

А.В. Гринь, ведущий инженер-конструктор;
А.С. Мнека, технический директор;
ООО «Эстралин ПС»

Крепление кабелей 110–500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке на воздухе

Аннотация. Действующая ранее в СССР, а в настоящее время в России нормативная документация, регламентирующая крепление кабелей 110–500 кВ при прокладке, недостаточно учитывает особенности кабелей 110–500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке на воздухе.

В данной статье описываются современные способы крепления кабелей 110–500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке на воздухе, в том числе способы, когда расстояние между местами креплений увеличено, и кабели проложены с изгибами («змейкой»). Приведены примеры расположения и крепления кабелей на кабельных линиях 110–500 кВ, смонтированных в России и за рубежом.

Ключевые слова: кабельные линии 110–500 кВ; кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена; крепление кабелей 110–500 кВ на воздухе; прокладка кабелей 110–500 кВ.

Материал поступил в редакцию 01.11.2018
E-mail: info@estralin.com

Введение

Действующая ранее в СССР и России нормативная документация, регламентирующая крепление кабелей 110–500 кВ, была разработана в основном до внедрения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) и касалась в первую очередь маслонаполненных кабелей. Однако для кабелей с СПЭ-изоляцией, в силу большей механической прочности изоляции, требования по креплению другие, чем для маслонаполненных кабелей низкого и среднего давления. В настоящее время требования по креплению кабелей, проложенных на воздухе, изложены в «Правилах устройства электроустановок» (ПУЭ) [1], в стандарте организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.060.20.071–2011 «Силовые кабельные линии напряжением 110–500 кВ. Условия создания. Нормы и требования» [2] и в стандарте организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.060.20.170–2014 «Силовые кабельные линии

напряжением 110–500 кВ. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования» [3]. Более полно вопросы крепления кабелей 110–500 кВ при прокладке в воздухе освещены в «Руководстве по прокладке силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110–500 кВ» ТД–16–01П, выпущенном Негосударственным образовательным частным учреждением «Центр повышения квалификации «Прокладка и Монтаж» в 2016 г. [4].

В данной статье описываются способы крепления кабелей 110–500 кВ при прокладке на воздухе, в том числе способы, когда расстояние между местами креплений увеличено, и кабели проложены с изгибами («змейкой»), о которых мало информации в указанных выше документах. Приведены примеры способов расположения и крепления кабелей с СПЭ-изоляцией на КЛ 110–500 кВ в России и за рубежом, которые были смонтированы с 2004 по 2016 г.

Основные схемы крепления кабелей при прокладке на воздухе

Кабели 110–500 кВ с СПЭ-изоляцией, проложенные на воздухе, при эксплуатации подвергаются воздействию различных сил, что должно быть учтено при выборе способа крепления кабелей. В публикации [5] рассматриваются три основные схемы крепления кабелей при прокладке на воздухе:

А. Кабель жёстко крепится на неподвижных опорах во избежание любых смещений, вызванных тепловым расширением (сжатием), а также силами магнитного взаимодействия при протекании токов короткого замыкания (КЗ).

Б. Способ крепления, который предусматривает использование приспособлений, обеспечивающих свободное смещение кабелей при эксплуатации. Кабель, проложенный с изгибом, может крепиться хомутами или сёдлами, расположенными с большим шагом, что позволяет кабелю перемещаться по вертикали или горизонтали при увеличении и сокращении его длины при эксплуатации. Хомуты или сёдла могут крепиться на опорах жёстко или шарнирно, а также могут подвешиваться на консолях. Использование такого способа крепления позволяет значительно снизить механические напряжения, возникающие в кабелях при эксплуатации, и сократить количество мест креплений кабелей на трассе кабельной линии (КЛ).

В. Прокладка кабелей в трубах, не заполненных твёрдым материалом с жёстким креплением кабелей до и после трубы. Этот случай распространяется также на прокладку кабелей в земле на трассе КЛ с трубными участками и каналами (на пересечениях с дорогами, коммуникациями, на заходе в кабельные помещения из земли через трубы, на выходе из земли через гофрированные пластиковые трубы к концевым муфтам и т.д.). Если внутренний диаметр трубы или канала значительно больше, чем диаметр кабеля (как правило, в 1,5–2 раза), то тепловое расширение вызывает извигание кабеля. Форма извивов получается синусоидальной или спиральной с определённым шагом и амплитудой (в зависимости от диаметров канала и кабеля, продольной жёсткости, жёсткости при изгибе кабеля, коэффициента трения между кабелем и каналом, колебаний температуры). Благодаря извиганию, осевое усилие в кабеле резко сокращается по сравнению с усилием, возникающим в жёстко закреплённом кабеле.

Рекомендации по размещению и креплению кабелей при прокладке на воздухе

Наиболее полно рекомендации изложены в публикации [4]. Рекомендации следующие:

А. Отдельные кабели в однофазном исполнении (не связанные в треугольник) должны прокладываться так, чтобы вокруг каждого из них не было замкнутых металлических контуров из магнитных материалов. В связи с этим запрещается использование магнитных материалов для бандажей, крепёжных или иных изделий (скоб, хомутов, манжет, экранов), охватывающих кабель в однофазном исполнении по замкнутому контуру. Использование хомутов или скоб из магнитных материалов, например, стали, возможно только для скрепления в треугольник кабелей

трёх фаз одной КЛ (с обязательным использованием эластичных прокладок для защиты оболочки кабеля от повреждений). Стальные хомуты (скобы) и крепёжные изделия к ним должны иметь антикоррозионное покрытие, рассчитанное на эффективную защиту от коррозии на весь срок эксплуатации кабельной линии.

Б. Выбор конструкции и материала крепёжных хомутов должен быть проведён с учётом следующих параметров:

- назначения хомута (для крепления отдельных кабелей или крепления кабелей вплотную в треугольник);
- коррозионной стойкости (необходимо учитывать предполагаемую среду использования кабельной линии и стойкость материала крепления к этим условиям);
- механических свойств (необходимо учитывать нагрузки под действием собственного веса кабеля, нагрузки при циклах «нагрев/охлаждение» при эксплуатации, а также стойкость к динамическим нагрузкам при протекании токов КЗ);
- сохранение работоспособности в течение всего срока службы кабельной линии.

