

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202091677** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2020.10.21**

(51) Int. Cl. **H01B 9/00** (2006.01)  
**H01B 5/10** (2006.01)  
**H01B 7/18** (2006.01)  
**H01B 13/02** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2019.03.05**

(54) **ПОДВЕСНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ И СПОСОБ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

(31) **62/638,436**

(72) Изобретатель:

(32) **2018.03.05**

**Боше Эрик Дж., Уэбб Уильям,  
Пиллинг Дуглас А., Вонг Кристофер  
(US)**

(33) **US**

(86) **PCT/US2019/020855**

(87) **WO 2019/173414 2019.09.12**

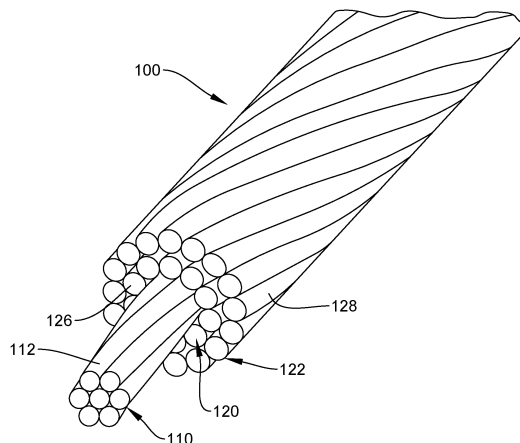
(74) Представитель:

(71) Заявитель:

**СиТиСи ГЛОБАЛ КОРПОРЕЙШН  
(US)**

**Медведев В.Н. (RU)**

(57) Неизолированный подвесной электрический кабель и способ изготовления подвесного электрического кабеля. Электрический кабель включает в себя центральный усиливающий элемент и по меньшей мере два токопроводящих слоя, окружающих усиливающий элемент, причем два токопроводящих слоя образованы соответственно из первых и вторых токопроводящих жил. Первые токопроводящие жилы выполнены из первого алюминиевого материала, а вторые токопроводящие жилы выполнены из второго алюминиевого материала, причем второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается от того же свойства первого алюминиевого материала. Например, вторые токопроводящие жилы могут быть выполнены из алюминиевого материала, имеющего более низкую электропроводность, но более высокую твердость, чем первый алюминиевый материал. Такая конфигурация может быть полезна, когда подвесной электрический кабель проложен в географическом регионе, который подвержен тяжелой нагрузке от обледенения.



**202091677**  
**A1**

**202091677**  
**A1**

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-564389EA/019

### ПОДВЕСНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ И СПОСОБ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

#### Область техники

[0001] Настоящее раскрытие относится к области подвесных электрических кабелей для передачи и распределения электроэнергии.

#### Предпосылки создания

[0002] Подвесные электрические кабели (кабели для воздушных линий электропередач) для передачи и распределения электроэнергии как правило включают в себя неизолированную алюминиевую токопроводящую жилу (электрический провод), имеющую достаточный диаметр (например, площадь поперечного сечения) для безопасной передачи электроэнергии при высоких напряжениях. Хотя алюминий имеет высокое отношение удельной электропроводности к массе, некоторые алюминиевые сплавы слишком непрочны, чтобы быть самонесущими при натяжении между опорными конструкциями (например, между опорами ЛЭП), что приводит к большим провисаниям, и для поддержки алюминиевого провода необходимо использовать центральный усиливающий элемент. В типичной конфигурации отдельные металлические (например, алюминиевые) токопроводящие жилы спирально намотаны вокруг центрального усиливающего элемента и поддерживаются им. При установке усиливающий элемент несет большую часть механической (например, растягивающей) нагрузки и устанавливается при высокой растягивающей нагрузке. Традиционно усиливающий элемент состоит из множества стальных жил, которые скручены вместе, такая конфигурация кабеля называется алюминиевым кабелем, армированным сталью (ACSR). В последнее время в качестве усиливающего элемента стали использовать другие материалы, такие как усовершенствованные армированные волокном композитные материалы, имеющие высокую прочность при растяжении, низкий коэффициент теплового расширения (КТР) и другие желательные тепловые и механические свойства.

[0003] Одним примером подвесного электрического кабеля (кабеля для подвесных линий электропередач), имеющего такой композитный усиливающий элемент, является подвесной электрический кабель АССС®, поставляемый корпорацией "СиТиСи ГЛОБАЛ КОРПОРАЭЙШН", Ирвин, Калифорния, США. Смотри, например, патент США №7368162 Хиела (Hiel) и др., который включен сюда во всей своей полноте посредством ссылки. Использование таких композитных усиливающих элементов выгодно обеспечивает использование полностью отожженного алюминия высокой электропроводности для внешних токопроводящих жил. Модуль упругости углеродных волокон, используемых в композитном несущем элементе АССС®, выше модуля упругости стали (примерно 235 ГПа для углеродного волокна по сравнению с примерно 200 ГПа для стали). Однако в несущем элементе АССС® внешний слой из стекловолокна (модуль упругости примерно 45,6 ГПа), который окружает углерод, приводит к объединенному модулю упругости композитного усиливающего элемента АССС® ниже, чем у стали. Этот внешний слой из

стекловолокна используется для повышения ударопрочности и увеличения гибкости проводника, а также служит для изоляции углеродных волокон от алюминиевых жил для предотвращения гальванической коррозии.

[0004] Ряд критериев проектирования входит в конфигурацию подвешенного электрического кабеля, и критерии проектирования часто зависят от местного климата в том месте, где проложен электрический кабель. Например, когда электрический кабель прокладывается в районах с холодным климатом, где часто случаются снегопады и гололедные явления, лед может накапливаться на поверхности внешнего проводника в условиях низкой нагрузки или отключения от сети, когда по незащищенному подвешенному электрическому кабелю протекает слабый ток или его нет, из-за недостатка тепла, которое обычно присутствует при обычных условиях эксплуатации. Электроэнергетические компании в районах с очень сильным обледенением используют для расчета массы обледеневшего проводника толщину льда вплоть до 2-х дюймов (50 мм). Дополнительная масса скопления льда увеличит натяжение кабеля и может вызвать значительное увеличение провисания кабеля, то есть увеличение расстояния по вертикали между точками опоры и самой нижней точкой кабеля. Высоковольтные незащищенные подвесные электрические кабели часто пересекают проезжие части, деревья и/или подвесные электрические распределительные кабели низкого напряжения. Если эти высоковольтные передающие кабели нагружаются льдом и провисают слишком близко к этим объектам, они становятся очень опасными и могут привести к сбоям и получающимся в результате отключениям электроэнергии.

[0005] При этом подвесные электрические кабели также должны быть способны безопасно передавать повышенные электрические нагрузки (например, повышенное напряжение) во время более теплых летних месяцев, когда требования к электроэнергии являются наиболее высокими. Такие повышенные нагрузки могут повышать температуру кабеля (из-за резистивного нагрева), вызывая тепловое расширение (удлинение) кабеля и провисание в направлении земли, создавая те же проблемы, которые могут возникать из-за нагрузки от обледенения.

[0006] Одним решением этих проблем является использование более высоких опор ЛЭП для поддержки кабелей. Однако это решение сопровождается повышенными затратами. Другое решение проблемы нагрузки от обледенения состоит в использовании усиливающего элемента, имеющего очень высокую прочность при растяжении, такого как усиливающий элемент из армированного волокном композита, и в прокладке кабеля между опорными конструкциями с очень высоким натяжением (натягивающим усилием).

### **Сущность изобретения**

[0007] Перегрузка от обледенения может вызвать необратимое удлинение подвешенного электрического кабеля. В результате увеличения натяжения кабеля из-за добавленной массы льда кабель может растянуться за пределы своего начального предела текучести, что может препятствовать ему в возвращении к его первоначальному провисанию или состоянию натяжения после того, как обледенение уменьшится.

