

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **043876**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.06.30

(51) Int. Cl. **G01M 11/00** (2006.01)

(21) Номер заявки
202090210

(22) Дата подачи заявки
2019.02.27

(54) СИСТЕМА И СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТА В ВОЗДУШНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КАБЕЛЕ

(31) 62/635,626; 62/786,271; 62/807,298

(72) Изобретатель:

(32) 2018.02.27; 2018.12.28; 2019.02.19

Дун Сяююань, Уэбб Уилльям, Вонг
Кристофер, Пиллинг Ян (US)

(33) US

(43) 2020.05.12

(74) Представитель:

(86) PCT/US2019/019853

Медведев В.Н. (RU)

(87) WO 2019/168998 2019.09.06

(56) US-A1-20160265339

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СиТиСи ГЛОБАЛ КОРПОРЕЙШН
(US)

US-B2-8075809

US-B2-8314926

JP-A-2001219345

WO-A1-2015195150

(57) Предложены системы, способы и инструменты для определения состояния усиливающих элементов из композиционных материалов, армированных волокнами, для оценки конструктивной целостности усиливающих элементов. В системах и способах используется передача/пропускание света через оптическое волокно, которые заделаны вдоль длины усиливающих элементов. Невозможность обнаружить свет, проходящий через одно или более оптических волокон, может быть свидетельством того, что конструктивная целостность усиливающего элемента нарушена. Заявлена система обнаружения дефекта в воздушном электрическом кабеле, содержащем усиливающий элемент из армированного волокнами композиционного материала и электрический проводник, расположенный вокруг усиливающего элемента из композиционного материала. Система содержит воздушный электрический кабель, содержащий усиливающий элемент из армированного волокнами композиционного материала и электрический проводник, расположенный вокруг усиливающего элемента из армированного волокнами композиционного материала, при этом усиливающий элемент содержит по меньшей мере первый усиливающий составляющий элемент, при этом первый усиливающий составляющий элемент содержит связующую матрицу, множество армирующих волокон, функционально размещенных в связующей матрице для образования композиционного материала, армированного волокнами, и по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее от первого конца композиционного материала, армированного волокнами, до второго конца композиционного материала, армированного волокнами, при этом первое оптическое волокно имеет первый конец и второй конец; светопередающее устройство, функционально соединенное с первым концом усиливающего элемента, при этом светопередающее устройство содержит источник света, который функционально соединен с источником питания и выполнен с возможностью передачи света, имеющего длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 300 нм и не превышающую приблизительно 1700 нм, в первый конец первого оптического волокна; и устройство обнаружения света, функционально соединенное со вторым концом усиливающего элемента, при этом устройство обнаружения света содержит световой детектор, который выполнен с возможностью обнаружения света, испускаемого источником света, через второй конец первого оптического волокна. Системы и соответствующие способы могут быть реализованы без больших затруднений и могут использоваться в любое время в течение срока службы усиливающего элемента от изготовления до монтажа включительно. Системы и способы особенно целесообразны для применения для неизолированных воздушных электрических кабелей, которые включают в себя армированный волокнами усиливающий элемент.

B1

043876

043876

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Данное раскрытие изобретения относится к области усиливающих элементов из армированных волокнами композиционных материалов и, в частности, к области проверки конструктивной целостности таких усиливающих элементов из армированных волокнами композиционных материалов.

Предпосылки создания изобретения

Усиливающие элементы из армированных волокнами композиционных материалов предпочтительны для использования в самых разных конструкциях вследствие относительно высокого отношения их прочности к массе и других желательных свойств. Например, многие удлиненные усиливающие элементы из армированных волокнами композиционных материалов используются в качестве элементов, работающих на растяжение, в конструкциях, таких как мосты и тросы для подвески кабелей на железных дорогах, и заменяют ранее использовавшиеся материалы, такие как сталь.