В местах жёсткого крепления кабелей на конструкциях металлическими скобами или хомутами должны быть проложены между хомутами и кабелем прокладки из эластичного материала (например, из резины, неопрена, силикона), если это предусмотрено конструкцией хомутов (скоб). Прокладки должны выступать за края хомутов или скоб по ширине на 5–8 мм. Резиновые прокладки допускается использовать в помещениях с параметрами окружающей среды, допускающими эксплуатацию прокладок из резины в течение 30 лет без их разрушения. Кабельные хомуты из армированного полиамида разрешается использовать без эластичных прокладок на горизонтальных участках трассы КЛ, на вертикальных участках между хомутами и кабелем должны быть размещены прокладки из эластичного материала. Могут быть использованы кабельные крепления для высоковольтных кабелей (ТУ 4834-002-98970470–2009) и силиконовые прокладки ПСТ 80 производства ООО «РКС-пласт», представленные в каталоге [6].

В. При прокладке кабелей на воздухе в кабельных сооружениях, производственных помещениях, на опорах и конструкциях необходимо использовать кабели с электропроводящим слоем на оболочке с целью обеспечения возможности испытаний оболочки кабелей после прокладки.

Г. При размещении кабелей на воздухе в кабельных сооружениях и помещениях рекомендуется обеспечить расстояние от кабелей до стены или пола не менее 20 мм (с целью обеспечения равномерного конвективного теплообмена).

Д. При размещении кабелей на воздухе, в случае расположения их треугольником с разнесением, расстояние между кабелями в свету должно быть не менее 250 мм. При укладке в этом случае фазы кабеля должны образовывать равносторонний треугольник.

При размещении кабелей на воздухе, в случае расположения кабелей вплотную треугольником, кабели необходимо скреплять вместе в треугольник по длине кабельной линии с шагом от 1,0 до 1,5 м (на изгибах трассы – на расстоянии не более чем 0,5 м с обеих сторон от изгиба).

Е. Крепление кабелей должно быть выполнено таким образом, чтобы была предотвращена деформация кабелей и муфт под действием собственного веса, а также

деформация в результате действия механических напряжений, возникающих при циклах «нагрев/охлаждение» и при электродинамических взаимодействиях при КЗ. Шаг, тип, конструкция и материал креплений определяются при проектировании КЛ в зависимости от места расположения кабелей (на лотках, консолях и т.д.), профиля трассы, конструкции кабелей и технических данных КЛ.

В общем случае кабели, прокладываемые по конструкциям, консолям, эстакадам, стенам, перекрытиям, фермам, полкам, в лотках и т.п., рекомендуется закреплять:

- непосредственно у концевых муфт и соединительных муфт в двух местах на прямых участках длиной 1–1,5 м;
- на поворотах трассы с обеих сторон от изгиба на расстоянии не более 0,5 м;
 - на вертикальных участках через 1–1,5 м;
 - на горизонтальных участках (на консолях, на подставках на полу, на полках) через 1 м;
 - на остальных участках трассы (на изгибах, переходах на разные уровни, и т.д.) в местах, расположенных по длине кабельной линии с шагом от 1 до 2 м (места определяются конкретно для каждого проекта с учётом технических данных кабеля и условий прокладки).

Ж. Если согласно проекту требуется крепление кабелей на изгибе, то необходимо, чтобы крепёжные хомуты были смонтированы перпендикулярно оси кабеля в месте крепления.

З. Кабели, прокладываемые вертикально по конструкциям и стенам, должны быть закреплены отдельно, пофазно.

И. Расстояние между консолями или подставками на полу (на полке), на которых крепятся кабели, при расположении кабелей по горизонтали, в соответствии с требованиями пункта 2.3.123 ПУЭ, должно быть не более 1 м. Полезная длина консоли должна быть не более 500 мм на прямых участках трассы. Расположение консолей по вертикали, а также расстояние в свету по длине кабельных сооружений между опорными металлоконструкциями (консолями) должно быть в соответствии с требованиями пункта 2.3.123 ПУЭ.

К. При прокладке кабелей в вертикально проложенных трубах (стояках) должно быть предусмотрено их закрепление. Если кабели прокладываются в трубах, закрепление кабелей должно быть на участках без труб (в промежутках между отдельными отрезками труб,

или на входе и выходе из трубы). Точки и конструкция закрепления определяются при проектировании и согласовываются с поставщиком кабеля.

Л. При установке соединительных муфт в кабельных сооружениях (помещениях), необходимы отдельные полки на опорной конструкции для ложементов каждой муфты. Муфты должны быть уложены на ложементы и закреплены. Между муфтой и ложементом должна быть эластичная прокладка из изоляционного материала толщиной не менее 4 мм, выступающая за ложемент, ориентировочно, на 5 мм. Могут быть использованы ложементы для соединительных муфт производства ООО «РКС-пласт», представленные в каталоге [6]. Кабели с двух сторон от муфты на длине 1 м. должны быть соосны с муфтой и закреплены на металлоконструкции скобами или хомутами из немагнитного материала. Изгибы кабеля допускаются только за местом его крепления на прямом участке. Количество и расположение мест креплений кабелей около муфты определяется производителем муфт.

М. Кабели на заходе в концевые муфты или кабельные вводы в комплектное распределительное устройство (КРУЭ) или трансформатор должны быть прямыми, соосными с концевыми муфтами или кабельными вводами, и закреплены на этих прямых участках на металлоконструкции скобами или хомутами из немагнитного материала с эластичными прокладками. Изгибы кабеля допускаются только за местом крепления кабеля на прямом участке. Расстояния до мест крепления кабеля хомутами определяется производителями концевых муфт и кабельных вводов.

Примеры жёстких креплений кабелей 110–550 кВ на металлоконструкциях, выполненных с учётом указанных выше требований, приведены на рис. 1–9. На рис. 1 показано крепление кабелей 500 кВ с СПЭ-изоляция и медной жилой сечением 2500 мм² в плоскости на консолях в коллекторе, имеющемся на кабельном участке КВЛ 500 кВ «Западная – Очаково» (Москва). Хомуты из армированного полиамида.

На рис. 2 показано крепление кабелей в плоскости на поперечных подставках, закреплённых на полу, с помощью хомутов из армированного полиамида.

