектов диаграмма, показывающая, что в большинстве пролетов одной из обследованных ВЛ 110 кВ, расположенной в Казани, необходимый габарит сохраняется при температурах провода +70 °С и даже +90 °С. Однако в ряде пролетов, которые следует отнести к числу критических, безопасный габарит нарушается при достижении температуры провода +40 °С и даже +30 °С, что создает значительные угрозы для самой ВЛ, для населения данной местности и работы любых видов техники вблизи трассы ВЛ.

## МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА ПОСЛЕ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕГУЛИРОВКИ ТЯЖЕНИЯ В КРИТИЧЕСКИХ ПРОЛетах ДО ПРЕДЕЛЬНОГО БЕЗОПАСНОГО УРОВНЯ

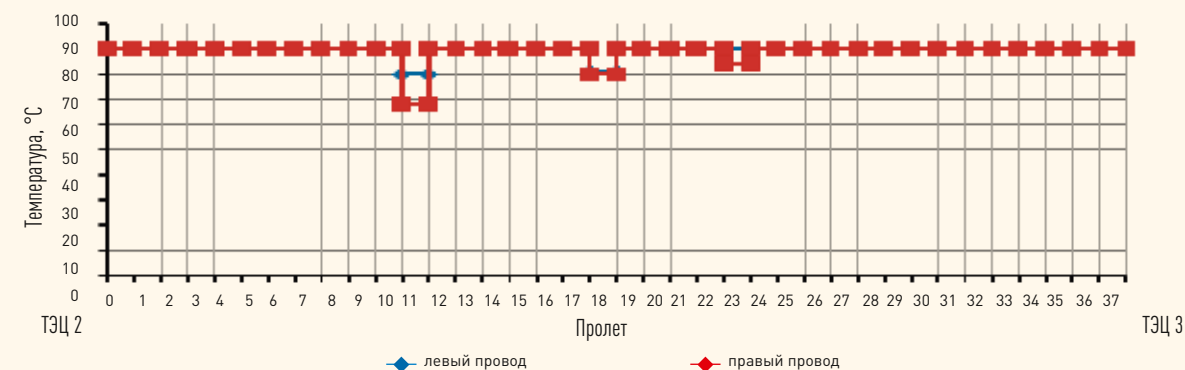


Рис. 2

Очевидно, что завышение в два-три раза токовых нагрузок, допускаемых по условиям РДУ (таблица 2), по сравнению с теми, которые могут быть признаны реально безопасными (таблица 1), длительное время создавало значительные риски для работы рассматриваемого сетевого объекта.

Выявленные нарушения были оперативно устранены сетевой компанией путем регулировки тяжения проводов, нивелировки грунта под проводами и установки двух дополнительных промежуточных опор. Обследование линии с применением технологии лазерного сканирования, выполненное после завершения реконструктивных работ, показало, что на ВЛ не осталось ни одного критического пролета, где существует опасность нарушения габарита проводов до земли при их нагреве до температуры +70 °С (рис. 2).

Для измеренных после реконструкции габаритов проводов до земли с помощью программного комплекса PLS-CADD был проведен ряд расчетов максимально допустимых токовых нагрузок рассматриваемой

ВЛ. В таблице 3 приведены значения уточненных допустимых токовых нагрузок для различных метеорологических условий. Величины максимально допустимых токовых нагрузок, как следует из этих данных, могут находиться в пределах от 253 А до 1442 А (при благоприятных метеорологических условиях), что даже превышает ранее согласованные с РДУ значения.

Можно привести многочисленные примеры [2–3] несоответствия реальной пропускной способности ВЛ различных классов напряжения тем значениям, которые продолжают считаться допустимыми, хотя должны быть уточнены и скорректированы с учетом значительных сроков службы линий и существенного изменения состояния как самих линий, так и их охранных зон.