Повышенная упругость армированного волокном композитного усиливающего элемента, такого как усиливающий элемент АССС®, позволяет кабелю возвращаться в его исходное состояние провисания и натяжения после того, как спадет нагрузка от обледенения.

[0008] Существует потребность в подвесном электрическом кабеле, имеющем композитный усиливающий элемент, который можно использовать как при условиях перегрузки от обледенения, так и при условиях очень высокого тока, обеспечивая при этом другие преимущества, связанные с использованием композитного усиливающего элемента.

[0009] В одном варианте осуществления раскрыт такой подвесной электрический кабель. Подвесной электрический кабель содержит усиливающий элемент и первый токопроводящий слой, окружающий усиливающий элемент, причем первый токопроводящий слой содержит жилы из первого алюминиевого материала. Первый токопроводящий слой окружен вторым токопроводящим слоем, причем второй токопроводящий слой содержит жилы из второго алюминиевого материала. Второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается от того же свойства первого алюминиевого материала.

[0010] Вышеупомянутый подвесной электрический кабель может быть охарактеризован как имеющий улучшенные характеристики и/или дополнительные характеристики, которые могут быть реализованы отдельно или в любой комбинации. В одном варианте различное свойство материала между первым и вторым алюминиевыми материалами выбрано из группы свойств, состоящей из предела текучести, модуля упругости, твердости, электропроводности и прочности при растяжении. В одном конкретном варианте одним различным свойством материала является предел текучести. В одном улучшенном варианте второй алюминиевый материал имеет предел текучести, превышающий предел текучести первого алюминиевого материала. В другом конкретном варианте различным свойством материала между первым и вторым алюминиевыми материалами является прочность при растяжении. В одном улучшенном варианте второй алюминиевый материал имеет меньшую прочность при растяжении, чем прочность при растяжении первого алюминиевого материала. В еще одном варианте различным свойством материала между первым и вторым алюминиевыми материалами является электропроводность. В одном улучшенном варианте второй алюминиевый материал имеет электропроводность, превышающую электропроводность первого алюминиевого материала.

[0011] В другом варианте по меньшей мере один из первого и второго алюминиевых материалов имеет удельную электропроводность по меньшей мере примерно 60% IACS (по Международному стандарту на отожженную медь). В дополнительном улучшенном варианте по меньшей мере один из первого и второго алюминиевых материалов имеет удельную электропроводность по меньшей мере примерно 62% IACS. В еще одном дополнительном улучшенном варианте второй алюминиевый материал имеет удельную электропроводность по меньшей мере примерно

62% IACS. В другом варианте второй алюминиевый материал представляет собой отожженный алюминиевый сплав 1350-O. В еще одном варианте первый алюминиевый материал представляет собой закаленный алюминиевый сплав. В другом варианте первый алюминиевый материал выбран из алюминиевого сплава алюминия и циркония (AlZr) и алюминиевого сплава 1350-H19.

[0012] Токопроводящие жилы могут иметь разнообразные поперечные сечения, включая круглое, овальное и многоугольное. В одном варианте по меньшей мере одна из жил первого алюминиевого материала и жил второго алюминиевого материала являются трапецеидальными жилами. В дополнительном улучшенном варианте как первые жилы алюминиевого материала, так и вторые жилы алюминиевого материала являются трапецеидальными жилами. Подвесной электрический кабель может содержать более двух слоев токопроводящих жил. В одном варианте подвесной электрический кабель содержит третий токопроводящий слой, расположенный между первым токопроводящим слоем и вторым токопроводящим слоем. В одном улучшенном варианте третий токопроводящий слой включает в себя токопроводящие жилы из третьего алюминиевого материала, который отличается от первого алюминиевого материала и отличается от второго алюминиевого материала. В другом улучшенном варианте третий токопроводящий слой содержит жилы из первого алюминиевого материала. В еще одном улучшенном варианте третий токопроводящий слой содержит жилы из второго алюминиевого материала. В еще одном варианте подвесной электрический кабель содержит по меньшей мере четвертый токопроводящий слой, расположенный между третьим токопроводящим слоем и вторым токопроводящим слоем.

[0013] В другом варианте усиливающий элемент содержит армированную волокном композитную усиливающую деталь. В одном улучшенном варианте армированная волокном композитная усиливающая деталь содержит по существу непрерывные армирующие углеродные волокна, расположенные в связующей матрице. В другом улучшенном варианте усиливающий элемент имеет диаметр не более примерно 30 мм. В дополнительном улучшенном варианте усиливающий элемент имеет диаметр по меньшей мере примерно 3 мм. В другом варианте усиливающий элемент имеет предел прочности при растяжении (UTS) по меньшей мере примерно 1700 МПа.

[0014] В другом варианте осуществления раскрыт способ изготовления подвесного электрического кабеля. Способ включает в себя этапы намотки множества первых жил из первого алюминиевого материала на усиливающий элемент с образованием первого токопроводящего слоя и намотки множества вторых жил из второго алюминиевого материала вокруг первого токопроводящего слоя с образованием второго токопроводящего слоя. Второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, имеющее значение, которое отличается от значения того же свойства первого алюминиевого материала.

[0015] Вышеупомянутый способ может быть охарактеризован как имеющий улучшения и/или дополнительные этапы, которые могут быть реализованы отдельно или в

любой комбинации. В одном варианте множество первых жил из первого алюминиевого материала имеет трапецеидальное поперечное сечение. В одном улучшенном варианте множество вторых жил из второго алюминиевого материала имеет трапецеидальное поперечное сечение.

[0016] В другом варианте способ содержит намотку множества третьих жил из третьего алюминиевого материала вокруг первого токопроводящего слоя перед намоткой вторых токопроводящих жил вокруг первого токопроводящего слоя. В дополнительном усовершенствованном варианте способ включает в себя этап намотки множества четвертых жил из четвертого алюминиевого материала вокруг первого токопроводящего слоя перед намоткой третьих токопроводящих жил вокруг первого токопроводящего слоя.

[0017] В другом варианте осуществления раскрыт способ установки линии электропередачи. Способ включает в себя этапы протягивания подвесного электрического кабеля между по меньшей мере двумя опорными конструкциями и приложения натяжения к подвесному электрическому кабелю. Пока подвесной электрический кабель находится под приложенным натяжением, первый и второй концы подвесного электрического кабеля зажимаются таким образом, чтобы подвесной электрический кабель по меньшей мере частично поддерживался упомянутыми двумя опорными конструкциями и был протянут в зажатом состоянии с натяжением. Подвесной электрический кабель содержит усиливающий элемент, первый токопроводящий слой, окружающий усиливающий элемент, причем первый токопроводящий слой содержит жилы из первого алюминиевого материала, и второй токопроводящий слой, окружающий первый токопроводящий слой, причем второй токопроводящий слой содержит токопроводящие жилы из второго алюминиевого материала, который отличается от первого алюминиевого материала, при этом второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается от того же самого свойства первого алюминиевого материала.

#### **Краткое описание чертежей**

[0018] Фиг.1 иллюстрирует схематичный вид подвесного электрического кабеля согласно варианту осуществления настоящего раскрытия.

[0019] Фиг.2 иллюстрирует схематичный вид подвесного электрического кабеля согласно варианту осуществления настоящего раскрытия.

[0020] Фиг.3 иллюстрирует схематичный вид подвесного электрического кабеля согласно варианту осуществления настоящего раскрытия.

[0021] Фиг.4 иллюстрирует схематичный вид подвесного электрического кабеля согласно варианту осуществления настоящего раскрытия.

#### **Подробное описание вариантов осуществления изобретения**

[0022] В одном варианте осуществления раскрыт неизолированный подвесной электрический кабель. Подвесной электрический кабель включает в себя усиливающий элемент, первый токопроводящий слой, окружающий усиливающий элемент, и второй токопроводящий слой, окружающий первый токопроводящий слой. Первый токопроводящий слой включает в себя жилы из первого токопроводящего материала, а

второй токопроводящий слой содержит жилы из второго токопроводящего материала. Второй токопроводящий материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается (например, имеет другое значение) от того же свойства первого токопроводящего материала.

