

# Как обеспечить безопасное, надежное и долговечное присоединение силовых цепей в вашей электроустановке

Авторы: Эмир Бумедьен (Emir Boumediene) и Даниэль Ванзетто (Daniel Vanzetto)

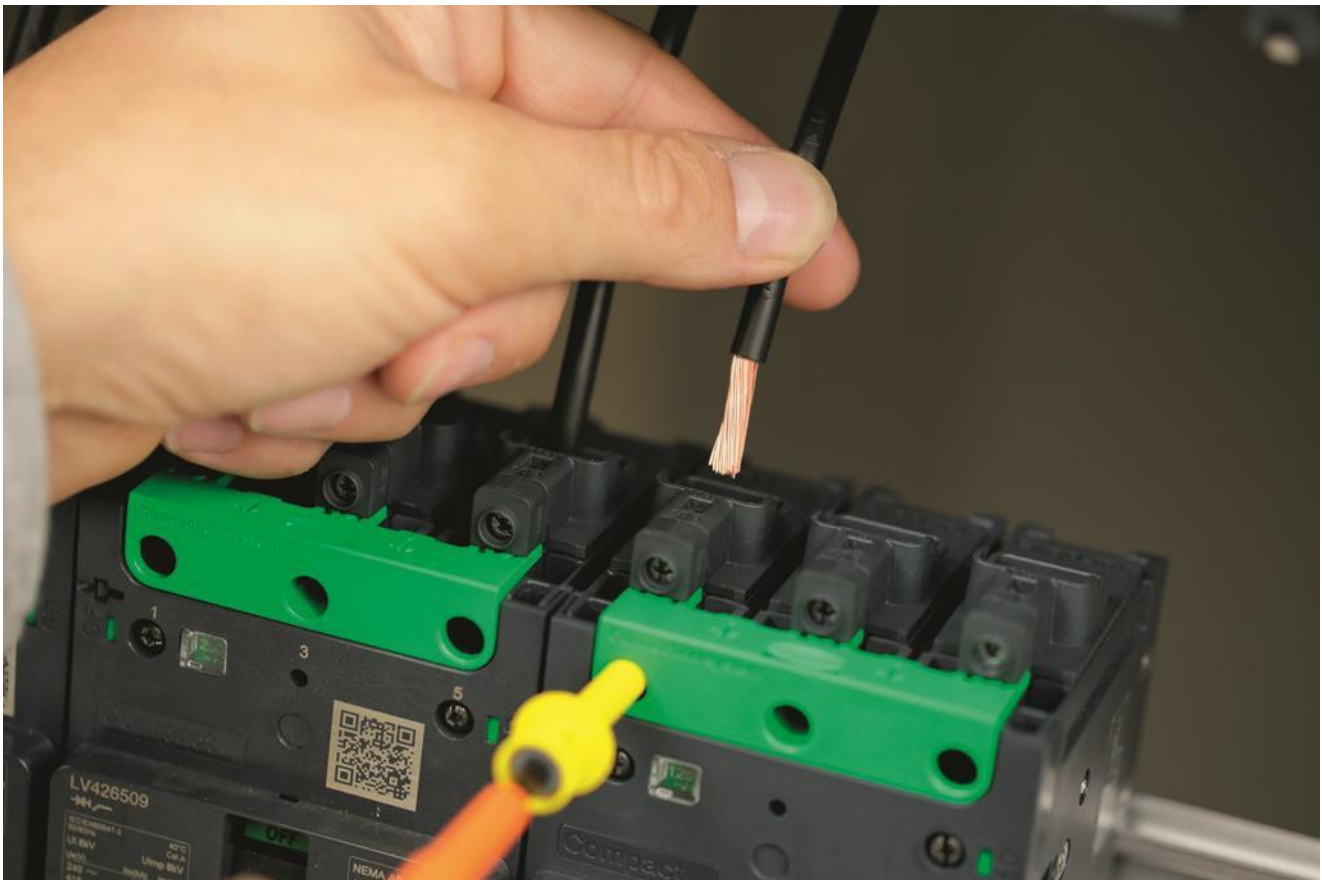
Дата: февраль 2018 г.