Одним таким применением усиливающих элементов из армированных волокнами композиционных материалов, которое возникло в последнее время, является их использование в неизолированных воздушных электрических кабелях для передачи и распределения электроэнергии. Такие электрические кабели, как правило, включают в себя множество проводящих металлических жил, которые намотаны вокруг центрального усиливающего элемента и опираются на него. Усиливающий элемент традиционно изготавливали из стали. В последние годы для усиливающего элемента используют композиционные материалы, армированные волокнами. Такие композиционные материалы обеспечивают существенные преимущества по сравнению со сталью, включая меньший вес, меньшие размеры (что позволяет использовать проводник с большим поперечным сечением), меньшее провисание при нагреве и многие другие преимущества. Одним примером воздушного электрического кабеля, имеющего такой армированный волокнами, усиливающий элемент, является неизолированный воздушный электрический кабель ACCC®, поставляемый компаний CTC Global Corporation, Irvine, Калифорния, США. См, например, патент США № 7368162 на имя Niel и др., который полностью включен в данный документ путем ссылки.

В отличие от большинства металлических материалов композиционные материалы армированные волокнами, как правило, имеют низкую пластичность. В результате может возникать проблема, заключающаяся в том, что усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, может подвергнуться негативным воздействиям в отношении его конструкции (например, разрушиться) во время изготовления, погрузочно-разгрузочных работ и транспортирования и/или монтажа усиливающего элемента и/или электрического кабеля. Малые трещины в усиливающем элементе могут трудно поддаваться обнаружению обычными способами. Это особенно актуально для воздушных электрических кабелей вследствие чрезмерно большой длины воздушного электрического кабеля и вследствие того, что усиливающий элемент не виден после намотки токопроводящих жил вокруг усиливающего элемента.

Были предложены способы и системы для мониторинга состояния усиливающего элемента, армированного волокнами, во время использования усиливающего элемента. Например, было предложено решение, в соответствии с которым температуру и деформацию усиливающего элемента в воздушном электрическом кабеле можно отслеживать во время использования при применении сложных технологий, таких как оптическая временная рефлектометрия (OTDR). Однако такие системы и способы требуют сложного оборудования, требуют использования источника когерентного излучения (например, лазера) и требуют точного выставления источника когерентного излучения относительно оптических волокон, прикрепленных к усиливающему элементу; все это трудно реализовать в производственных условиях, например, во внешней среде, в которой построены линии передачи и распределения электроэнергии.

Сущность изобретения

В данном документе раскрыты системы, способы, компоненты и инструменты, которые обеспечивают возможность определения состояния усиливающих элементов из армированных волокнами композиционных материалов для выяснения того, не повреждена ли конструкция усиливающих элементов из композиционных материалов, например для обнаружения наличия дефектов, таких как трещины, в усиливающем элементе. Данные системы, способы, компоненты и инструменты обеспечивают возможность относительно простого и низкочестного определения состояния усиливающих элементов в процессе изготовления во время монтажа/установки и/или после монтажа/установки усиливающих элементов.

Системы, способы, компоненты и инструменты, раскрытые в данном документе, включают, среди прочего,

- (i) систему для обнаружения дефекта в усиливающем элементе (strength member) из армированного волокнами композиционного материала;
- (ii) способ обнаружения дефекта в усиливающем элементе из армированного волокнами композиционного материала;
- (iii) способ подготовки усиливающего составляющего элемента (strength element) из армированного волокнами композиционного материала к определению состояния посредством использования источника света;
- (iv) удлиненный усиливающий элемент из армированного волокнами композиционного материала, включающий в себя оптическое волокно;
- (v) устройство для передачи света в конец оптического волокна, которое заделано в удлиненном

конструктивном элементе;

(vi) устройство для обнаружения света, выходящего из конца оптического волокна, которое заделано в удлиненном конструктивном элементе;

(vii) инструмент для резки и полирования; и

(viii) способ изготовления удлиненного усиливающего составляющего элемента, который состоит из армированного волокнами композиционного материала и выполнен с возможностью использования в усиливающем элементе, работающем на растяжение.