[0023] Фиг.1 иллюстрирует схематичное поперечное сечение подвесного электрического кабеля 100 согласно варианту осуществления настоящего раскрытия. Как проиллюстрировано на фиг.1, усиливающий элемент 110 включает в себя семь отдельных усиливающих элементов 112 (например, стержней), которые объединены (например, спирально намотаны) с образованием усиливающего элемента 110. Усиливающие элементы 112 могут быть изготовлены из стали, и в этом случае электрический кабель 100 будет называться проводником ACSR (алюминиевый проводник, армированный сталью). Альтернативно, усиливающие элементы 112 могут быть изготовлены из композитного материала, такого как композитный материал, включающий в себя структурные (например, армирующие) волокна, расположенные в связующей матрице, то есть когда матрица связывает структурные волокна вместе с образованием композитного материала. Примеры таких композитных материалов подробно обсуждены ниже.

[0024] Первые токопроводящие жилы 126 и вторые токопроводящие жилы 128 изготовлены из электропроводящего материала, в частности, из металла, такого как медь или алюминий. Для неизолированных подвесных кабелей как правило предпочтительнее алюминий из-за его хорошей электропроводности и низкой плотности (например, легкой массы). Как более подробно обсуждено ниже, согласно одному варианту осуществления, первый токопроводящий слой 120 включает в себя жилы 126 из первого алюминиевого материала, а второй токопроводящий слой 122 включает в себя жилы 128 из второго алюминиевого материала, при этом второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается (например, имеет другое значение) от того же свойства первого алюминиевого материала.

[0025] Фиг.2 схематично иллюстрирует другую конфигурацию подвесного электрического кабеля 200. Как проиллюстрировано на фиг.2, усиливающий элемент 210 также включает в себя семь отдельных усиливающих элементов 212, которые объединены (например, спирально намотаны) с образованием усиливающего элемента 210 аналогичным образом, как в варианте осуществления по фиг.1. Усиливающие элементы 212 могут быть изготовлены, например, из стали или армированного композитного материала, как обсуждено со ссылкой на фиг.1. Первые токопроводящие жилы 226 и вторые токопроводящие жилы 228 также изготовлены из электропроводящего материала, как обсуждено со ссылкой на фиг.1. Как более подробно обсуждено ниже, согласно одному варианту осуществления, первый токопроводящий слой 220 включает в себя жилы 226 из первого алюминиевого материала, а второй токопроводящий слой 222 включает в себя жилы 228 из второго алюминиевого материала, который имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается от того же свойства первого алюминиевого материала. Вариант осуществления, проиллюстрированный на фиг.2, отличается от

варианта осуществления на фиг.1 тем, что токопроводящие жилы 226/228 имеют многоугольное (например, трапецеидальное) поперечное сечение. Использование такого многоугольного поперечного сечения позволяет формировать токопроводящий слой 220/222 более высокой плотности. То есть по существу нет воздушных зазоров между соседними токопроводящими жилами ни в одном и том же токопроводящем слое, ни между токопроводящими слоями. Это позволяет уменьшить внешний диаметр подвесного электрического кабеля 200 (например, сделать его меньше), чем при использовании круглых токопроводящих жил (фиг.1) для того же эффективного количества алюминия. Меньший внешний диаметр может уменьшать количество массы льда на подвесном кабеле во время нагрузки от обледенения. То есть такая же толщина льда на подвесном кабеле диаметром 0,8 дюйма (20,32 мм) по сравнению с кабелем диаметром 1 дюйм (25,4 мм) приведет к меньшей массе льда на подвесном кабеле и его меньшему натяжению.

[0026] Фиг.3 схематично иллюстрирует еще одну конфигурацию подвесного электрического кабеля 300. Как проиллюстрировано на фиг.3, первые токопроводящие жилы 326 из первого токопроводящего слоя 320 и вторые токопроводящие жилы 328 из второго токопроводящего слоя 322 также изготовлены из электропроводящего материала, как обсуждено в отношении фиг.1, в частности, из алюминия. Жилы 326/328 имеют трапецеидальное поперечное сечение, как обсуждено в отношении фиг.2. Подобным образом первый токопроводящий слой 320 включает жилы 326 из первого алюминиевого материала, а второй токопроводящий слой 322 включает в себя жилы 328 из второго алюминиевого материала.

[0027] Как проиллюстрировано на фиг.3, усиливающий элемент 310 включает в себя единственный усиливающий элемент 312. Единственный усиливающий элемент 312 может быть изготовлен, например, из армированного композитного материала, как обсуждено в отношении фиг.1. Вариант осуществления, проиллюстрированный на фиг.3, в частности, включает единственный усиливающий элемент 312, имеющий внутреннюю сердцевину 314 и внешний слой 316, окружающий внутреннюю сердцевину 314. Такой усиливающий элемент может включать, например, внутреннюю сердцевину, содержащую высокопрочные углеродные волокна, и внешний слой, содержащий стеклянные волокна, что представляет собой конфигурацию, называемую АССС® и поставляемую корпорацией "СиТиСи ГЛОБАЛ КОРПОРАШН", Ирвин, Калифорния, США. См. патент США №7368162 Хиела (Hiel) и др., указанный выше.

[0028] Фиг.4 схематично иллюстрирует еще одну конфигурацию подвесного электрического кабеля 400. Как проиллюстрировано на фиг.4, первые токопроводящие жилы 426 первого токопроводящего слоя 420 и вторые токопроводящие жилы 428 второго токопроводящего слоя 422 также изготовлены из электропроводящего материала, как обсуждено в отношении фиг.1, в частности, из алюминия и имеют трапецеидальное поперечное сечение, как обсуждено в отношении фиг.2. Подобным образом первый токопроводящий слой 420 включает в себя жилы 426 из первого алюминиевого материала, а второй токопроводящий слой 422 включает в себя жилы 428 из второго алюминиевого



материала, который отличается от первого алюминиевого материала. Усиливающий элемент 410 включает в себя единственный усиливающий элемент 412, как описано в отношении фиг.3.

[0029] Как показано на фиг.4, подвесной электрический кабель 400 включает в себя третий токопроводящий слой 424, который содержит токопроводящие жилы 430 (например, третьи токопроводящие жилы). Третий токопроводящий слой 424 окружает усиливающий элемент 410 и окружает первый токопроводящий слой 420. Третий токопроводящий слой 424, отличающийся другим образом, расположен между первым токопроводящим слоем 420 и вторым токопроводящим слоем 422. Третий токопроводящий слой 424 может преимущественно увеличивать допустимую токовую нагрузку подвесного электрического кабеля, например, в целях передачи высокого напряжения за счет обеспечения дополнительного поперечного сечения проводника, например, по сравнению с вариантом осуществления, показанным на фиг.3. Третьи токопроводящие жилы 430 могут быть изготовлены из того же токопроводящего материала, что и первые токопроводящие жилы 426, могут быть изготовлены из того же токопроводящего материала, что и вторые токопроводящие жилы 428, или могут быть изготовлены из токопроводящего материала, имеющего по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается (например, имеет другое значение) от такого же свойства материала первых токопроводящих жил 426 и вторых токопроводящих жил 428.

[0030] Конфигурации подвесного электрического кабеля, проиллюстрированного на фиг.1-4, предназначены для иллюстративных целей, и подвесные электрические кабели по настоящему раскрытию не ограничиваются этими конкретными конфигурациями. Например, другая конфигурация может включать в себя усиливающий элемент с одной единственной деталью, как показано на фиг.3, с круглыми жилами, как показано на фиг.1. Другие конфигурации будут очевидны для специалиста в данной области техники.