## Краткий обзор

Тема данной информационной статьи – силовые соединения в электроустановках. Речь пойдет о важности обеспечения надежности соединений для предотвращения риска возгорания в электроустановках, а также о том, как явление текучести металла кабеля способствует повышению степени этого риска. Кроме того, в статье обсуждается технология EverLink™ компании Schneider Electric, обеспечивающая надежное долговечное соединение за счет ослабления негативного влияния циклического нагрева или вибрации.

## Содержание

<b>1 Введение</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Общие сведения</b> .....	<b>4</b>
2.1 Винтовые соединения .....	4
2.2 Безвинтовые соединения .....	4
2.3 Неблагоприятные воздействия на соединения .....	4
<b>3 Явление текучести</b> .....	<b>5</b>
3.1 Причина и физические параметры .....	5
3.2 Влияние на оборудование .....	6
<b>4 Решение EverLink</b> .....	<b>7</b>
4.1 Обзор .....	7
4.2 Физические принципы .....	8
4.2.1 Технология EverLink в устройствах TeSys .....	8
4.2.2 Технология EverLink в устройствах NSXm .....	8
4.3 Испытание присоединений автоматических выключателей .....	10
4.2 Преимущества технологии EverLink .....	11
<b>5 Как обеспечить идеальную установку</b> .....	<b>11</b>
<b>6 Заключение</b> .....	<b>12</b>



## 1. Введение

Силовые соединения – основа электроустановок. В качестве первоочередных рекомендаций мы информируем наших клиентов о том, что обеспечение безопасности и надежности силовых соединений не просто целесообразно, а имеет первостепенное значение. Более того, надежность соединений особенно важна для защиты электроустановок от возгораний, которые могут самопроизвольно возникать из-за ненадежных или ослабленных соединений. Неисправность соединения может являться результатом ряда факторов. Среди них – явление текучести проводников, которое приводит к ослаблению силы сжатия в зажимах силовых соединений.

Технология EverLink™ от компании Schneider Electric позволяет компенсировать текучесть и нейтрализовать эффект ослабления соединений. В настоящей статье обсуждается воздействие текучести проводников и защита пользователей от связанных с ней рисков путем применения технологии EverLink, обеспечивающей надежные и долговечные соединения.



## 2. Общие сведения

Учитывая, что безопасность, надежность и удобство обслуживания представляют собой приоритетные требования, которым должны удовлетворять присоединения силовых цепей электроустановок, неудивительно, что влияние текучести проводников является важным аспектом, который руководители объектов должны учитывать в своем стремлении обеспечить оптимальное состояние силовых кабелей.

Текучесть – состояние, в котором материал кабеля начинает деформироваться под воздействием механической нагрузки. Чередование циклов высокой и низкой температуры увеличивает текучесть материала кабеля из-за его вязкостно-температурных свойств. В самом неблагоприятном варианте развития событий текучесть может стать причиной пожара либо другой наносящей ущерб аварийной ситуации электрического происхождения.

Силовые соединения системы распределения электроэнергии могут быть винтового или безвинтового типа. Основное различие между этими типами связано с источником силы сжатия кабелей. Ниже будет показано, что у каждого из этих типов есть свои достоинства и недостатки, которые следует учитывать при выборе автоматических выключателей.

### 2.1 Винтовые соединения

В винтовом соединении сила сжатия создается резьбовым элементом, таким как винт или болт. Основное преимущество винтовых соединений – к проводникам прилагается значительное усилие, обеспечивающее хорошее расплющивание и сжатие проводника и, как результат, уменьшение сопротивления контакта. Кроме того, винтовой зажим имеет достаточно пространства для подсоединения нескольких кабелей. В то же время винтовые соединения могут ослабевать под действием вибрации, что может приводить к перегреву и, как следствие, к текучести проводников. Это обуславливает необходимость регулярно подтягивать силовые соединения для минимизации риска возникновения аварийных ситуаций из-за ослабления затяжки соединений.