На рис. 3 показано крепление на консолях кабелей, расположенных треугольником с разнесением, с помощью хомутов из армированного полиамида.



Рис. 1. Крепление кабелей 500 кВ в плоскости на консолях в коллекторе КВЛ 500 кВ «Западная – Очаково», г. Москва, 2012 г.



Рис. 2. Крепление кабелей 220 кВ в плоскости на подставках, закреплённых на полу



Рис. 3. Крепление кабелей 220 кВ, расположенных на консолях треугольником с разнесением

На рис. 4 показано крепление кабелей, размещённых треугольником вплотную, на поперечных подставках, закреплённых на полу, с помощью хомутов из армированного полиамида.

На рис. 5 показано крепление кабелей 110 кВ на опоре ВЛ со смонтированными концевыми муфтами АРЕСВ 1452 фирмы АВВ Kabeldon (Швеция), г. Казань, 2008 г.

На рис. 6 показано крепление кабелей 110 кВ на опоре ВЛ со смонтированными концевыми муфтами МКВ-126 производства ООО «Аркасил СК» (Россия), г. Пермь, КЛ 110 кВ «ТЭЦ-9 – Заостровка», 2013 г.



Рис. 4. Крепление кабелей 110 кВ, размещённых треугольником вплотную, на поперечных подставках, закреплённых на полу



Рис. 5. Крепление кабелей 110 кВ на опоре ВЛ со смонтированными концевыми муфтами АРЕСВ 1452 фирмы АВВ Kabeldon (Швеция), г. Казань, 2008 г.

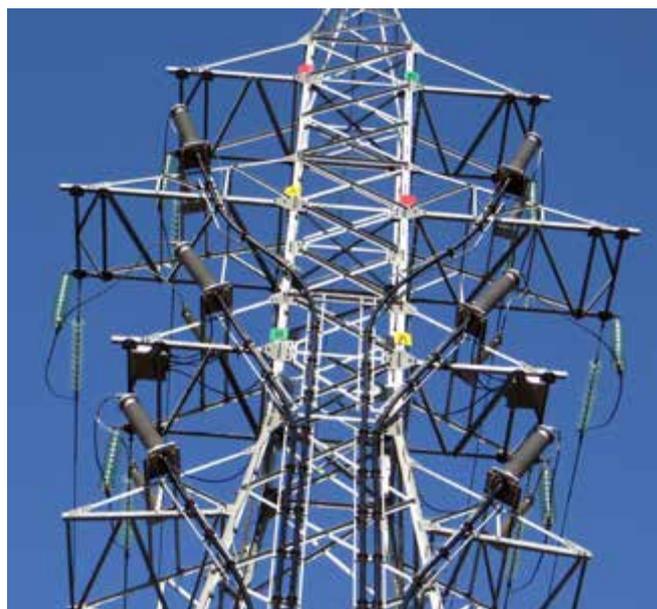


Рис. 6. Крепление кабелей 110 кВ на опоре ВЛ со смонтированными концевыми муфтами МКВ-126 производства ООО «Аркасил СК» (Россия), г. Пермь, КЛ 110 кВ «ТЭЦ-9 – Заостровка», 2013 г.



Рис. 7. Крепление кабелей 220 кВ в подвале КРУЭ 220 кВ. ПС 220 кВ «Мангазея», Ямало-Ненецкий АО, 2016 г.



Рис. 8. Крепление кабелей 220 кВ с двух сторон от соединительных транспозиционных муфт CFJX-245 фирмы Prysmian (Голландия), закреплённых на консолях

На рис. 7 показано крепление кабелей 220 кВ в подвале КРУЭ 220 кВ. ПС 220 кВ «Мангазея», Ямало-Ненецкий АО, 2016 г.

На рис. 8 приведено фото из презентации фирмы Prysmian [7] крепления кабелей 220 кВ с двух сторон от соединительных транспозиционных муфт CFJX-245 фирмы Prysmian (Голландия), закреплённых на консолях.

На рис. 9 показан общий вид ложе-мента для соединительных муфт производства ООО «РКС-пласт». Информа-ция о заказе и использовании таких ложементов имеется в каталоге [6].



Рис. 9. Общий вид ложе-мента для крепления соединительных муфт производства ООО «РКС-пласт»

кого крепления кабеля должно быть, ориентировочно:

$$l = De/20, \text{ (м)}$$

где De – наружный диаметр кабеля, мм.

Рекомендации по креплению кабелей, проложенных с изгибом

В публикациях [4] и [5] изложена следующая информация по креплению кабелей, проложенных с изгибом:

А. В случаях, когда, исходя из характеристик КЛ и условий эксплуатации, требуется компенсация тепловых расширений, кабели укладываются с изгибами в вертикальной или горизонтальной плоскости (рис. 10 и 11). Изгибы выполняются приблизительно синусоидальной формы с фиксированными расстояниями между местами жёсткого крепления кабелей таким образом, чтобы растяжение (или сжатие) кабеля приводило к увеличению (или к уменьшению) амплитуды синусоиды. При этом расстояния между местами жёсткого крепления кабелей ориентировочно можно определить по формулам, указанным в публикации [5] и приведённым ниже. Эти расстояния определяются при проектировании с учётом конкретных характеристик кабелей, конструкции мест креплений, особенностей трассы КЛ, режима эксплуатации КЛ и условий окружающей среды.

При креплении кабеля с изгибами в вертикальной плоскости, расстояние l (в метрах) между местами жесткого крепления кабеля должно быть не более:

$$l \leq De^2/65W, \text{ (м)}$$

где W – вес одного метра кабеля, кг/м;

De – наружный диаметр кабеля, мм.

При креплении кабелей с изгибами в горизонтальной плоскости, расстояние l (в метрах) между местами жёст-

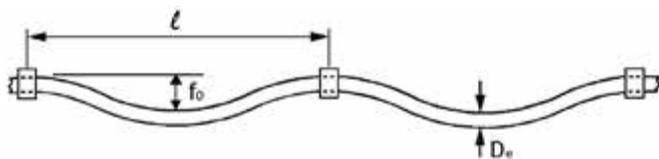


Рис. 10. Крепление кабеля с изгибами в вертикальной плоскости

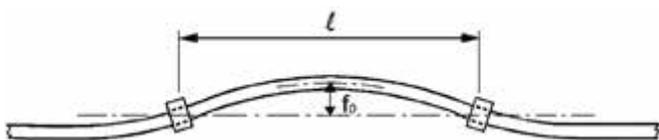


Рис. 11. Крепление кабеля с изгибами в горизонтальной плоскости

С изгибом могут быть уложены как отдельные кабели, так и три кабеля, расположенные треугольником вплотную.