[0031] Согласно настоящему раскрытию по меньшей мере одно свойство материала токопроводящих жил в одном токопроводящем слое отличается (например, имеет другое значение) от того же свойства материала токопроводящих жил в другом токопроводящем слое. То есть токопроводящие (например, металлические) материалы, из которых сформированы соответствующие токопроводящие жилы, могут иметь различный химический состав (например, могут быть другим сплавом) и/или могут быть обработаны способом, который приводит к другому свойству материала. Например, термическая обработка (например, отжиг) некоторых металлических материалов может обеспечить токопроводящую жилу с другими свойствами по сравнению с токопроводящей жилой из того же материала (того же химического состава), которая не подвергалась термообработке. Аналогичным образом, деформационное упрочнение (нагартовка) сплава с одинаковым химическим составом может привести к различным механическим свойствам.

[0032] В качестве примера, свойство материала, которое различно среди токопроводящих жил, может представлять собой одно или более из: предела текучести,

модуля упругости, твердости, прочности при растяжении и электропроводности. В одном конкретном варианте осуществления упомянутым по меньшей мере одним свойством материала, которое отличается среди токопроводящих жил, является предел текучести. Модуль упругости (то есть модуль Юнга) представляет собой упругость при растяжении токопроводящей жилы, то есть отношение растягивающего напряжения к растягивающей деформации. Так как материал подвергается растягивающему напряжению, материал начинает растягиваться (пластически деформироваться) при некотором растягивающем напряжении, и эта точка называется пределом текучести. Различные алюминиевые сплавы и разные состояния поставки среди аналогичных сплавов могут иметь разные пределы текучести. В одном конкретном варианте предел текучести внешнего токопроводящего слоя (например, жил внешнего слоя) больше предела текучести внутреннего токопроводящего слоя (например, жил внутреннего слоя). То есть, когда к токопроводящим слоям прикладывается растягивающее напряжение, внутренний токопроводящий слой будет пластически деформироваться (растягиваться) перед пластической деформацией внешнего токопроводящего слоя. Например, обращаясь к фиг. 1, (внешние) токопроводящие жилы 128 могут иметь более высокий предел текучести, чем (внутренние) токопроводящие жилы 126. Аналогичным образом, токопроводящие жилы 228/328 на фиг. 2 и 3 могут иметь более высокий предел текучести, чем токопроводящие жилы 226/326. В варианте осуществления по фиг. 4 токопроводящие жилы 426 первого токопроводящего слоя 420 могут иметь более низкий предел текучести, чем токопроводящие жилы 428 второго токопроводящего слоя 422. Промежуточный третий токопроводящий слой 424 может включать в себя жилы 430 из материала, имеющего более высокий предел текучести или практически такой же, как у жил 426 первого токопроводящего слоя 420. Кроме того, промежуточный третий токопроводящий слой 424 может включать в себя жилы 430 из материала, имеющего предел текучести, равный или меньший, чем предел текучести токопроводящих жил 428 во втором токопроводящем слое 422.

[0033] В другом варианте одним свойством материала, которое отличается среди определенных токопроводящих жил, является прочность при растяжении. В одном конкретном варианте внешний токопроводящий слой имеет прочность при растяжении, превышающую прочность при растяжении внутреннего токопроводящего слоя. Например, обращаясь к фиг. 1, (внешние) токопроводящие жилы 128 могут иметь более высокую прочность при растяжении, чем (внутренние) токопроводящие жилы 126. Аналогичным образом, токопроводящие жилы 228/328 на фиг. 2 и 3 могут иметь прочность при растяжении, которая выше или практически такая же, как у токопроводящих жил 226/326. В варианте осуществления по фиг. 4 токопроводящие жилы 426 первого токопроводящего слоя 420 могут иметь меньшую прочность при растяжении, чем токопроводящие жилы 428 второго токопроводящего слоя 422. Промежуточный третий токопроводящий слой 424 может включать в себя жилы 430 из материала, имеющего более высокую прочность при растяжении, чем прочность при растяжении жил 426 первого токопроводящего слоя

420. Кроме того, промежуточный третий токопроводящий слой 424 может включать в себя жилы 430 из материала, имеющего прочность при растяжении, равную или меньшую, чем прочность при растяжении токопроводящих жил 428 во втором токопроводящем слое 422. Для токопроводящих жил, имеющих более высокую прочность при растяжении, можно использовать, например, алюминиевые сплавы, такие как 6201-T81 и 6101.

[0034] В таблице I представлены удельная электропроводность, прочность при растяжении, предел текучести и максимальная (постоянная) рабочая температура для нескольких алюминиевых материалов.

Таблица 1. Алюминиевые проводящие материалы

Описание	Наименование	Удельная электропроводность (% IACS)	Прочность при растяжении (МПа)	Приблизительный предел текучести (МПа)	Максимальная рабочая температура (°C)
Холоднотянутый	1350-H19	61	160-200	165	90
Сплав MS	5005-H19	53,3	250	190	90
Сплав MS	6101	53,5	295	200	90
Сплав HS	6201-T81	52,5	305-315	270	90
Сплав MS	6201-T83	57,5	250	200	90
Полностью отожженный	1350-O	63	60-95	25-30	250
Термостойкий	TAL (AT1)	60	159-169	150	150
Термостойкий HS	KTAL (AT2)	55	225-248	200	150
Сверхтермостойкий	ZTAL/UTAL (AT3)	60	159-176	150	210
Экстратермостойкий	XTAL (AT4)	58	159-169	150	230

[0035] В другом варианте одним свойством материала, которое отличается среди определенных токопроводящих жил, является твердость. Твердость является мерой локального сопротивления пластической деформации, например, от механического вдавливания или истирания. В одном конкретном варианте внешний токопроводящий слой имеет твердость, превышающую твердость внутреннего токопроводящего слоя. Например, обращаясь к фиг.1, (внешние) токопроводящие жилы 128 могут иметь более высокую твердость, чем (внутренние) токопроводящие жилы 126. Аналогичным образом, токопроводящие жилы 228/328 на фиг.2 и 3 могут иметь твердость, которая выше или по

существу такая же, как у токопроводящих жил 226/326. В варианте осуществления по фиг.4 токопроводящие жилы 426 первого токопроводящего слоя 420 могут иметь меньшую твердость, чем токопроводящие жилы 428 второго токопроводящего слоя 422. Промежуточный третий токопроводящий слой 424 может включать в себя жилы 430 из материала, твердость которого выше твердости жил 426 первого токопроводящего слоя 420. Кроме того, промежуточный третий токопроводящий слой 424 может включать в себя жилы 430 из материала, твердость которого равна или меньше твердости токопроводящих жил 428 во втором токопроводящем слое 422. Для токопроводящих жил, имеющих более высокую твердость, можно использовать закаленные алюминиевые сплавы, такие как сплав алюминия с цирконием (AlZr) или алюминиевый сплав 1350-H19.