Рассмотрим ситуацию с пропускной способностью электрических сетей РФ на базе анализа состояния отдельных сегментов сетевого комплекса, например линий электропередачи 110 кВ. При этом будут использованы данные, полученные ГК ОПТЭН в процессе проведения работ по оценке технического со-

стояния ВЛ с применением технологии сканирования протяженных инфраструктурных объектов. Представленное ниже аналитическое исследование основывается на данных о техническом состоянии 41-й ВЛ 110 кВ, которые расположены в различных регионах РФ. Используемые данные получены при обследовании вполне конкретных объектов, однако принадлежность данных к этим объектам не раскрывается в целях соблюдения исполнителем работ условий конфиденциальности полученной информации об их состоянии.

## КЛАССИФИКАЦИЯ КАТЕГОРИЙ РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЛ

Осуществление надежной и безопасной эксплуатации энергообъектов, находящихся в технически исправном состоянии, предполагает соблюдение всех положений действующих в РФ норм эксплуатации ВЛ [4]. Повышение электропотребления на величину от 2,3% до 11%, наблюдаемое в ряде регионов РФ,

## МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ ВЛ 110 КВ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

Скорость ветра V, м/с	Температура окружающей среды T, °C									
	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40
0	468,9	447,6	425,9	403,6	380,7	357,2	332,8	307,4	280,9	253
1	737	711,1	684,4	656,5	627,5	597	565	531,1	494,8	455,7
2	890	858,2	825,4	791,3	755,8	718,7	679,7	638,5	594,6	547,3
4	1095,7	1056,6	1016,2	974,2	930,5	884,9	836,9	786,1	732	673,8
6	1237,4	1193,3	1147,6	1100,2	1050,9	999,3	945,1	887,8	826,7	760,9
8	1349	1300,9	1251,1	1199,4	1145,6	1089,4	1030,3	967,8	901,2	829,5
10	1442,4	1390,9	1337,7	1282,5	1224,9	1164,8	1101,6	1034,8	963,6	886,9

Таблица 3

связано с необходимостью повышения токов нагрузки существующих линий электропередачи. Имеются ли для этого необходимые предпосылки? Находятся ли ВЛ в том состоянии, которое позволяет повышать токи нагрузки, вызывающие нагрев и температурные удлинения проводов, а следовательно, уменьшение габаритов проводов до земли и различных наземных объектов?

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что нарушения предписанных правилами [4] нормативных значений габаритов проводов до земли и различных наземных объектов носят в РФ массовый характер, негативно сказываясь на реализации процессов повышения эффективности использования существующих ВЛ. Для оценки степени фактической опасности обследованных ВЛ с подобными нарушениями нам пришлось ввести условные категории степени риска эксплуатации этих линий в их реальном состоянии.

В таблице 4 приведена условная классификация категорий риска эксплуатации ВЛ 110 кВ в зависимости

от того, в какой мере габариты проводов до земли, строений и других объектов менее нормированных [4] значений, т. е. в зависимости от приближения реальных габаритов к величинам наименьших допустимых изоляционных расстояний по воздуху от токоведущих проводов до наземных или заземленных объектов при рабочем напряжении.

Полученные в результате лазерного сканирования и последующей обработки данные об измеренных габаритах проводов 41-й ВЛ были статистически обработаны и представлены в виде диаграмм, показывающих, какой процент обследованных линий принадлежит к той или иной категории риска даже без токовой нагрузки или при минимальных токовых нагрузках, на уровне экономической плотности тока 1 А/мм<sup>2</sup>.

Как видно из диаграммы (рис. 3), только 3% из обследованных ВЛ, расположенных в населенной местности, имеют габарит проводов до земли, соответствующий требованиям действующих норм [4]. Почти половина (47%) всех линий имеет габарит проводов до земли от 5 до 5,9 м, т. е. могут быть отнесены к категории минимального

риска II. Смертельную опасность для населения представляют 3% ВЛ, у которых провода находятся на расстоянии от 3 до 3,9 м над землей, и любой человек, несущий длинномерный предмет (такой как современная удочка из углепластика, например), может быть поражен электрическим током, оказавшись под проводами подобной линии электропередачи.