Таким образом, в одном варианте осуществления раскрыта система обнаружения дефекта в воздушном электрическом кабеле, содержащем усиливающий элемент из армированного волокнами композиционного материала и электрический проводник, расположенный вокруг усиливающего элемента из композиционного материала. Система содержит воздушный электрический кабель, содержащий усиливающий элемент из армированного волокнами композиционного материала и электрический проводник, расположенный вокруг усиливающего элемента из армированного волокнами композиционного материала, при этом усиливающий элемент содержит по меньшей мере первый усиливающий составляющий элемент, при этом первый усиливающий составляющий элемент содержит

связующую матрицу;

множество армирующих волокон, функционально размещенных в связующей матрице для образования композиционного материала, армированного волокнами;

по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее от первого конца композиционного материала, армированного волокнами, до второго конца композиционного материала, армированного волокнами, при этом первое оптическое волокно имеет первый конец и второй конец; и

светопередающее устройство, функционально соединенное с первым концом усиливающего элемента, при этом светопередающее устройство содержит источник света, который функционально соединен с источником питания и выполнен с возможностью передачи света, имеющего длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 300 нм и не превышающую приблизительно 1700 нм, в первый конец первого оптического волокна; и

устройство обнаружения света, функционально соединенное со вторым концом усиливающего элемента, при этом устройство обнаружения света содержит световой детектор, который выполнен с возможностью обнаружения света, испускаемого источником света, через второй конец первого оптического волокна.

Вышеуказанная система может быть охарактеризована как имеющая усовершенствования элементов и/или дополнительные признаки, которые могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. В соответствии с одной характеристикой источник света выполнен с возможностью испускания светового излучения, имеющего основную длину волны в инфракрасной области. В одном усовершенствованном варианте источник света выполнен с возможностью испускания светового излучения, имеющего основную длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 800 нм. В другом усовершенствованном варианте источник света выполнен с возможностью испускания светового излучения, имеющего основную длину волны, не превышающую приблизительно 1000 нм.

В соответствии с другой характеристикой усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере второе оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами. В одном усовершенствованном варианте усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере третье оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами. В другом усовершенствованном варианте усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере четвертое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами.

В соответствии с еще одной характеристикой электрический кабель имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 100 м. В соответствии с еще одной характеристикой электрический кабель имеет длину, не превышающую приблизительно 3500 м. В соответствии с одной характеристикой электрический проводник расположен вокруг усиливающего элемента и опирается на него для образования электрического кабеля.

В соответствии с еще одной характеристикой первое оптическое волокно представляет собой одномодовое оптическое волокно. В соответствии с еще одной характеристикой источник света содержит светодиод (LED). В соответствии с еще одной характеристикой устройство обнаружения света содержит вогнутую линзу, которая расположена между концом усиливающего элемента из композиционного материала и датчиком света и выполнена с возможностью фокусировки пропущенного света в датчик света. В другом усовершенствованном варианте датчик света выбран из датчика на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) и датчика на структуре КМОП.

В другом варианте осуществления раскрыт способ определения состояния воздушного электрического кабеля, содержащего усиливающий элемент из композиционного материала, армированного во-

локнами, и электрический проводник, расположенный вокруг усиливающего элемента из композиционного материала, при этом усиливающий элемент содержит по меньшей мере первый усиливающий составляющий элемент, при этом усиливающий составляющий элемент содержит связующую матрицу и множество армирующих волокон, функционально размещенных в связующей матрице для образования композиционного материала, армированного волокнами, и по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, при этом способ включает этапы

функционального присоединения светопередающего устройства к первому концу усиливающего элемента, светопередающее устройство содержит источник света, функционально соединенный с источником питания и выполненный с возможностью передачи света, имеющего длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 300 нм и не превышающую приблизительно 1700 нм, в первый конец первого оптического волокна;

функционального присоединения устройства обнаружения света ко второму концу усиливающего элемента;

обеспечения передачи света светопередающим устройством в первое оптическое волокно и по направлению к устройству обнаружения света, при этом передаваемый свет является некогерентным; и

обнаружения наличия некогерентного передаваемого света посредством устройства обнаружения света.