[0036] В другом варианте одним свойством материала, которое отличается среди определенных токопроводящих жил, является (удельная) электропроводность. В одном конкретном варианте внешний токопроводящий слой имеет электропроводность, превышающую электропроводность внутреннего токопроводящего слоя. Например, обращаясь к фиг.1, (внешние) токопроводящие жилы 128 могут иметь более высокую электропроводность, чем (внутренние) токопроводящие жилы 126. Аналогичным образом, токопроводящие жилы 228/328 на фиг.2 и 3 могут иметь электропроводность, которая выше или практически такая же, как у токопроводящих жил 226/326. В варианте осуществления по фиг.4 токопроводящие жилы 426 первого токопроводящего слоя 420 могут иметь более низкую электропроводность, чем токопроводящие жилы 428 второго токопроводящего слоя 422. Промежуточный третий токопроводящий слой 424 может включать в себя жилы 430 из материала, имеющего более высокую электропроводность, чем электропроводность жил 426 первого токопроводящего слоя 420. Кроме того, промежуточный третий токопроводящий слой 424 может включать в себя жилы 430 из материала, имеющего электропроводность, которая равна или меньше, чем электропроводность токопроводящих жил 428 во втором токопроводящем слое 422. В любой из вышеупомянутых конфигураций токопроводящие жилы, имеющие более высокую электропроводность, могут быть изготовлены из алюминия, имеющего удельную электропроводность по меньшей мере примерно 60% IACS, такую как по меньшей мере примерно 62% IACS. В одном конкретном варианте токопроводящие жилы, имеющие более высокую электропроводность, могут быть изготовлены из отожженного алюминиевого сплава, такого как отожженный алюминиевый сплав 1350-O. В другом варианте жилы с более низкой электропроводностью (например, токопроводящие жилы 326 на фиг.3) могут быть изготовлены из сплавов AlZr, таких как термостойкие сплавы AlZr, приведенные в таблице 1.

[0037] Как обсуждалось выше относительно фигур, подвесной электрической кабель включает в себя усиливающий элемент, вокруг которого намотаны токопроводящие слои. Усиливающий элемент может включать в себя множество усиливающих деталей (например, фиг.1 и 2) или может включать в себя единственную усиливающую деталь (например, фиг.3 и 4). Усиливающая(ие) деталь(и) может (могут)

состоять из металла, такого как сталь, или из других материалов, таких как армированные волокном композитные материалы. Такие композитные материалы могут включать в себя армирующие волокна, расположенные в связующей матрице. Армирующие волокна могут быть по существу непрерывными армирующими волокнами, которые проходят по длине усиливающего элемента, и/или могут включать в себя короткие армирующие волокна (например, нитевидные волокна или рубленые волокна), которые диспергированы в связующей матрице. Волокна могут быть выбраны из широкого диапазона материалов, включая, но не ограничиваясь этим, углерод, стекло, бор, оксиды металлов, карбиды металлов, высокопрочные полимеры, такие как арамидные волокна или фторполимерные волокна, базальтовые волокна и тому подобное. Материал матрицы может включать в себя, например, пластик (например, полимер), такой как термопластичный полимер или терморезистивный полимер. Матрица также может быть металлической матрицей, такой как алюминиевая матрица. Один пример усиливающего элемента из композитного материала с алюминиевой матрицей проиллюстрирован в патенте США №6245425 МакКаллофа (McCullough) и др., который включен сюда во всей своей полноте посредством ссылки.

[0038] Один конкретный пример такого армированного волокном композитного усиливающего элемента используется в подвесном электрическом кабеле АССС®, который производится корпорацией "СиТиСи ГЛОБАЛ КОРПОРАЙШН", Ирвин, Калифорния, США. Такой подвесной электрический кабель проиллюстрирован, например, в патенте США №7368162 Хиела (Hiel) и др. Этот усиливающий элемент включает в себя внутреннюю сердцевину из высокопрочного углеродного волокна, окруженную слоем стекловолокна, обеспечивая повышенную гибкость и обеспечивая стойкость к гальванической коррозии алюминиевого проводника путем экранирования углеродных волокон из алюминия. Фиг.3 и 4 иллюстрируют использование такого композитного материала в качестве усиливающего элемента с единственной деталью. Использование усиливающего элемента с единственной деталью (фиг.3 и 4) может позволить несущему элементу иметь уменьшенный диаметр, например, по сравнению с многоэлементным несущим элементом (фиг.1 и 2) для тех же свойств растяжения, например, для той же прочности при растяжении.

[0039] В одном варианте усиливающий элемент имеет диаметр по меньшей мере примерно 3 мм, такой как по меньшей мере примерно 5 мм. Такой усиливающий элемент может преимущественно иметь высокую прочность при растяжении при изготовлении с использованием, например, высокопрочных углеродных волокон. Например, усиливающий элемент может иметь предел прочности при растяжении (UTS) по меньшей мере примерно 1700 МПа, такую как по меньшей мере примерно 1800 МПа, по меньшей мере примерно 1900 МПа или даже по меньшей мере примерно 2000 МПа. В другом варианте усиливающий элемент имеет номинальную прочность на разрыв по меньшей мере примерно 100 кН, такую как по меньшей мере примерно 125 кН или даже по меньшей мере примерно 150 кН.

[0040] Конфигурация раскрытых здесь токопроводящих (например, алюминиевых) жил может быть особенно полезной в регионах, которые испытывают сильную нагрузку от обледенения. В этой связи, чтобы дополнительно снизить влияние нагрузки от обледенения, в подвесном электрическом кабеле может использоваться усиливающий элемент, имеющий большой диаметр и/или очень высокую прочность при растяжении. В одном варианте усиливающий элемент имеет диаметр по меньшей мере примерно 8 мм, такой как по меньшей мере примерно 9 мм или даже по меньшей мере примерно 10 мм. На практике, например, для хранения и транспортировки, диаметр усиливающего элемента будет не более примерно 30 мм, таким как не более примерно 20 мм. В другом варианте усиливающий элемент имеет предел прочности при растяжении (UTS) по меньшей мере примерно 2200 МПа, такой как по меньшей мере примерно 2300 МПа, такой как по меньшей мере примерно 2400 МПа или даже по меньшей мере примерно 2500 МПа. Хотя это не ограничивается каким-либо конкретным максимальным UTS, UTS как правило будет не более примерно 3700 МПа. В другом варианте усиливающий элемент имеет номинальную прочность на разрыв по меньшей мере примерно 150 кН, такую как по меньшей мере примерно 160 кН, по меньшей мере примерно 170 кН или даже по меньшей мере примерно 180 кН.

[0041] Подвесные кабели, в которых используется армированный волокном композитный усиливающий элемент, имеют точку теплового изгиба. Первоначально растягивающая нагрузка прокладываемого кабеля распределяется между несущим элементом и токопроводящими жилами. Поскольку температура кабеля повышается с увеличением тока, коэффициент теплового расширения (КТР, STE) токопроводящих жил вызывает их более быстрое удлинение, чем усиливающего элемента с более низким КТР. При повышении температуры токопроводящие жилы ослабляются и переносят свою растягивающую нагрузку на усиливающий элемент. Пик этого переноса называется точкой теплового изгиба. Так как КТР усиливающего элемента ниже КТР токопроводящих жил, уменьшается провисание проводника выше точки теплового изгиба. Низкий КТР проводника АССС и низкая точка теплового изгиба позволяют уменьшить тепловое провисание, то есть провисание из-за теплового расширения кабеля.

[0042] Усиливающий элемент, имеющий очень высокую прочность при растяжении, такую как в конфигурации АССС®, позволяет использовать токопроводящие жилы из полностью отожженного алюминия. Полностью отожженный алюминий имеет более высокую электропроводность, чем неотожженный алюминий, и поэтому позволяет увеличить допустимую токовую нагрузку и снизить потери в линии. Однако полностью отожженный алюминий не обладает некоторыми физическими свойствами. Например, использование полностью отожженного алюминия может привести к увеличенному провисанию линии под статическими нагрузками (например, нагрузкой от обледенения), поскольку только относительно небольшая деформация растяжения будет пластически деформировать алюминий, уменьшая натяжение проводника. В одной конфигурации подвесной электрический кабель включает в себя внутренний токопроводящий слой из

отожженного алюминия и внешний токопроводящий слой из более твердого алюминия, такого как сплав Al-Zr. Например, обращаясь к фиг.3, жилы 326 первого токопроводящего слоя 320 могут быть выполнены из полностью отожженного алюминия, а жилы 328 второго токопроводящего слоя 322 могут быть изготовлены из более твердого алюминия, такого как сплав Al-Zr. Использование внутреннего слоя из алюминия с высокой электропроводностью и внешнего слоя из алюминия с более высокой твердостью может преимущественно обеспечить высокую общую электропроводность (высокую допустимую токовую нагрузку) при уменьшении механического провисания, например, из-за нагрузки от обледенения. Это связано с большим диапазоном деформации более твердого алюминия, в котором он упруго деформируется. Альтернативно, электрический кабель может включать в себя слой высокой твердости на внутреннем токопроводящем слое и отожженный алюминий с высокой электропроводностью на внешнем токопроводящем слое. Однако размещение более твердого алюминия на внешнем слое позволяет обеспечить дополнительные преимущества, связанные с более высокой стойкостью к истиранию.