Б. Для обеспечения укладки кабеля с изгибами в вертикальной или горизонтальной плоскостях, при прокладке необходимо предусмотреть запас длины кабеля, который потребуется для расчетного прогиба кабеля между местами креплений. Этот запас длины, а также способ прогиба кабеля, должны быть определены при проектировании КЛ. Запас длины может быть как на концах прокладываемого кабеля, так и на специальных местах на трассе КЛ (на поворотах трассы или на специальных компенсаторах).

В. При изгибе должны быть предусмотрены конструктивные решения, предотвращающие повреждение оболочки кабеля о хомут, консоль, пол или подставку при перемещениях кабеля во время эксплуатации от температурных удлинений или электромагнитного воздействия.

Г. При прокладке на металлоконструкциях, имеющих зазоры для компенсации тепловых удлинений (например, на пролетах мостов или эстакад), кабели, уложенные с одним или несколькими изгибами («змейкой»), в местах этих зазоров должны иметь запас по длине. Конструкция места крепления кабеля в этих местах должна обеспечивать целостность кабеля при всех режимах эксплуатации КЛ в предельно допустимых условиях воздействия окружающей среды. Кроме того, должны быть предусмотрены специальные ограничители, предотвращающие перемещение кабеля в сторону от плоскости изгиба.

Д. При прокладке кабелей трех фаз одной КЛ, расположенных треугольником вплотную, кабели в промежутке между местами жесткого или шарнирного крепления к консолям должны быть скреплены через каждый метр между собой хомутами, скобами или несколькими слоями бандажной полиэфирной ленты, армированной стекловолокном, например, типа P-162 фирмы Intertape, или Scotch 45 (bk) фирмы «ЗМ».

Е. Шаг, тип, конструкция и материал креплений определяются при проектировании КЛ с учётом веса кабеля, а также действия механических напряжений, возникающих при магнитных взаимодействиях во время КЗ и при циклах «нагрев-охлаждение».

В публикации [5] приведена методика расчёта провисания (изгиба) кабеля (размер f_0 на рис. 10 и 11), а также расчёта провисания кабеля под воздействием собственного веса, которые определяются на основании данных о расстоянии между местами жёсткого крепления, о весе кабеля на участке между местами жесткого крепления и данных о жёсткости кабелей при изгибе (модуле упругости в кг·м²). Данных о жёсткости при изгибе (модуле упругости) кабелей различной конструкции при различных температурах в публикации [5] нет. Этих данных также нет в технических характеристиках кабелей, предоставляемых предприятиями-изготовителями, поэтому воспользоваться этой методикой расчёта

проблематично. Следует учесть, что практика прокладки кабелей с полиэтиленовой изоляцией показала, что при низких температурах усилия на сгибание и разгибание кабеля при прохождении поворота трассы КЛ увеличиваются, что говорит об увеличении жёсткости кабелей при низких температурах.



Рис. 12. Кабели 220 кВ, закреплённые в плоскости на консолях с помощью сёдел, жёстко закреплённых на консолях



Рис. 13. Кабели на напряжение $U_m = 420$ кВ, закреплённые в плоскости на консолях с помощью сёдел, шарнирно закреплённых на консолях



Рис. 14. Крепление кабелей хомутами, с подвешиванием хомутов на консолях

Кроме того, жёсткость при изгибе кабеля зависит также от силы трения, возникающей между элементами конструкции кабеля при изгибе, которая также неизвестна. Наличие прослоек из бумаги или ткани между элементами конструкции кабеля уменьшает силы трения. Однако имеются кабели, у которых при производстве на жилу накладываются одновременно электропроводящий слой по жиле, изоляция из СПЭ и электропроводящий слой по изоляции, которые при прокладке и эксплуатации кабеля лишены возможности взаимного перемещения.

Методики расчётов механических напряжений, возникающих в кабелях при изменениях температуры, приведены также в публикациях [8] и [9]. Однако в этих публикациях расчётные формулы приведены для изгиба жилы кабеля при нагреве и охлаждении, без учёта влияния на изгиб кабеля удлинения или сжатия других элементов конструкции кабеля, а также без учёта силы трения, возникающей между элементами конструкции кабеля при изгибе.

Примеры креплений кабелей, проложенных с изгибом, при строительстве КЛ за рубежом приведены на рис. 12–14.

На рис. 12 приведено фото из презентации фирмы Prysmian [7] расположения кабелей 220 кВ в плоскости на консолях в тоннеле в Испании. Расстояние между местами креплений кабелей в презентации не указано, но оно намного более 1 м (ориентировочно 5–6 м). Кабели закреплены на сёдлах, жестко закреплённых на консолях, и изогнуты вниз. В промежутках между местами креплений три кабеля соединены фиксирующими стяжками.

На рис. 13 показаны кабели на напряжение $U_m = 420$ кВ фирмы Sudkabel GmbH (Германия), проложенные в плоскости в туннеле в Лондоне в 2006 г. Кабели закреплены на сёдлах, которые шарнирно закреплены на консолях. Шарнирное крепление с возможностью наклона седла в продольной плоскости снижает вероятность повреждения оболочки кабеля при укладке кабеля на седло. В промежутках между креплениями на сёдлах кабели изогнуты вниз и соединены фиксирующими стяжками.

На рис. 14, взятом из публикаций [4] и [5], показана прокладка в туннеле кабелей, расположенных треугольником вплотную, с креплением трёх фаз отдельных КЛ хомутами и подвешиванием хомутов на консолях.