Рисунок 1

Винтовое  
соединение



Рисунок 2

Безвинтовое  
соединение



### 2.2 Безвинтовые соединения

В безвинтовом соединении сила сжатия создается пружинным элементом, например пластинчатой пружиной или пружинистыми зажимными губками. Усилие, прилагаемое к проводникам в безвинтовом соединении, обычно меньше усилия резьбового элемента эквивалентного винтового соединения. Один из недостатков безвинтового зажима – возможность подсоединения только одного кабеля. В свою очередь, главным преимуществом этого типа соединения является то, что сила сжатия кабеля не изменяется со временем независимо от степени текучести материала кабеля.

### 2.3 Неблагоприятные воздействия на соединения

Силовые соединения могут подвергаться ряду негативных воздействий, которые могут отрицательно сказаться на их состоянии: микродвижения из-за вибрации, тепловое расширение или явление текучести – все эти факторы, как правило ведут к увеличению сопротивления контакта, происходящему по причине поверхностного окисления в процессе относительного перемещения либо из-за уменьшения силы контактного давления. На последующих страницах мы подробнее рассмотрим явление текучести.

## 3. Явление текучести

### 3.1 Причина и физические параметры

Металлы, в большинстве случаев используемые в кабелях, такие как медь и алюминий, считаются упругопластическими материалами. Тем не менее при определенных условиях механической нагрузки или нагрева они подвергаются замедленной постоянной деформации, даже если уровень механического напряжения ниже предела текучести данного металла. Текучесть – состояние, в котором подвергающийся постоянному механическому напряжению материал с течением времени начинает непрерывно деформироваться. Чередование циклов высокой и низкой температуры увеличивает текучесть материалов из-за их вязкостно-температурных свойств. Более того, экстремальные температуры способны изменять структуру материалов. Итак, время, механическая нагрузка и температура – факторы, влияющие на состояние кабелей.

Чтобы проиллюстрировать это положение, представим себе книжную полку с размещенными на ней книгами. Через некоторое время под действием сочетания веса самой полки и веса книг полка прогнется, даже если приложенная к ней нагрузка ниже предела упругости материала полки.

**Рисунок 3**

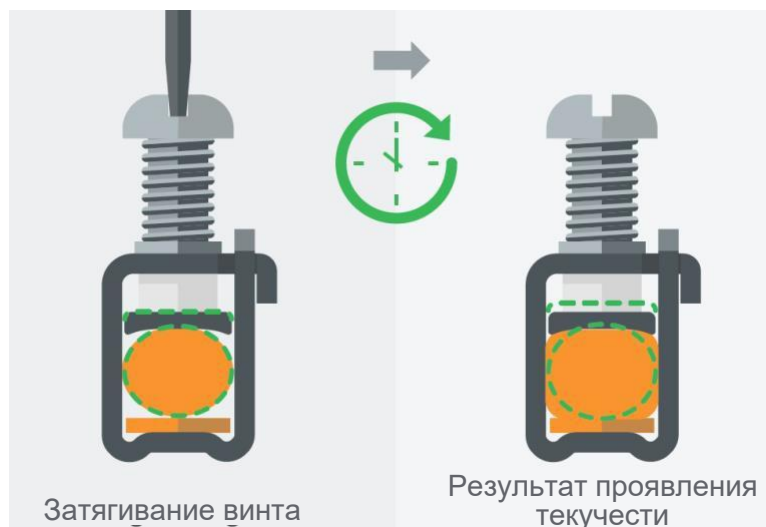
*Воздействие факторов времени и механической нагрузки на полку с книгами*



Как правило степень текучести напрямую зависит от диаметра кабеля: чем он больше, тем сильнее проявляется текучесть. Когда речь идет об электрических соединениях, даже незначительная деформация кабеля может стать причиной уменьшения контактного давления, что является основанием для беспокойства. Помимо этого для электрических кабелей (в особенности гибких) характерно еще одно явление – под влиянием прилагаемой к ним силы проводники в кабеле перераспределяются таким образом, что занимают все свободное пространство. См. иллюстрацию на рисунке 4 ниже:

**Рисунок 4**

*Расширение кабеля из-за явления текучести*

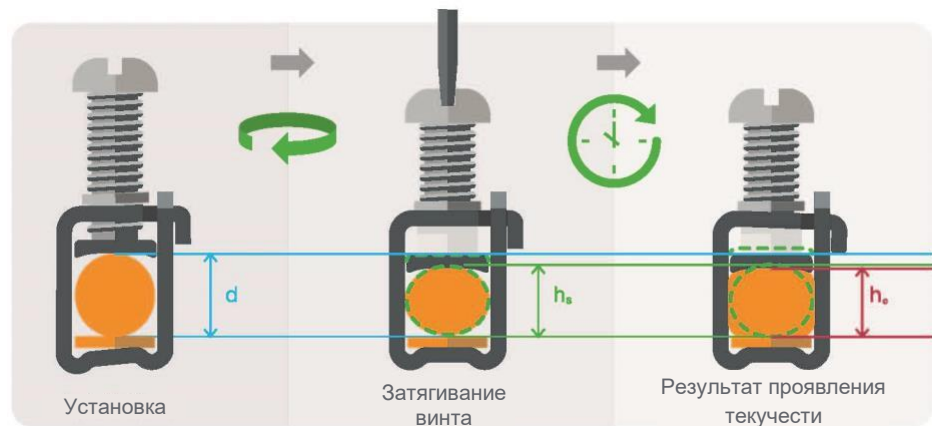


### 3.2 Влияние на оборудование

Следует упомянуть необходимость учитывать ряд важных параметров винтового соединения: материалы, размер кабеля, винт и кабельный наконечник. В результате затягивания винта приложенный крутящий момент преобразуется в силу сжатия, а вращение преобразуется в поступательное перемещение винтовой пластины, дающее в итоге установленную высоту.

**Рисунок 6**

Эффект  
затягивания винта  
в винтовом зажиме



На приведенной выше иллюстрации диаметр проводника определяется постоянной деформацией, возникающей вследствие эластической деформации (являющейся обратимой) и пластической деформации или деформации текучести (являющейся постоянной) кабеля.

На иллюстрации выше показан исходный диаметр (диаметр  $d$  кабеля).

После затягивания винта в результате начального сжатия кабеля диаметр становится  $h_s$ .

С течением времени кабель подвергается воздействию текучести и обретает окончательный диаметр  $h_c$ .

Соединения с использованием стандартных кабельных наконечников также подвержены текучести, так как единственный запас упругости узла «хранится» в самом наконечнике. Так или иначе, максимальная деформация внутри кабеля представляет собой сумму постоянных деформаций (пластической деформации во время затягивания винта и деформации текучести) в дополнение к эластическим (обратимым) деформациям. При уменьшении силы сжатия кабель освобождается только от эластических деформаций, поэтому сила может быть не достаточна для достижения надлежащего контактного давления.

## 4. Решение EverLink

### 4.1 Обзор

Технология EverLink предлагает пользователям надежное, долговечное крепление кабелей, обеспечивающее безопасное и надежное присоединение силовых цепей. Решение EverLink предусматривает обжатие наконечника вокруг кабеля и нагрузку пружины, которая компенсирует сокращение пространства из-за эффекта текучести, рассмотренного нами выше.

Эта запатентованная технология, впервые примененная в 2007 году для гаммы устройств TeSys компании Schneider Electric, доступна в двух форматах:

- кабельный наконечник снабжен пластинчатой пружиной (например, в гамме TeSys пружина используется с двумя наконечниками, что обеспечивает более длинный ход при действии эффекта подпружинивания);
- в кабельный наконечник встроена специальная функция эффекта подпружинивания – это дает компактность за счет более коротких наконечников.

Этот эффект подпружинивания позволяет реализовать компенсацию текучести, свойственную безвинтовым соединениям, обеспечивая при этом высокое контактное давление между кабелем и контактом подключаемого устройства и, соответственно, более низкое сопротивление контакта.