[0043] Настоящее раскрытие также относится к способам изготовления подвесного электрического кабеля, например, изготовления подвесного электрического кабеля, который описан в любом из вышеприведенных вариантов осуществления. В одном примере раскрыт способ изготовления подвесного электрического кабеля, содержащий этапы из первого наматывания множества токопроводящих жил из первого алюминиевого материала на усиливающий элемент с образованием первого токопроводящего слоя и второго наматывания множества токопроводящих жил из второго алюминиевого материала на первый токопроводящий слой с образованием второго токопроводящего слоя. Второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, имеющее значение свойства, которое отличается от значения свойства того же свойства первого алюминиевого материала.

[0044] Настоящее раскрытие также относится к способам установки линии электропередачи. В одном варианте осуществления способ включает в себя этапы подвешивания подвесного электрического кабеля между по меньшей мере двумя опорными конструкциями, приложения натяжения к подвесному электрическому кабелю и, пока подвесной электрический кабель находится под приложенным натяжением, зажатия первого и второго концов подвесного электрического кабеля таким образом, чтобы подвесной электрический кабель по меньшей мере частично поддерживался упомянутыми двумя опорными конструкциями. Подвесной электрический кабель включает в себя усиливающий элемент, первый токопроводящий слой, окружающий усиливающий элемент, причем первый токопроводящий слой содержит токопроводящие жилы из первого алюминиевого материала, и второй токопроводящий слой, окружающий первый токопроводящий слой, причем второй токопроводящий слой содержит токопроводящие жилы из второго алюминиевого материала, который отличается от первого алюминиевого материала. Второй алюминиевый материал имеет по меньшей

мере одно свойство материала, которое отличается от того же свойства первого алюминиевого материала.

[0045] Настоящее раскрытие также относится к воздушной линии электропередачи, содержащей подвесной электрический кабель. Подвесной электрический кабель подвешен под высоким натяжением на по меньшей мере две опоры. Подвесной электрический кабель включает в себя усиливающий элемент, первый токопроводящий слой, окружающий усиливающий элемент, причем первый токопроводящий слой содержит токопроводящие жилы из первого алюминиевого материала, и второй токопроводящий слой, окружающий первый токопроводящий слой, причем второй токопроводящий слой содержит токопроводящие жилы из второго алюминиевого материала, который отличается от первого алюминиевого материала. Второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается от того же свойства первого алюминиевого материала.

[0046] Хотя выше были подробно описаны различные варианты осуществления подвесного электрического кабеля, способ изготовления подвесного электрического кабеля, способ установки линии электропередачи и воздушная линия электропередачи, очевидно, что специалистам в данной области техники будут понятны модификации и адаптации этих вариантов осуществления. Однако следует четко понимать, что такие модификации и адаптации находятся в пределах сущности и объема настоящего раскрытия.



**ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Подвесной электрический кабель, содержащий:  
усиливающий элемент;  
первый токопроводящий слой, окружающий усиливающий элемент, причем первый токопроводящий слой содержит жилы из первого алюминиевого материала; и  
второй токопроводящий слой, окружающий первый токопроводящий слой, причем второй токопроводящий слой содержит жилы из второго алюминиевого материала,  
при этом второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается от того же свойства первого алюминиевого материала.
2. Подвесной электрический кабель по п.1, в котором упомянутое по меньшей мере одно свойство материала выбрано из группы свойств, состоящей из предела текучести, модуля упругости, твердости, удельной электропроводности и прочности при растяжении.
3. Подвесной электрический кабель по п.2, в котором упомянутым по меньшей мере одним свойством материала является предел текучести.
4. Подвесной электрический кабель по п.3, в котором второй алюминиевый материал имеет предел текучести, превышающий предел текучести первого алюминиевого материала.
5. Подвесной электрический кабель по п.2, в котором упомянутым по меньшей мере одним свойством материала является прочность при растяжении.
6. Подвесной электрический кабель по п.5, в котором второй алюминиевый материал имеет меньшую прочность при растяжении, чем прочность при растяжении первого алюминиевого материала.
7. Подвесной электрический кабель по п.2, в котором упомянутым по меньшей мере одним свойством материала является удельная электропроводность.
8. Подвесной электрический кабель по п.7, в котором второй алюминиевый материал имеет удельную электропроводность, превышающую удельную электропроводность первого алюминиевого материала.
9. Подвесной электрический кабель по п.1, в котором второй алюминиевый материал имеет удельную электропроводность по меньшей мере примерно 60% IACS (по Международному стандарту на отожженную медь).
10. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., в котором второй алюминиевый материал имеет удельную электропроводность по меньшей мере примерно 62% IACS.
11. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., в котором второй алюминиевый материал представляет собой отожженный алюминиевый сплав 1350-О.
12. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., в котором первый алюминиевый материал представляет собой закаленный алюминиевый сплав.
13. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., в котором первый алюминиевый материал выбран из алюминиевого сплава алюминия и циркония

(AlZr) и алюминиевого сплава 1350-H19.

14. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., в котором по меньшей мере одна из жил из первого алюминиевого материала и жил из второго алюминиевого материала являются трапецеидальными жилами.

15. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., в котором как жилы из первого алюминиевого материала, так и жилы из второго алюминиевого материала являются трапецеидальными жилами.

16. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., дополнительно содержащий третий токопроводящий слой, расположенный между первым токопроводящим слоем и вторым токопроводящим слоем.

17. Подвесной электрический кабель по п.16, в котором третий токопроводящий слой содержит жилы из третьего алюминиевого материала, который отличается от первого алюминиевого материала и отличается от второго алюминиевого материала.

18. Подвесной электрический кабель по п.16, в котором третий токопроводящий слой содержит жилы из первого алюминиевого материала.

19. Подвесной электрический кабель по п.16, в котором третий токопроводящий слой содержит жилы из второго алюминиевого материала.

20. Подвесной электрический кабель по любому из пп.16-19, дополнительно содержащий четвертый токопроводящий слой, расположенный между третьим токопроводящим слоем и вторым токопроводящим слоем.

21. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., в котором усиливающий элемент содержит армированную волокном композитную усиливающую деталь.

22. Подвесной электрический кабель по п.21, в котором армированная волокном композитная усиливающая деталь содержит по существу непрерывные армирующие углеродные волокна, расположенные в связующей матрице.

23. Подвесной электрический кабель по любому из пп.21-22, в котором усиливающий элемент имеет диаметр не более чем примерно 30 мм.

24. Подвесной электрический кабель по любому из пп.21-23, в котором усиливающий элемент имеет диаметр по меньшей мере примерно 3 мм.

25. Подвесной электрический кабель по любому из предыдущих пп., в котором усиливающий элемент имеет предел прочности при растяжении (UTS) по меньшей мере примерно 1700 МПа.

26. Подвесной электрический кабель по любому из пп.21-25, в котором усиливающий элемент имеет предел прочности при растяжении (UTS) не более чем примерно 3700 МПа.

27. Способ изготовления подвесного электрического кабеля, содержащий этапы:  
намотки множества первых жил из первого алюминиевого материала на усиливающий элемент с образованием первого токопроводящего слоя; и  
намотки множества вторых жил из второго алюминиевого материала вокруг

первого токопроводящего слоя с образованием второго токопроводящего слоя,

при этом второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, имеющее значение, которое отличается от значения того же свойства первого алюминиевого материала.