Учёт электромагнитного взаимодействия между кабелями при КЗ для расчёта мест креплений

При расчётах скрепления трёх фаз учитываются механические нагрузки, возникающие при КЗ, при этом подсчитывается максимальная сила электромагнитного взаимодействия между двумя кабелями трёхфазной системы. Можно воспользоваться методикой расчёта этих сил, представленной в публикации ABB High Voltage Cables [10]. При рассмотрении пикового значения динамического тока короткого замыкания и отталкивающей силы от двух встречно-параллельных токов в качестве самого тяжёлого случая величина силы магнитного взаимодействия рассчитывается по следующим формулам:

$$F = 0,2/S \cdot I_{уд}^2 [Н/м],$$

где F – максимальная сила магнитного взаимодействия, Н/м;

S – расстояние между осями кабелей, м;

$I_{уд}$ – ударный ток КЗ, кА;

$I_{уд} = 2,5 \cdot I_{кз}$, где $I_{кз}$ – ток КЗ, кА.

Конкретные расчёты производятся проектной организацией с учётом конструкции узла крепления трёх кабелей (клеякой лентой, хомутами, специальными колодками, скобами и т.д.). Приведённой формулой можно пользоваться для расчёта сил взаимодействия при КЗ фаз кабелей, проложенных как в треугольник, так и в одной плоскости.

Примеры крепления кабелей 220–500 кВ, проложенных с изгибом на КЛ в России

Крепление кабелей 500 кВ на Бурейской ГЭС.

На Бурейской ГЭС одноцепная КЛ 500 кВ от блоков 3 и 4 была проложена в 2005 г. и соединяет КРУЭ 500 кВ фирмы «АВВ» на отметке 155 м (на плотине, на трансформаторной площадке) с КРУЭ 500 кВ фирмы «АВВ» на отметке 292 м (на месте перехода к ЛЭП 500 кВ).

На КЛ проложен кабель производства Sudkabel GmbH марки 2XS(FL)2Y 1 × 800 RM/150-290/500 kV с медной многопроволочной жилой сечением 800 мм², изоляцией из СПЭ и экраном из медных проволок сечением 150 мм². Общая длина КЛ около 880 м.

А. Крепление кабелей, расположенных с изгибом в вертикальной плоскости.

На участке трассы КЛ в наклонном тоннеле 410 м кабели проложены треугольником вплотную и закреплены жёстко через каждые 5 м на трёхфазных сёдлах «Эллис» из нержавеющей стали, смонтированных на стальных консолях, прикреплённых к полу и стене тоннеля. Фиксация кабелей на сёдлах выполнена с помощью стяжек с пластиковым покрытием. Сёдла «Эллис» из нержавеющей стали закреплены на стальных консолях шарнирно с помощью шпилек с гайками и шайбами, что позволяет седлу наклоняться в продоль-

ной плоскости. Через каждый метр три кабеля связаны вместе полиэфирной бандажной лентой, армированной стекловолокном типа P-162 фирмы Intertape, намотанной в 5 слоёв. Между местами крепления кабелей на сёдлах «Эллис» три кабеля в связке прогнуты вниз по вертикали на расстояние 130 мм, равное наружному диаметру кабеля. Для обеспечения компенсационного запаса длины кабеля для укладки кабелей «змейкой» по вертикали, в тоннеле 410 м примерно через каждую треть его длины имелись так называемые «карманы» (расширенные участки тоннеля на длине около 12 м), в которые отклонялась трасса КЛ.

Прокладка кабелей 500 кВ производилась с помощью четырёхсторонних роликов, закреплённых на стальных профилях квадратного сечения, вставленных в консоли. Консоли прикреплены анкерными шпильками к бетонному полу и стене тоннеля. После прокладки трёх фаз кабелей ролики и стальные профили были удалены с трассы КЛ. Кабели, лежащие на полу тоннеля, были перенесены на сёдла «Эллис», прогнуты вниз, связаны через каждый метр бандажной лентой и закреплены на сёдлах «Эллис» застёжками.

На рис. 15 показан прямой участок длиной 10 м трассы КЛ 500 кВ в наклонном тоннеле 410 м.

На рис. 16 показана прокладка кабеля 500 кВ в тоннеле 410 м с помощью 4-сторонних роликов, закреплённых на консолях.

На рис. 17 показаны три кабеля 500 кВ, обмотанные бандажной лентой P-162 в 5 слоёв через каждый 1 м и закреплённые на сёдлах «Эллис», смонтированных через каждые 5 м на консолях.

На рис. 18 показано крепление трёх кабелей 500 кВ на седле «Эллис» в тоннеле 410 м.

На рис. 19 фото тоннеля 410 с кабелями 500 кВ, закреплёнными на сёдлах «Эллис».

Б. Крепление кабелей, расположенных с изгибом в горизонтальной плоскости.

На Бурейской ГЭС расположение кабелей с изгибом в горизонтальной плоскости выполнено в лотках на плотине, а также в тоннеле между КРУЭ и шахтой 115 м.

На рис. 20 показано крепление кабелей на участке КЛ длиной около 98 метров, проложенных в лотках на плотине. Кабели расположены треугольником вплотную,

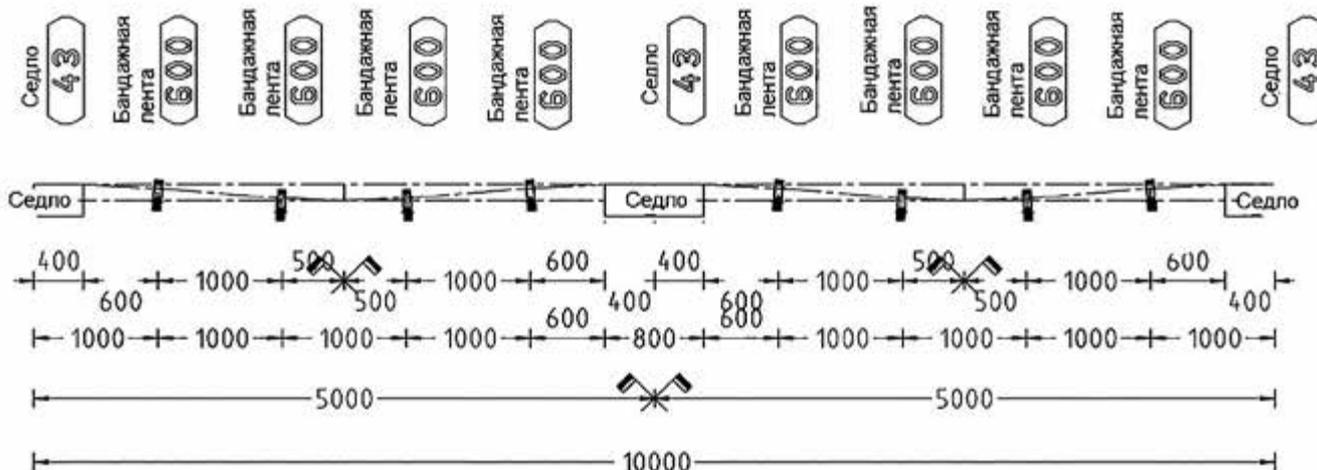


Рис. 15. Прямой участок длиной 10 м трассы КЛ 500 кВ в наклонном тоннеле 410 м



Рис. 16. Прокладка кабеля 500 кВ в тоннеле 410 м с помощью 4-сторонних роликов, закреплённых на консолях