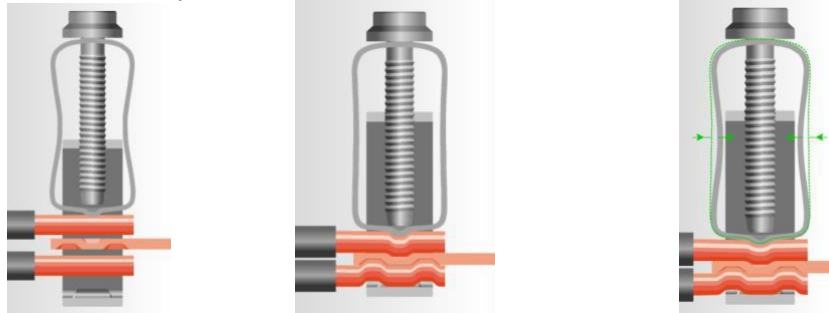


## 4.2 Физические принципы

### 4.2.1 Технология EverLink в устройствах TeSys

Эта технология предусматривает сохранение эффекта подпружинивания в упругом элементе, окружающем винт, который деформируется в процессе затягивания, при этом его вогнутый контур (рисунок 7-а) превращается в прямой (рисунок 7-с).

Когда кабель начинает «течь», упругий элемент стремится вернуться к своей исходной форме и обеспечивает достаточное давление, позволяющее избежать нагревание контакта и прочие опасные явления.



**Рисунок 7**

Принцип действия  
технологии EverLink  
в устройствах TeSys

а – исходное положение

б – винт затянут

с – проявляется текучесть

Компенсация текучести обеспечивается благодаря специальной конструкции с эффектом подпружинивания.





#### 4.2.2 Технология EverLink в устройствах NSXm

В рамках данной технологии принцип действия кабельного наконечника слегка отличается от стандартного. Прежде всего, он имеет не квадратную или прямоугольную, а трапециевидальную форму. Далее, наконечник имеет зону относительного перемещения, которая позволяет осуществляться эластической деформации вплоть до достижения упора. С этого момента наконечник обеспечивает жесткость аналогично стандартному наконечнику.

Изначально кабельный наконечник находится в нижнем положении (рисунок 8-а). После затягивания винта под механической нагрузкой он достигает верхнего положения (рисунок 8-е), при этом его форма меняется с трапециевидальной на квадратную. Когда начинает проявляться текучесть, наконечник возвращается в свое исходное положение, поддерживая при этом давление на кабель (рисунок 8-ф).

**Рисунок 8**

*Принцип действия  
технологии EverLink  
в устройствах  
Compact NSXm*



а – исходное положение



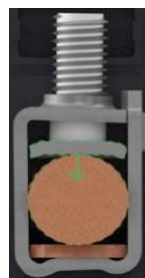
б – винт затянут



с – проявляется текучесть



д – исходное положение



е – винт затянут



ф – проявляется текучесть

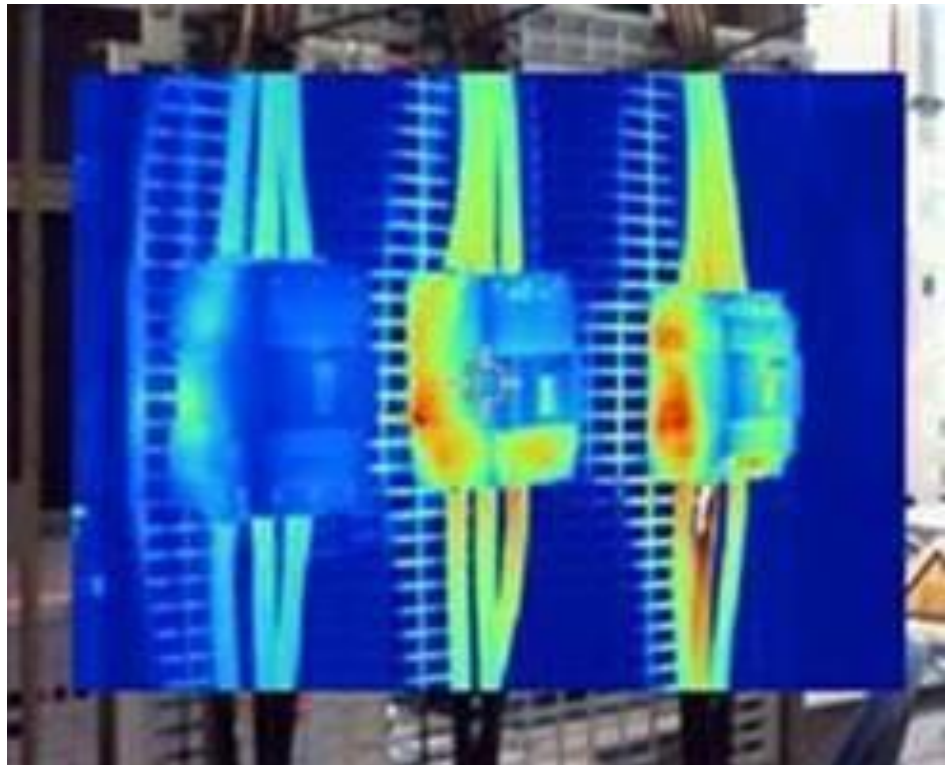
### 4.3 Испытание присоединений автоматических выключателей