Вышеуказанный способ может быть охарактеризован как имеющий усовершенствования и/или дополнительные этапы способа, которые могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. В соответствии с одной характеристикой передаваемый свет имеет длину волны в инфракрасной области. В одном усовершенствованном варианте передаваемый свет имеет основную длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 800 нм. В другом усовершенствованном варианте передаваемый свет имеет основную длину волны, не превышающую приблизительно 1000 нм. В соответствии с другой характеристикой первый усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере второе оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, и этап передачи света обеспечивает передачу света посредством второго оптического волокна. В другом усовершенствованном варианте усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере третье оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, и этап передачи света обеспечивает передачу света посредством третьего оптического волокна. В еще одном усовершенствованном варианте усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере четвертое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, и этап передачи света обеспечивает передачу света посредством четвертого оптического волокна.

В соответствии с еще одной характеристикой усиливающий элемент из композиционного материала имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 500 м. В еще одном усовершенствованном варианте усиливающий элемент из композиционного материала имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 3500 м. В соответствии с еще одной характеристикой усиливающий элемент из композиционного материала имеет длину, не превышающую приблизительно 7500 м. В соответствии с еще одной характеристикой во время этапов передачи света и обнаружения света усиливающий элемент из композиционного материала намотан на катушку. В соответствии с еще одной характеристикой способ включает этап испытания усиливающего составляющего элемента из композиционного материала под нагрузкой перед этапами передачи и обнаружения света.

В соответствии с еще одной характеристикой электрический проводник навивают вокруг усиливающего элемента из композиционного материала для образования воздушного электрического кабеля. В одном усовершенствованном варианте этапы передачи и обнаружения света выполняют после скрутки усиливающего элемента из композиционного материала вместе с электрическим проводником и перед монтажом воздушного электрического кабеля на башенных опорах. В другом усовершенствованном варианте этапы передачи и обнаружения света выполняют после монтажа воздушного электрического кабеля на башенных опорах.

В соответствии с еще одной характеристикой оптическое волокно представляет собой одномодовое оптическое волокно. В соответствии с еще одной характеристикой этап передачи света включает подачу питания на светодиод (LED). В одном усовершенствованном варианте этап передачи света включает механическое вращение светодиода во время передачи света. В другом усовершенствованном варианте светодиод вращают с частотой вращения, составляющей по меньшей мере приблизительно 5 об/мин.

В соответствии с еще одной характеристикой материал для компенсации потерь отражения в оптическом волокне наносят на первый конец усиливающего элемента для содействия передаче света в оптическое волокно.

Еще один вариант осуществления настоящего раскрытия изобретения направлен на способ подготовки усиливающего составляющего элемента из композиционного материала, армированного волокна-

ми, к определению состояния посредством использования источника света. Композиционный материал, армированный волокнами, содержит связующую матрицу и множество армирующих волокон, размещенных в связующей матрице, при этом по меньшей мере первое оптическое волокно размещено в композиционном материале, армированном волокнами, при этом первое оптическое волокно проходит от первого конца композиционного материала, армированного волокнами, до второго конца композиционного материала, армированного волокнами. Способ включает этап разрезания удлиненного композиционного материала, армированного волокнами, вблизи первого конца удлиненного композиционного материала, армированного волокнами, при этом образуют первую полученную разрезанием, торцевую поверхность, которая является по существу плоской. Способ также включает этап полирования первой полученной разрезанием, торцевой поверхности для образования полированной первой торцевой поверхности, содержащей композиционный материал, армированный волокнами, и первый конец оптического волокна. Получающийся в результате усиливающий составляющий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, выполнен с возможностью определения его состояния посредством источника некогерентного света.