лежат на поперечных металлоконструкциях из швеллера, расположенных через каждый 1 м поперёк лотка и прикреплённых ко дну лотка анкерными шпильками с гайками и шайбами. Через каждые 5 м три кабеля жёстко крепятся к поперечным металлоконструкциям трёхфазным металлическим хомутом с резиновой прокладкой. В промежутках между местами жёсткого крепления три кабеля через каждый метр связаны вместе полиэфирной бандажной лентой, армированной стекловолокном типа P-162 фирмы Intertape, намотанной в 5 слоев. Места намотки ленты типа P-162 находятся над каждой поперечной металлоконструкцией из швеллера. Крепление трёхфазных хомутов к металлоконструкциям выполнено с помощью шпилек M16, приваренных к поперечным металлоконструкциям из швеллера, гаек M16 и шайб 16. Между местами жёсткого крепления кабелей хомутами кабели изгибаются «змейкой» в горизонтальной плоскости с отклонением на 65 мм в обе стороны от оси.

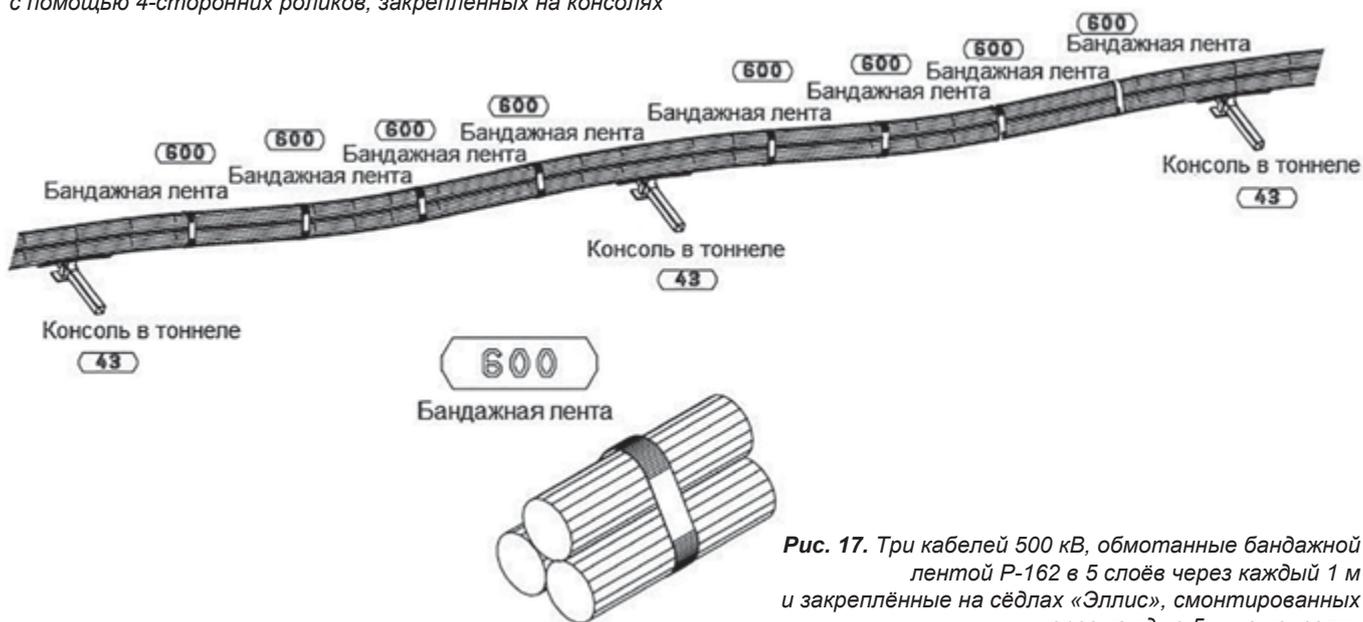
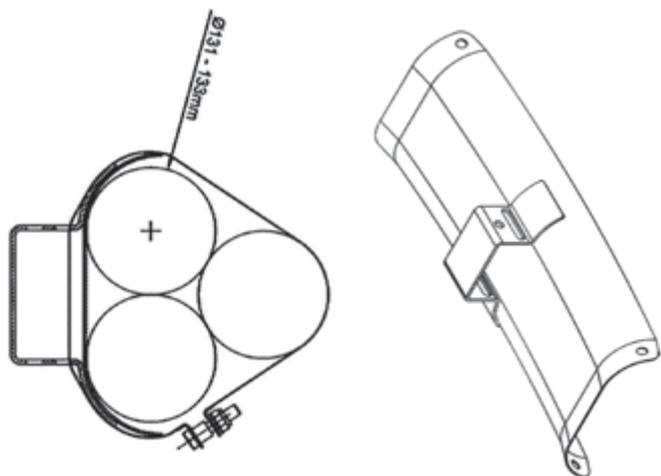


Рис. 17. Три кабеля 500 кВ, обмотанные бандажной лентой P-162 в 5 слоёв через каждый 1 м и закреплённые на сёдлах «Эллис», смонтированных через каждые 5 м на консолях



Три кабеля 500 кВ, закреплённые на седле «Эллис» застёжкой

Седло «Эллис», вид снизу (застёжка не показана)

Рис. 18. Крепление трёх кабелей 500 кВ на седле «Эллис» в тоннеле 410 м



Рис. 19. Фото тоннеля 410 с кабелями 500 кВ, закреплёнными на сёдлах «Эллис»