28. Способ по п.27, в котором множество первых жил из первого алюминиевого материала имеет трапециевидальное поперечное сечение.

29. Способ по п.28, в котором множество вторых жил из второго алюминиевого материала имеет трапециевидальное поперечное сечение.

30. Способ по любому из пп.27-29, дополнительно содержащий этап намотки множества третьих жил из третьего алюминиевого материала вокруг первого токопроводящего слоя перед намоткой вторых токопроводящих жил вокруг первого токопроводящего слоя.

31. Способ по п.30, дополнительно содержащий этап намотки множества четвертых жил из четвертого алюминиевого материала вокруг первого токопроводящего слоя перед намоткой третьих токопроводящих жил вокруг первого токопроводящего слоя.

32. Способ установки линии электропередачи, содержащий этапы:

протягивания подвешенного электрического кабеля между по меньшей мере двумя опорными конструкциями;

приложения натяжения к подвешенному электрическому кабелю;

пока подвешенный электрический кабель находится под приложенным натяжением, зажатия первого и второго концов подвешенного электрического кабеля таким образом, чтобы подвешенный электрический кабель по меньшей мере частично поддерживался упомянутыми двумя опорными конструкциями и был протянут в зажатом состоянии с натяжением;

при этом подвешенный электрический кабель содержит

усиливающий элемент;

первый токопроводящий слой, окружающий усиливающий элемент, причем первый токопроводящий слой содержит жилы из первого алюминиевого материала; и

второй токопроводящий слой, окружающий первый токопроводящий слой, причем второй токопроводящий слой содержит токопроводящие жилы из второго алюминиевого материала, который отличается от первого алюминиевого материала,

при этом второй алюминиевый материал имеет по меньшей мере одно свойство материала, которое отличается от такого же свойства первого алюминиевого материала.

33. Способ по п.32, при этом подвешенный электрический кабель охарактеризован в любом из пп.1-26.

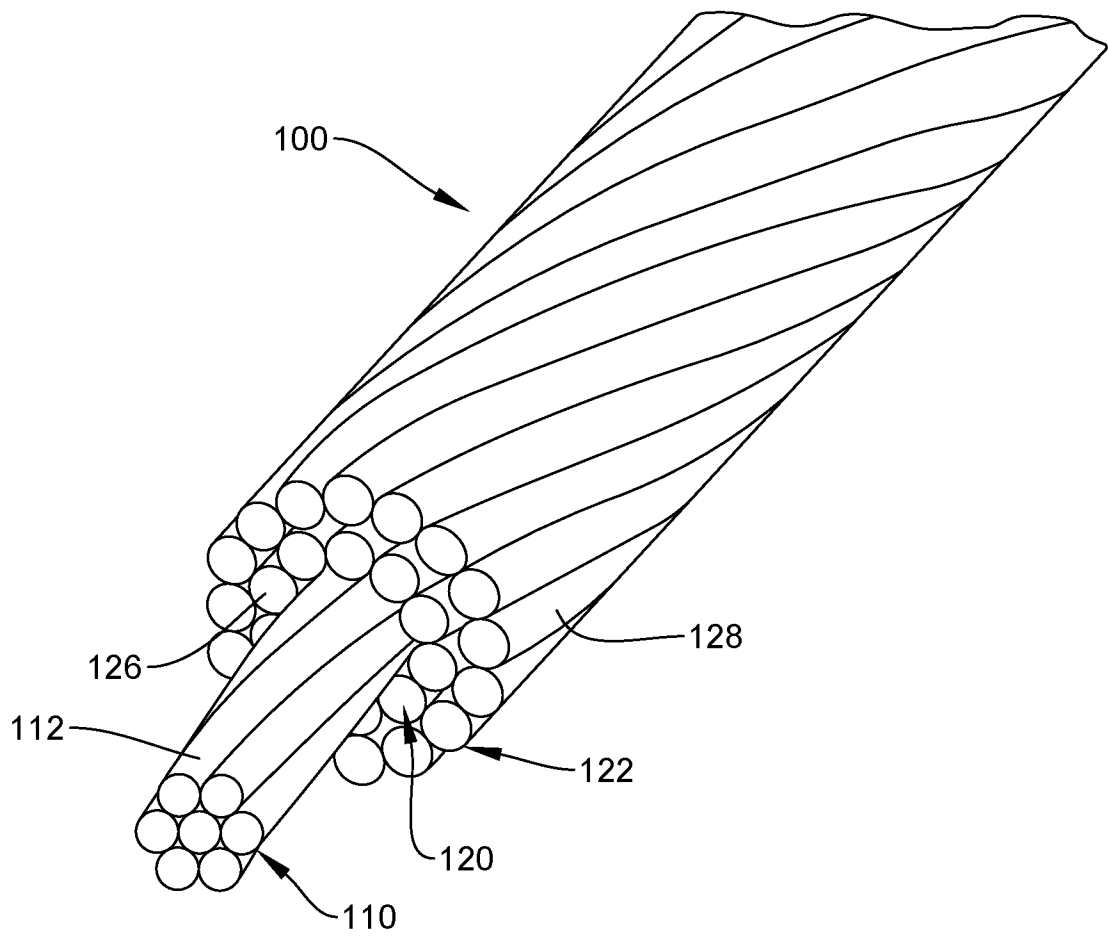
34. Воздушная линия электропередачи, содержащая:

по меньшей мере две опорные конструкции;

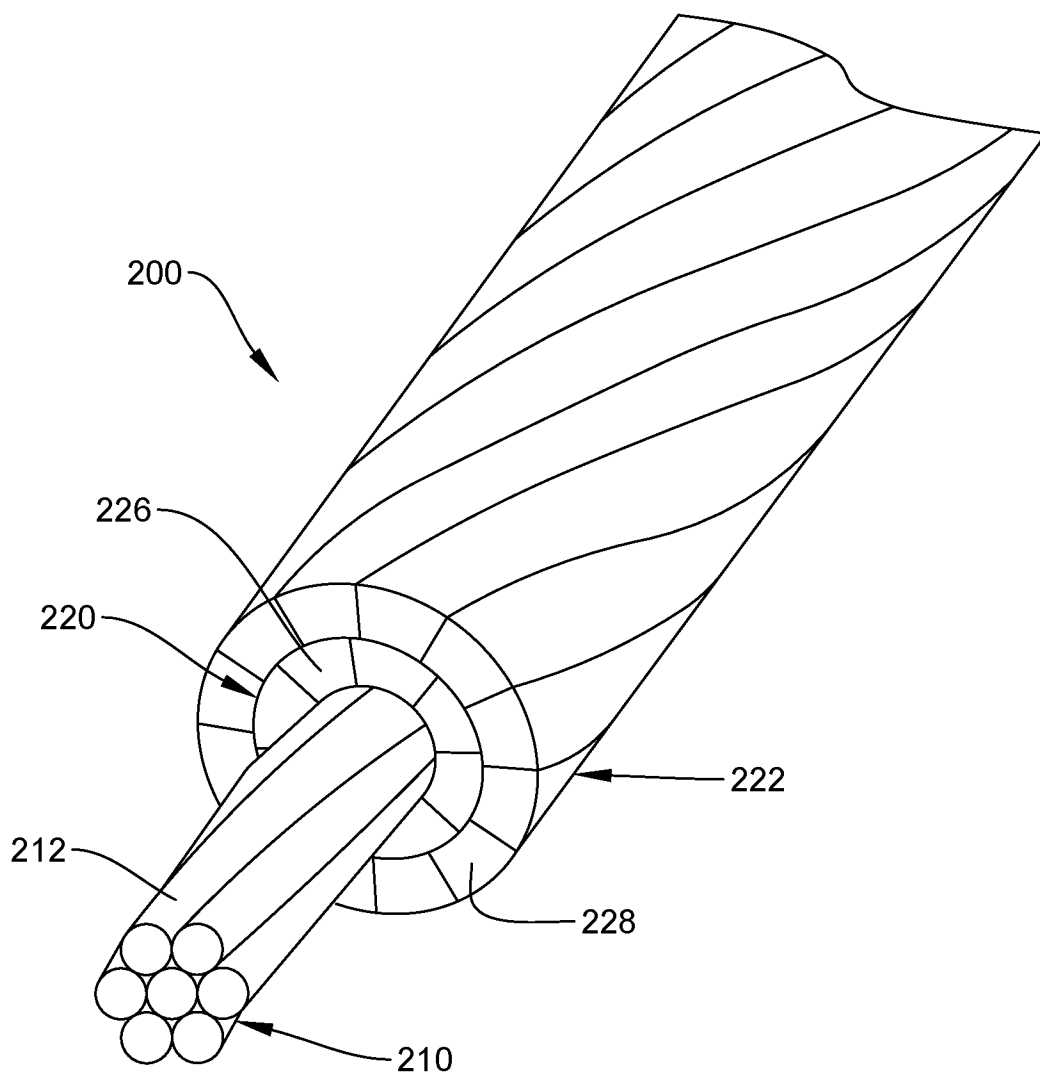
по меньшей мере первый электрический кабель, поддерживаемый опорными конструкциями, при этом первый электрический кабель охарактеризован в любом из пп.1-