В ноябре 2017 года в испытательных лабораториях компании Schneider Electric были проведены комплексные испытания, в ходе которых сравнивались три аналогичных автоматических выключателя в литом корпусе на ток 160 А с целью определения последствий ослабления затяжки зажимов. В числе подвергшихся испытаниям автоматических выключателей был аппарат Compact NSXm компании Schneider Electric, а также выключатели от двух ведущих конкурирующих производителей.

Целью данных испытаний было измерение теплоты, выделяемой на зажиме каждого автоматического выключателя из-за ослабления затяжки этого зажима (таким образом имитировали текучесть кабеля и эффект вывинчивания винта под воздействием вибрации). Винт вывертывали с интервалами 1/4 оборота на максимальную величину 1,25 оборота. Каждый из трех выключателей подвергался одинаковому испытанию в идентичных условиях.

**Рисунок 9**

*Тепловое изображение выключателя Compact NSXm (слева) и двух выключателей ведущих конкурентов (правее) во время испытания после вывинчивания винта на пол-оборота*



По результатам испытаний было сделано заключение, что автоматический выключатель в литом корпусе Compact NSXm компании Schneider Electric превзошел своих конкурентов. Из трех выключателей именно Compact NSXm в ходе испытаний сгенерировал меньше всего тепла и в результате оказался единственным аппаратом, не отключившимся после вывинчивания винта на один полный оборот. Изделия конкурентов не смогли обеспечить достаточное давление на проводник и вследствие этого отключились при ослаблении затяжки более чем на пол-оборота.

Параллельно было выполнено исследование с участием автоматического выключателя управления электродвигателем TeSys GV4 и двух аппаратов ведущих конкурирующих производителей, давшее аналогичные результаты. Таким образом, все эти исследования продемонстрировали несомненную эффективность технологии силовых соединений EverLink при ее применении как в аппаратах Compact NSXm, так и в устройствах гаммы TeSys.

## 4.4 Преимущества технологии EverLink

### Безопасность

Технология EverLink обеспечивает более надежное соединение, сохраняя запас давления пружины на кабель в случае теплового расширения, текучести материала или ослабления затяжки зажима из-за воздействия внешней вибрации.

Этот запас давления поддерживает работоспособность соединения в широком диапазоне условий эксплуатации, обеспечивая более низкое сопротивление контакта и, соответственно, более низкий уровень нагрева.

### Упрощение обслуживания

Благодаря тому, что эффект подпружинивания EverLink не позволяет затяжке зажима ослабевать с течением времени, отпадает необходимость в ежегодном выполнении работ по подтягиванию соединений. За счет этого экономится время специалистов по техническому обслуживанию, которые традиционно вынуждены затрачивать больше времени на этот вид профилактического обслуживания. Кроме того, при использовании тепловизионных камер в соответствии с местными нормами и правилами руководители объектов могут не беспокоиться, зная, что зажимы EverLink компенсируют текучесть кабелей.