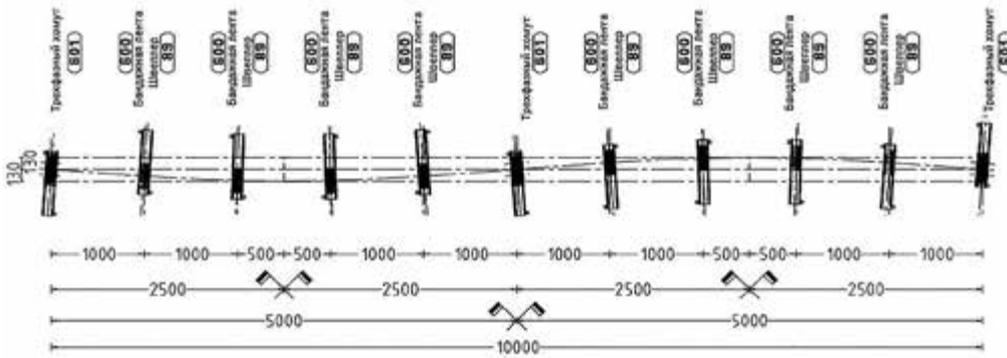


Рис. 20. Прокладка кабелей в лотках на плотине с изгибом в горизонтальной плоскости



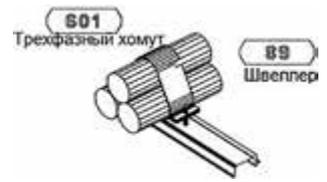
Три кабеля 500 кВ, связанные бандажной лентой Р-162 в 5 слоёв, лежащие в лотке без закрепления на поперечной металлоконструкции из швеллера (узел 89)



Рис. 21. Прокладка кабелей в лотках в тоннеле между КРУЭ и шахтой 115 м с изгибом в горизонтальной плоскости

На рис. 21 показано крепление кабелей, расположенных треугольником вплотную, на полу тоннеля от здания КРУЭ до шахты 115 м. Через каждые 5 м три кабеля жёстко крепятся к полу тоннеля трёхфазным металлическим хомутом с резиновой прокладкой с помощью анкерных шпилек с гайками и шайбами. В промежутках между местами жёсткого крепления три кабеля через каждый метр связаны вместе полиэфирной бандажной лентой, армированной стекловолокном типа Р-162 фирмы Intertape, намотанной в 5 слоёв. Места намотки ленты типа Р-162 находятся над пластинами из нержавеющей стали, расположенными на полу. Между местами жёсткого крепления кабелей хомутами кабели изгибаются

Три кабеля 500 кВ, закреплённые в лотке металлическим трёхфазным хомутом с резиновой прокладкой на поперечной металлоконструкции из швеллера (узел 89)



«змейкой» в горизонтальной плоскости с отклонением на 65 мм в обе стороны от оси.

Примечание: такой способ прокладки кабелей, расположенных на полу без воздушного зазора, не позволяет воздуху циркулировать между полом и кабелями, что ухудшает теплообмен.

Крепление кабелей 500 кВ на Загорской ГАЭС.

Кабель 500 кВ производства Sudkabel GmbH марки (F)2XS(FL)H+1 × 2000RMS/265 500 kV, был проложен на Загорской ГАЭС в 2016 г. Кабель проложен в воздухе в тоннеле, в здании КРУЭ и на открытом распределительном устройстве 500 кВ.

Крепление кабелей 500 кВ в тоннеле на Загорской ГАЭС выполнено аналогично креплению кабелей на напряжении 420 кВ, показанному на рис. 13 (только на Загорской ГАЭС тоннель прямоугольного сечения). В тоннеле расположение фаз вертикальное в плоскости, на высоте 400–1200 мм от пола, расстояние между центрами фаз 400 мм. На прямых участках тоннеля на стене установлены кабельные металлоконструкции с консолями, кабель 500 кВ закреплён через каждые 5 м на сёдлах «Ellis», смонтированных на консолях. Крепление сёдел на металлоконструкциях шарнирное, что позволяет сёдлам наклоняться в продольной плоскости. Между местами крепления кабелей на сёдлах выполнен провис кабелей вниз на 87 мм для обеспечения термомеханического расширения кабеля при различных режимах работы КЛ. В середине участка между сёдлами «Ellis» 3 фазы кабелей каждой из КЛ дополнительно скрепляются между собой промежуточной сборной распоркой фирмы «Ellis».

Крепление кабелей 500 кВ на Богучанской ГЭС (Красноярский край).

КЛ 500 кВ на Богучанской ГЭС была введена в эксплуатацию в 2013 г. Был использован кабель производства



Рис. 22. Крепление кабелей 500 кВ в тоннеле на Богучанской ГЭС

Sudkabel GmbH марки 2XS(FL)2Y 1 × 800 RM/150-290/500 kV. Трёхцепная КЛ 500 кВ, соединяет открытый переходный пункт со служебно-производственным комплексом на плотине. Кабели, проложенные в тоннеле, расположены в плоскости вдоль стен, с разнесением по вертикали. Кабели уложены змейкой с провисом вниз и закреплены на сёдлах. Сёдла размещены на консолях, расположенных через каждые 5 м. Крепление сёдел на консолях жёсткое, без возможности наклона сёдел в продольной плоскости. В середине промежутка между местами креплений, три кабеля каждой КЛ скреплены вместе стяжкой. Чертежи сёдел и стяжек разработаны фирмой Stefan Krupp (Германия) по заказу Südkabel GmbH. На рис. 22 представлено фото кабелей 500 кВ в тоннеле на Богучанской ГЭС.

Крепление кабелей 220 кВ на Братской ГЭС.

На Братской ГЭС производилась замена маслонаполненного кабеля МВДТ 220/550 на кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки ПвПнг2г-НF-A 1 × 500гж/120-127/220. Часть трассы КЛ проходила в кабельной галерее с консолями, расположенными через каждые 4 метра. Расположение кабелей в кабельной галерее – треугольником вплотную. Три кабеля зафиксированы на хомутах (сёдлах) из нержавеющей стали, закреплённых на консолях. Хомуты (сёдла) разработаны ООО «БМУ ГЭМ». Общий вид хомута с тремя кабелями, закреплёнными застёжкой, показан на рис. 23. Сами хомуты из нержавеющей стали, застёжки из алюминиевого сплава. Хомуты закрепляются

на консолях жёстко, без возможности наклона в продольной плоскости. На рис. 24 показана прокладка кабелей 220 кВ в 2017 г. в кабельной галерее на Братской ГЭС с использованием 4-сторонних роликов, закреплённых на тех же консолях, на которых расположены хомуты. После прокладки кабеля одной фазы верхние полки 4-сторонних роликов откидывались, после чего кабель переключался на хомуты. После прокладки кабеля трёх фаз скреплялись вместе в треугольник через каждый метр бандажной лентой Р-162, намотанной в 5 слоёв, и закреплялись на хомутах застёжками.