Достаточно серьезную опасность представляют нарушения требуемых габаритов до поверхности дорог. Только 4% ВЛ имеют предписываемый нормами [4] габарит до дорог 7 м (рис. 4). Наиболее велик риск эксплуатации тех 10% линий, провода которых находятся на расстоянии от 4 до 4,9 м от поверхности дорог – категория риска III. Узаконенный вертикальный габарит автотранспорта составляет 4 м, поэтому любой избыточный нагрев проводов от внешних ли воздействий (солнечная радиация, экранирование растительностью аэродинамических потоков), в результате ли повышения токовых нагрузок, а также проезд по дороге негабаритных транспортных средств может привести к технологическим нарушениям в работе таких линий.

## УСЛОВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАТЕГОРИЙ РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЛ 110 КВ

Категория риска	Расстояние от провода до объекта, м (при рабочем напряжении ВЛ)			
	Населенная местность		Ненаселенная местность	
0	7,0/4,0*	7,0/4,0**	6,0/4,0*	7,0/4,0**
I	6,0-6,9/3,0-3,9	6,0-6,9/3,0-3,9	5,0-5,9/3,0-3,9	6,0-6,9/3,0-3,9
II	5,0-5,9/2,0-2,9	5,0-5,9/2,0-2,9	4,0-4,9/2,0-2,9	5,0-5,9/2,0-2,9
III	4,0-4,9/1,0-1,9***	4,0-4,9/1,0-1,9***	3,0-3,9/1,0-1,9***	4,0-4,9/1,0-1,9***
IV	3,0-3,9/0-0,9****	3,0-3,9/0-0,9****	2,0-2,9/0-0,9****	3,0-3,9/0-0,9****
Наименьшее допустимое расстояние провода до заземленных объектов	0,23	0,23	0,23	0,23

\*) В числителе – минимальное расстояние до земли, в знаменателе – до строений.

\*\*) В числителе – минимальное расстояние до автомобильной дороги, в знаменателе – до провода или троса пересекаемой ВЛ (I, II - категории минимального риска).

\*\*\*) Категория высокого риска.

\*\*\*\*) Категория предельного риска.

Таблица 4

Не менее серьезный риск возникновения технологических нарушений в работе сетевых объектов представляет уменьшение расстояний от токоведущих проводов до проводов или грозозащитных тросов пересекаемых ВЛ низшего класса напряжения. К III категории высокого риска (рис. 5) относится 39% обследованных линий, на которых обнаружены пролеты со значительными нарушениями, – расстояние от провода ВЛ 110 кВ до проводов пересекаемой линии составляет от 1,9 до 1,0 м, что в 2,1–4 раза меньше нормативного значения. В зоне IV категории (в зоне предельного риска) находится 4% обследованных линий, на пересечениях которых с линиями низших классов габарит составляет от 0,1 до 0,9 м, т. е. незначительное повышение температуры провода такой ВЛ может привести к перекрытию воздушного изолирующего промежутка при рабочем напряжении. Еще более серьезным является риск перекрытий между проводами пересекающихся ВЛ при грозовых и коммутационных перенапряжениях.

Располагая данными о техническом состоянии линий (в частности, о габаритах проводов в каждом пролете при фиксированных токовых нагрузках, известных значениях температуры проводов и окружающей среды), можно с помощью сформированных 2D- и 3D-моделей ВЛ расчетным путем определить их термический рейтинг. Здесь и далее последней будем называть ту наибольшую температуру провода, при которой габарит провода до земли соответствует требованиям норм [4]. На рис. 6 приведен пример диаграммы, отражающей термический рейтинг для каждого пролета реальной ВЛ 110 кВ в Поволжье, условно обозначенной нами ДЗП-15.