26.

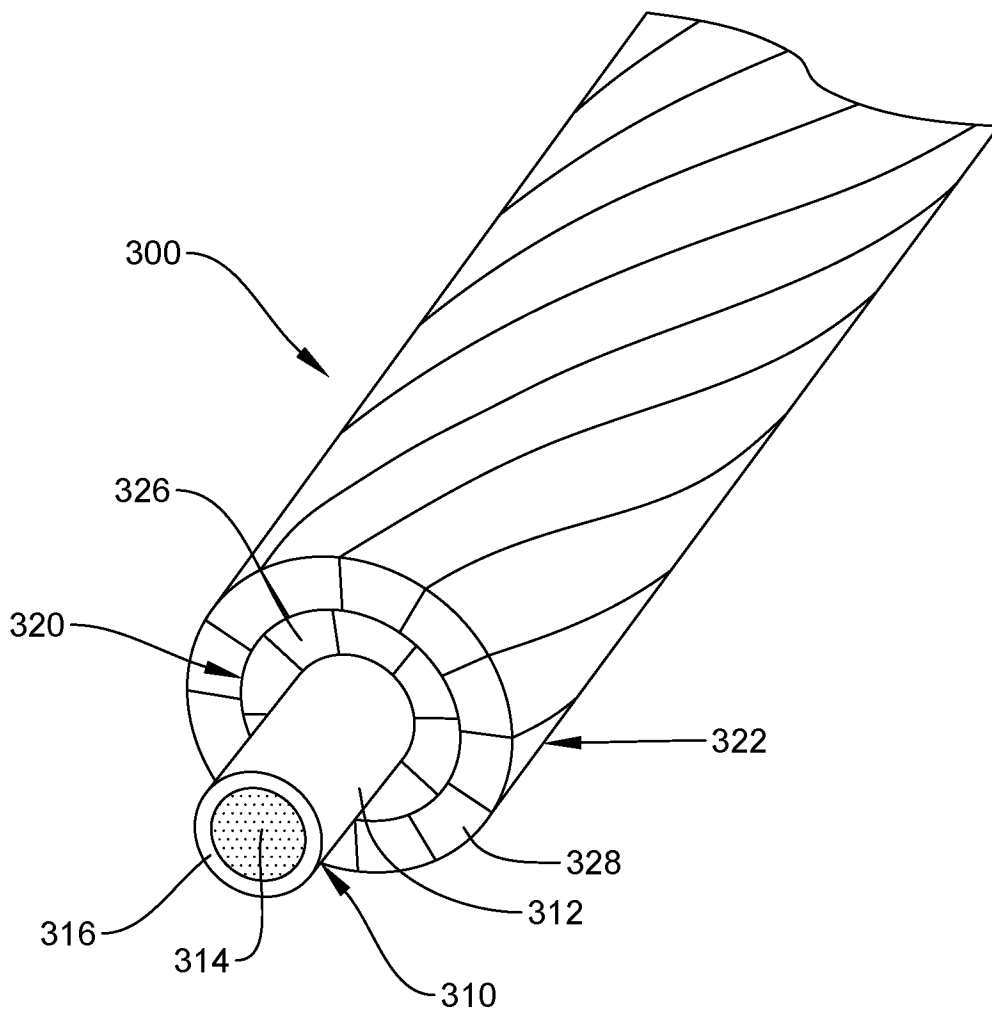
По доверенности



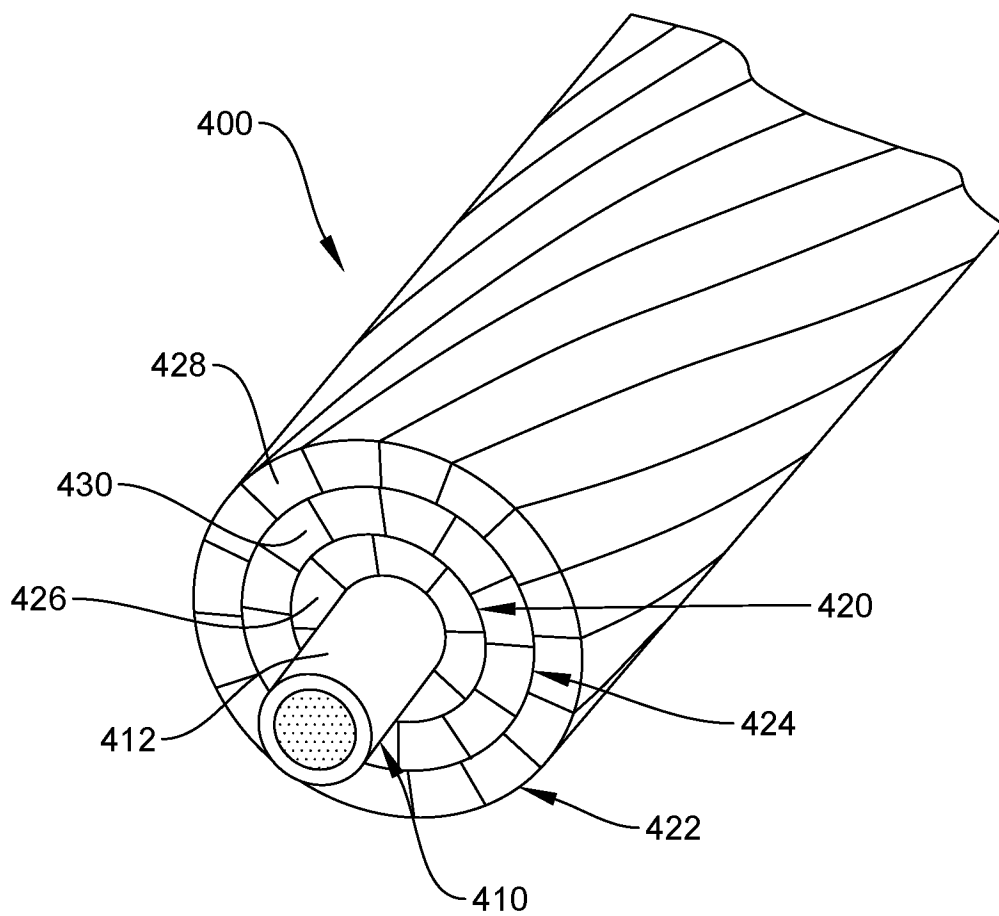
ФИГ. 1



ФИГ. 2



ФИГ. 3



ФИГ. 4