### Бесперебойность работы

Когда имеет место явление текучести, в некоторых случаях выделяемое в разъеме избыточное тепло может быть обнаружено защитой от тепловой перегрузки (на основе биметаллической пластины), в результате произойдет аварийное отключение автоматического выключателя. Это нежелательное отключение может послужить потенциальной причиной для остановки непрерывного технологического процесса, что приведет к потере сырья или снижению производительности. Как продемонстрировало испытание разъемов автоматических выключателей, аппараты ведущих конкурентов самопроизвольно отключаются из-за перегрева зажимов. Это значит, что специалисты по техническому обслуживанию должны потратить время на ручной возврат выключателей в исходное положение, и данная проблема может повториться.

## 5. Как обеспечить идеальную установку

Ниже приведено несколько советов о том, как правильно устанавливать оборудование EverLink и предотвращать снижение надежности соединений в течение срока службы изделий:

### Рисунок 10

#### Установка



- используйте кабель, соответствующий требованиям данного присоединения (сечение, материал, тип кабеля и т. д.);
- подготовьте кабель надлежащим образом (например, скручивание проводников, хомуты и т. д.), обеспечьте изоляцию кабеля требуемой длины;
- при необходимости полностью выверните винт зажима;
- вставьте кабель в зажим и затяните винт с помощью рекомендуемых инструментов. Имейте в виду, что при затягивании зажима Everlink может возникать необычное ощущение из-за эффекта подпружинивания кабельного наконечника;
- не перетягивайте зажим, соблюдайте рекомендуемый момент затяжки путем использования динамометрического ключа и срывных головок;
- слегка потянув за кабели, убедитесь, что они надежно закреплены в зажимах;
- ежегодно проверяйте установку посредством тепловизионного контроля. В случае если тепловизионный контроль недоступен, выполняйте дополнительное подтягивание зажимов.

## 6. Заключение

Безопасность и надежность – два первостепенных фактора, которые необходимо учитывать при реализации присоединений силовых цепей в электроустановке. Недостаточное внимание этим факторам может привести к возникновению риска возгораний и других наносящих ущерб аварийных ситуаций электрического происхождения.

Технология EverLink компании Schneider Electric призвана обеспечить пользователям спокойствие и уверенность в том, что касается надежности, удобства обслуживания и бесперебойности работы. Оптимизация технического обслуживания достигается за счет того, что технология EverLink не требует регулярного подтягивания зажимов силовых соединений.

В прошлом пользователи периодически сталкивались с проблемой перегрева разъемов, вызывающего самопроизвольное отключение автоматических выключателей. Кроме того, перегрев может привести к серьезным повреждениям самих выключателей и/или подсоединенных к ним кабелей.

За счет своего запатентованного эффекта подпружинивания технология EverLink нейтрализует явление текучести, обеспечивая неослабевающее со временем крепление кабелей в силовых зажимах, благодаря чему пользователи получают надежное и долговечное присоединение силовых цепей в своих электроустановках.

### Об авторах

Даниэль Ванзетто (Daniel Vanzetto) – старший инженер-изобретатель в научно-исследовательском центре компании Schneider Electric. Он имеет большой опыт деятельности в качестве специалиста в области подсоединения электротехнических устройств и работает на глобальном уровне над многими решениями по подключению. Он также тесно сотрудничает с поставщиками в деле запуска новых перспективных технологий и оптимизации существующих конструкций. Даниэль является одним из крупнейших специалистов Schneider Electric по присоединениям.

Эмир Бумедьен (Emir Boumediene) – руководитель подразделения Моделирования и механизмов (Simulation & Mechanisms) в группе Архитектур и инноваций (Architecture & Innovation) Schneider Electric в составе Департамента зданий и IT (Building and IT). Он имеет звания магистра наук в области механики и магистра наук в области биомеханики, полученные в Национальной высшей школе искусств и ремесел. В составе группы Эмир работал над различными темами, связанными с механикой присоединения.



## Информационные ресурсы

Подробнее про гамму устройств TeSys:  
[TeSys](#)

Подробнее про выключатели Compact NSXm:  
[ComPact NSXm](#)

### Свяжитесь с нами

Если вы клиент и у вас есть вопросы, относящиеся к нашему проекту:

обратитесь к вашему представителю компании  
Schneider Electric по адресу  
<https://www.schneider-electric.com/en/work/support/>