Из приведенной диаграммы следует, что в пролетах между опорами 23–24 и 66–67 габарит провода до земли нарушается, если температура провода превышает 0 °C. В ряде пролетов нарушение нормативного значения габарита происходит при температурах провода от +8 °C до +15 °C, однако в большинстве пролетов данной линии

требуемый нормативами [4] габарит до земли сохраняется до температуры провода +70 °C. Устранив имеющиеся негабариты в 20–30 пролетах, можно значительно повысить токовые нагрузки, обеспечив как безопасную и надежную эксплуатацию ВЛ, так и возможность значительного увеличения ее пропускной способности. Исследование и моделирование поведения всех рассмотренных сетевых объектов (41 ВЛ 110 кВ) показали, что только одна из всех обследованных линий имеет термический рейтинг +43 °C. У остальных 40 линий термический рейтинг составляет 0 °C по причине наличия определенного числа «неблагополучных» пролетов, имеющих различные несоответствия габаритов проводов нормативным требованиям.

Имеющиеся у специалистов ГК ОПТЭН данные позволяют выполнить анализ, подобный приведенному, для более чем 100 ВЛ 110 кВ, а также распространить его на линии 220 кВ и выше. Однако уже приведенная нами оценка состояния



**ДИАГРАММА, ОТРАЖАЮЩАЯ ДАННЫЕ О ЧИСЛЕ ВЛ С РАЗЛИЧНЫМИ ГАБАРИТАМИ ПРОВОДОВ ДО ЗЕМЛИ В НАСЕЛЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

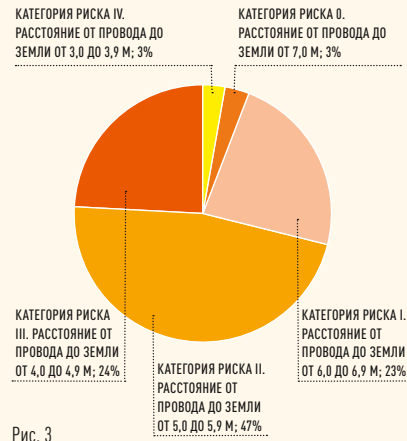


Рис. 3

обследованных объектов показывает, что суть полученных результатов при этом существенно не изменится. Для того технического состояния, в котором находится большинство существующих линий высокого напряжения, сложно обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию даже при реализуемых в настоящий период перетоках энергии и мощности. Тем более рискованно, не принимая специальных мер, повышать эффективность их использования

**ДИАГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИЙ РИСКА НАРУШЕНИЯ ГАБАРИТА ПРОВОДОВ ДО ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГ**

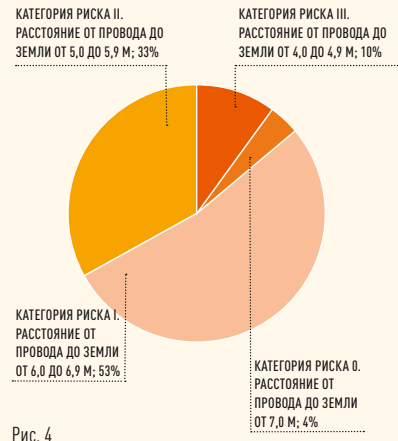


Рис. 4

путем увеличения токовых нагрузок и пропускной способности сетевого комплекса в целом.

Чтобы подтвердить приведенные выше соображения конкретным примером, для одной из рассматриваемых линий (условно обозначенной выше как ВЛ ДЗП-15) были выполнены более детальные исследования и расчеты. Для одного из «неблагополучных» пролетов (пролет между опорами 202–203) построена зави-

**ДИАГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИЙ РИСКА НАРУШЕНИЯ ГАБАРИТА ПРОВОДОВ ДО ПРОВОДОВ ИЛИ ТРОСОВ ПЕРЕСЕКАЕМОЙ ВЛ НИЗШЕГО КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ**



Рис. 5

симость габарита провода до земли от его температуры (рис. 7). Как видим, в данном пролете нормативное требование для габарита в населенной местности 6 м не выполняется даже при температуре провода  $-5^{\circ}\text{C}$ . При расчетной для данной линии гололедной нагрузке значение габарита до земли составляет 4,2 м, а при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$ , соответствующей средней температуре воздуха в летний период, габарит до земли снижается до 3,7 м.

**ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЙТИНГ ДЛЯ КАЖДОГО ПРОЛЕТА ВЛ ДЗП-15**

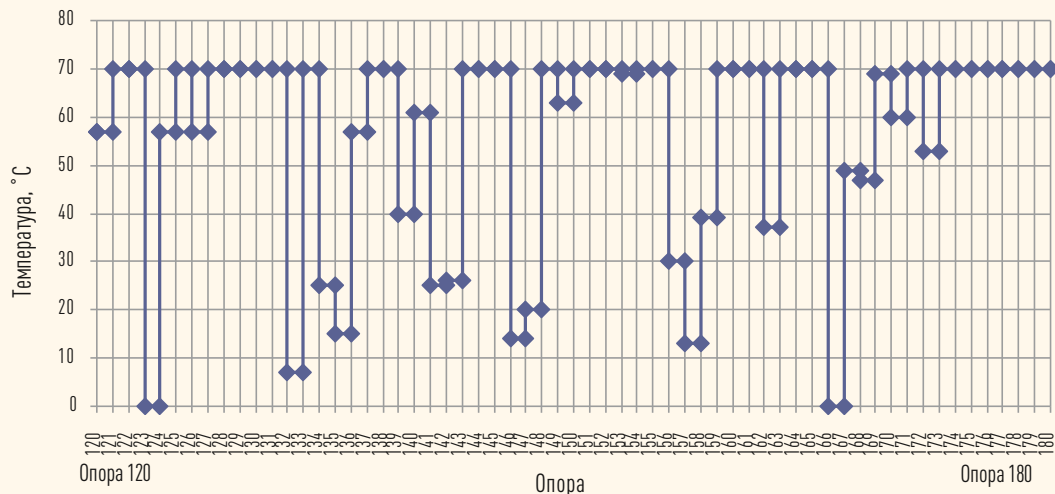


Рис. 6

**ЗАВИСИМОСТЬ ГАБАРИТА ДО ЗЕМЛИ Н ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА Т (ТОЧКОЙ ОБОЗНАЧЕН ГАБАРИТ ДО ЗЕМЛИ ПРИ ГОЛОЛЕДЕ)**

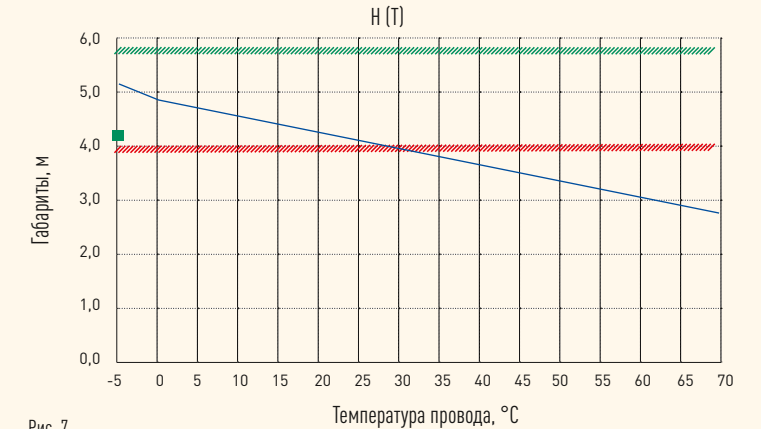


Рис. 7

Для широкого диапазона температур воздуха (от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ) поведение провода в том же пролете ВЛ 110 кВ ДЗП-15 оценивалось в зависимости от величины токовой нагрузки (рис. 8). В пролете с подобными характеристиками риск поражения автотранспортных средств возникает при температуре воздуха  $+20^{\circ}\text{C}$  уже при токах нагрузки 300 А, при температуре воздуха  $+40^{\circ}\text{C}$  и при токе нагрузки 350 А габарит провода до земли становится меньше 3 м (это может привести к поражению людей, оказавшихся под проводом линии в данном пролете), а при нагрузке 600 А и вовсе снижается до 2 м. Это означает, что с наступлением летнего сезона и штилевой обстановки передача по проводам данной ВЛ тока, плотность которого превышает  $1\text{ А/мм}^2$ , представляет смертельный риск для населения и высокий риск технологических нарушений для предприятий электрических сетей.