В промежутках между местами креплений на хомутах кабели изогнуты вниз только за счёт собственного веса (по проекту в этих местах специальный прогиб кабелей вниз на определённое расстояние не был предусмотрен).

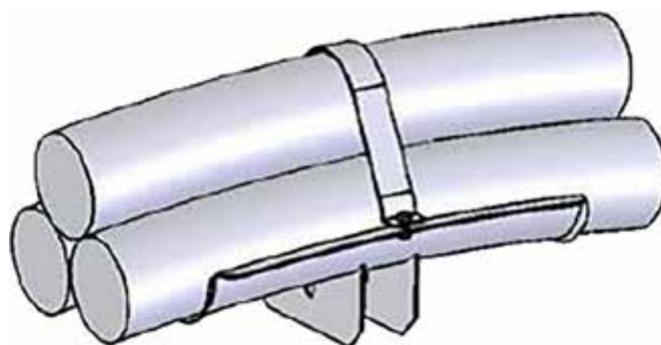


Рис. 23. Общий вид хомута (седла) с застёжкой, разработанного ООО «БМУ ГЭМ»



Рис. 24. Прокладка кабеля 220 кВ в кабельной галерее на Братской ГЭС

Крепление кабелей 220 кВ на ОАО «Северсталь», г. Череповец.

Двухцепная КЛ 220 кВ на ОАО «Северсталь» проложена в 2006 г. от ТЭЦ-ЭВС-2 до ГПП-14. Кабель марки FXLJ 1 × 400/95 LT 127/220 кВ производства ABB HVC (Швеция). В основном, КЛ проходит в кабельной галерее, обшитой металлом, и находится на открытом воздухе, без обогрева. Кабели в галерее расположены треугольником вплотную и крепились на консолях из стального уголка 50×50×5 мм, расположенных через каждые 3 м. Фиксация трёх кабелей на консолях производилась с помощью алюминиевых хомутов шириной 60 мм, болтами М12 с гайками и шайбами. Чтобы предотвратить повреждение кабелей, на консоли в местах крепления укладывали специальные алюминиевые пластины с загнутыми краями. Три кабеля оборачивали резиновой прокладкой толщиной 5 мм, укладывали на защитную алюминиевую пластину и крепили к консоли с помощью хомутов. В промежутках между местами жёсткого крепления кабелей на консолях хомутами, три кабеля через каждый метр были скреплены бандажной лентой Р-162, намотанной в три слоя. Учитывая значительные перепады температуры окружающего воздуха в кабельной галерее, для предотвращения механических напряжений в кабеле при циклах «нагрев–охлаждение» во время эксплуатации при монтаже кабельной линии при температуре окружающего воздуха +10 °С был обеспечен прогиб кабелей вниз на 70–75 мм в промежутках между местами жесткого крепления.

Выводы

В связи с разницей конструкций маслонаполненных кабелей и кабелей с СПЭ-изоляцией крепление кабелей 110–500 кВ с СПЭ-изоляцией при прокладке на воздухе

может производиться с отклонениями от требований, действующих в России нормативных документов, которые были сформулированы, в первую очередь, для крепления маслонаполненных кабелей. В частности, расстояние между консолями или подставками, на которых крепятся кабели одной фазы, или три кабеля в связке, может быть более 1 метра (выбирается при проектировании КЛ).

Увеличение расстояний между местами жёсткого крепления кабелей и укладка кабелей с изгибами («змейкой») позволяет уменьшить количество кабельных креплений на трассе КЛ и значительно снизить механические напряжения, возникающие в кабелях при эксплуатации. При этом крепление сёдел или хомутов на консолях предпочтительней шарнирное, так как это даёт возможность наклона седла или хомута, что снижает вероятность повреждения оболочки кабеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 мая 2012 г. – М.: КНОРУС, 2012. – 488 с.
2. СТО 56947007-29.060.20.071–2011. Силовые кабельные линии напряжением 110–500 кВ. Условия создания. Нормы и требования / Стандарт ОАО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы». Дата введения: 25.03.2011 г. URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/20.115_STO_56947007-29.060.20.071-2011_new.pdf (дата обращения: 16.10.2018).
3. СТО 56947007-29.060.20.170–2014. Силовые кабельные линии напряжением 110–500 кВ. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования / Стандарт ОАО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы». Дата введения: 15.05.2014. URL: http://www.fsk-ees.ru/about/management_and_control/test/STO-56947007-29.060.20.170-2014.pdf (дата обращения: 16.10.2018).
4. Руководство по прокладке силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110–500 кВ. ТД–16–01П, М.: Негосударственное образовательное частное учреждение «ЦПК «Прокладка и Монтаж», 2016 г.
5. STUDY COMMITTEE 21: HV INSULATED CABLES. Construction, laying and installation techniques for extruded and self contained fluid filled cable systems. Technical brochure WG21-17. August 2001.
6. Каталог продукции ООО «РКС-пласт». – 3-е изд., 2017. URL: <http://www.rks-plast.ru> (дата обращения: 15.10.2018).
7. Minimum design guidelines for clamping joints. – Презентация фирмы Prysmian Group, Нидерланды. URL: <http://www.prysmian.com> (дата обращения: 15.10.2018).
8. Power cables and their application, Part 1, ed; Lothar Heinhold, Berlin, Munchen: Siemens-Aktienges, 1990.
9. Kabel und Leitungen für Starkstrom, Hrsg. Lothar Heinhold und Reimer Stbbe, Publcis-MCD-Verlag, Munchen, 1999.
10. Кабельные системы с изоляцией из сшитого полиэтилена. Руководство пользователя. Брошюра фирмы ABB High Voltage Cables, Карлскрона, Швеция, 2006.