И все же основания для оптимистических прогнозов в отношении возможных перспектив существенного повышения пропускной способности и эффективности использования существующих ВЛ высокого напряжения есть. Состоят они в том, что «неблагополучных» пролетов не так уж много, и, кроме того, известен ряд экономически рациональных и технологически эффективных инженерных решений [5], реализация которых позволит перевести эти пролеты в разряд «благополучных». Устранение негабаритов в сочетании с широким внедрением уже разработанных (и в целом ряде сетевых предприятий работающих) систем мониторинга [6] состояния и положения проводов ВЛ, а также использование прогрессивной технологии динамического рейтинга [7] позволят при минимальных затратах повысить потенциал пропускной способности существующих ВЛ высокого напряжения в полтора-два раза.

Известны различные способы устранения тех ограничений пропускной способности ВЛ, которые обусловлены недостаточными габаритами проводов до земли и пересекаемых объектов:

- регулировка тяжения проводов в ряде анкерных

– пролетов ВЛ (рис. 9);  
– локальная регулировка тяжения проводов (рис. 10) в отдельных промежуточных пролетах, в том числе с применением саморегулируемых, адаптивных к температурным воздействиям

**ЗАВИСИМОСТЬ ГАБАРИТА ДО ЗЕМЛИ ОТ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЗНАЧЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ОТ  $-30^{\circ}\text{C}$  ДО  $+40^{\circ}\text{C}$  И СКОРОСТИ ВЕТРА 0 М /С**

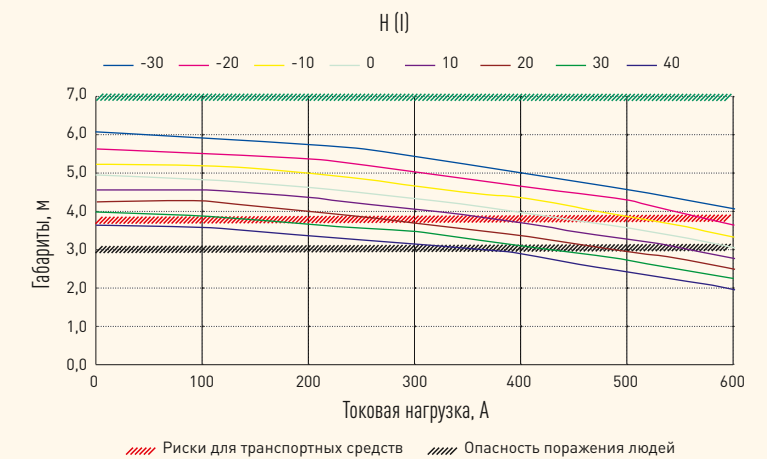


Рис. 8

## ДААННЫЕ АЭРОСКАНИРОВАНИЯ ДО И ПОСЛЕ РЕГУЛИРОВКИ ТЯЖЕНИЯ ПРОВОДОВ

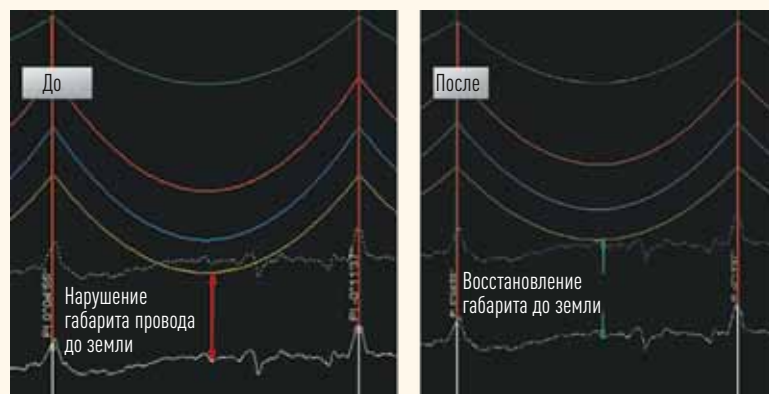


Рис. 9

- промзвеньев [8];
- нивелировка рельефа;
- замена проводов на новые с малыми стрелами провеса, среди которых перспективны провода с сердечником из инвара (сплава стали и никеля), провода с композитным сердечником или сердечником из оксида алюминия;
- установка дополнительных опор;
- увеличение высоты существующих опор, особенно

- эффективное в стесненных условиях городской застройки [9];
- замена траверс традиционной конструкции перспективными изолирующими траверсами, позволяющими увеличить вертикальный габарит проводов до земли на 2–3 м (рис. 11);
- создание кабельно-воздушной линии, т.е. замена проблемных участков ВЛ кабельными вставками;

## ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ЗВЕНЬЯ, КОМПЕНСИРУЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ ПРОВОДА В ПРОЛЕТЕ ВЛ

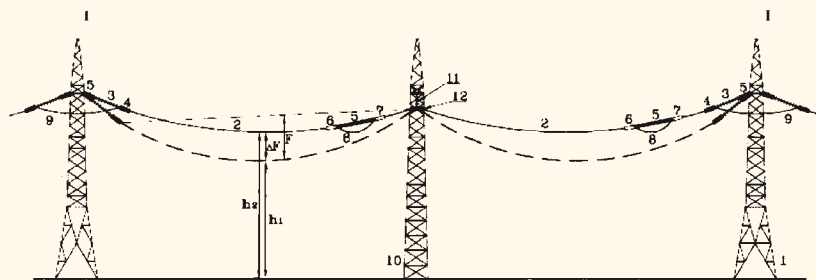


Рис. 10

- 1 – опоры, 2 – провод, 3 – изоляторы, 4, 6, 7 – натяжные зажимы, 5 – промзвенья адаптивные

- применение устройств мониторинга состояния и положения проводов.

Следует отметить, что применение различных способов и устройств регулировки тяжения проводов и грозозащитных тросов относится к числу наиболее простых, эффективных и экономически рациональных способов устранения недостаточных габаритов проводов до земли и пересекаемых линий низшего напряжения.

## УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПРОВОДОВ ВЛ

Применение устройств мониторинга состояния и положения проводов ВЛ создает необходимые условия для дальнейшего совершенствования систем автоматизированного управления режимами работы ВЛ в наиболее сложной оперативной обстановке и экстремальных метеорологических условиях – при работе на пределе максимально допустимой пропускной способности и в послеаварийных режимах. При этом наиболее эффективна совместная работа средств мониторинга с устройствами автоматического ограничения перегрузки линии, которые осуществляют противоаварийное управление посредством отключения части потребителей, изменения конфигурации сети или отключения перегруженной линии.

Разработанные и запатентованные в РФ устройства мониторинга состояния и положения проводов ВЛ (рис. 12) успешно применяются с 2005 г. как на отечественных предприятиях электрических сетей, так и в ряде других стран (Австралия, Словения, Хорватия, Эстония). Всего к настоящему времени на сетевых предприятиях, расположенных в РФ,

## ИЗОЛИРУЮЩИЕ ТРАВЕРСЫ С КОНСОЛЬНЫМИ ИЗОЛИРУЮЩИМИ СТЕРЖНЯМИ

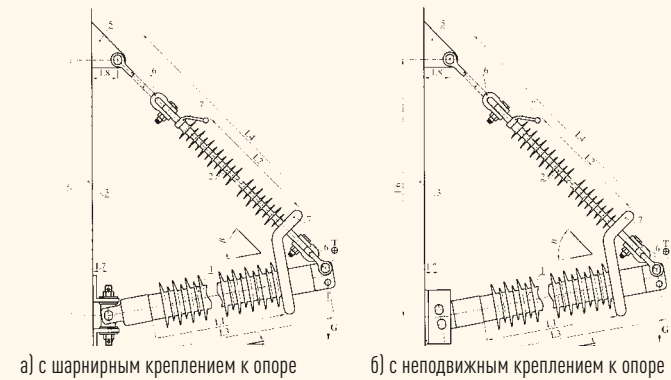


Рис. 11

- а) с шарнирным креплением к опоре б) с неподвижным креплением к опоре  
1 – консольный изолятор, 2 – стержень изолятора, 3 – нога опоры, 4, 5 – узлы фиксации к опоре, 6 – элементы крепления, 7 – дугогасящие защитные элементы

установлено около 100 различного типа устройств мониторинга состояния проводов. Данные измерений, поступающие в режиме реального времени на пульт управления ВЛ, в сочетании с использованием уже имеющихся (комплекс «Макситок», зарегистрированный Роспатентом) и разрабатываемых программных продуктов позволяют получить в режиме реального времени информацию о максимально допустимой пропускной способности контролируемого объекта с учетом влияния фактических метеорологических условий на трассе ВЛ. Вводя данные метеорологического прогноза, можно также планировать максимально допустимые токовые нагрузки на сутки вперед и более.

Последние модификации устройства мониторинга состояния проводов ВЛ, поступившие в эксплуатацию, обладают способностью раннего предупреждения о нарастании гололедных нагрузок, приближающихся к опасным пороговым значениям, а также о возникновении интенсивных колебаний и раскачиваний проводов, которые могут быть вызваны для ВЛ сильных порывистых ветров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Механошин Б. И. и др. Повышение эффективности использования существующих ВЛ на основе анализа их технического состояния и данных мониторинга температуры проводов // Электро, 2007, № 6. – С. 50–54.
2. Конаков К., Шкапцов В. Восстановление пропускной способности ВЛ // Электроэнергия. Передача и распределение, 2011, № 3. – С. 102–103.
3. Мисриханов М. Ш. и др. Обследование ВЛ с применением лазерного сканера // Электрические станции, 2007, № 3. – С. 53–60.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ 7). – ЗНАС, 2002.
5. Механошин К. Б. Технология верификации и способы повышения

- реальной пропускной способности существующих линий электропередачи высокого напряжения // Электроэнергия. Передача и распределение, 2012, № 1. – С. 104–108.
6. Механошин Б. И., Шкапцов В. А. Система мониторинга состояния воздушных линий электропередачи // Электро, 2006, № 6. – С. 17–20.
7. Puffer R. et al. Area-wide dynamic line ratings based on weather measurements. Report B2-106, CIGRE session 2012.

8. Механошин Б. И., Шкапцов В. А. Промежуточное звено, компенсирующее изменение длины токоведущего провода в пролете воздушной линии электропередачи (варианты), и пролет воздушной линии электропередачи, снабженный таким промежуточным звеном (варианты). Патент РФ № 2428780, 2010.
9. Рошин А. В., Костиков В. И. Некоторые аспекты реконструкции воздушных линий в стесненных условиях, применение опор на МГС // Воздушные линии, 2010, № 1. – С. 46–53.

## УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ПРОВОДОВ ВЛ, ШИРОКО ПРИМЕНЯЕМЫЕ ГК ОПТЭН НА ВЛ 110 КВ И 220 КВ



а) устройство OTLM (Overhead Transmission Line Monitoring) для измерения температуры провода и координат



б) устройство ДИМ (дистанционный измерительный модуль) для измерения температуры, положения и величины тяжения провода

Рис. 12