Вышеуказанный способ может быть охарактеризован как имеющий усовершенствования и/или дополнительные этапы, которые могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. В одном усовершенствованном варианте способ включает этап разрезания композиционного материала, армированного волокнами, вблизи второго конца композиционного материала, армированного волокнами, для образования второй полученной разрезанием, торцевой поверхности, которая является по существу плоской, и полирования второй полученной разрезанием, торцевой поверхности для образования полированной второй торцевой поверхности, содержащей композиционный материал, армированный волокнами, и второй конец первого оптического волокна.

В соответствии с еще одной характеристикой усиливающий составляющий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 100 м. В соответствии с еще одной характеристикой усиливающий составляющий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, имеет длину, не превышающую приблизительно 7500 м.

В соответствии с еще одной характеристикой этап(ы) разрезания композиционного материала, армированного волокнами, включает(ют) разрезание посредством приводимой в движение абразивной режущей кромки. В одном усовершенствованном варианте абразивная режущая кромка содержит абразивное зерно, имеющее размер зерна, составляющий по меньшей мере приблизительно 30 мкм. В другом усовершенствованном варианте абразивную режущую кромку приводят во вращение посредством двигателя во время этапа разрезания. Еще один усовершенствованный вариант включает этап закрепления первого конца композиционного материала, армированного волокнами, во время, по меньшей мере, этапа разрезания так, чтобы первый конец был расположен по существу ортогонально относительно режущей кромки во время этапа разрезания. В еще одном усовершенствованном варианте этап полирования включает полирование первой полученной разрезанием, торцевой поверхности посредством абразивной полирующей поверхности. В еще одном усовершенствованном варианте абразивная полирующая поверхность содержит абразивное зерно, имеющее размер зерна, не превышающий приблизительно 25 мкм. В еще одном усовершенствованном варианте предусмотрен этап охлаждения первого конца удлиненного композиционного материала, армированного волокнами, перед этапом полирования и/или во время этапа полирования.

В еще одном варианте осуществления раскрыт удлиненный усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами. Усиливающий элемент содержит по меньшей мере первый усиливающий составляющий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, имеющий продольную центральную ось. Усиливающий составляющий элемент содержит связующую матрицу, множество армирующих волокон, размещенных в связующей матрице для образования композиционного материала, армированного волокнами, и по меньшей мере первое удлиненное и непрерывное оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее от первого конца усиливающего составляющего элемента до второго конца усиливающего составляющего элемента. По меньшей мере первый конец усиливающего составляющего элемента содержит первую торцевую поверхность, при этом первая торцевая поверхность содержит композиционный материал, армированный волокнами, при этом первое оптическое волокно не выступает за первую торцевую поверхность композиционного материала, армированного волокнами.

Вышеуказанный усиливающий элемент может быть охарактеризован как имеющий усовершенствования элементов и/или дополнительные элементы/признаки, которые могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. В соответствии с одной характеристикой второй конец усиливающего составляющего элемента содержит вторую торцевую поверхность, при этом первое оптическое волокно не выступает за вторую торцевую поверхность композиционного материала, армированного волокнами.

В соответствии с другой характеристикой усиливающий составляющий элемент содержит по меньшей мере второе удлиненное и непрерывное оптическое волокно, заделанное в композиционном

материале, армированном волокнами, при этом второе оптическое волокно не выступает за первую торцевую поверхность композиционного материала, армированного волокнами. В одном усовершенствованном варианте усиливающий составляющий элемент содержит по меньшей мере третье удлиненное и непрерывное оптическое волокно, размещенное в композиционном материале, армированном волокнами, и при этом третье оптическое волокно не выступает за первую торцевую поверхность композиционного материала, армированного волокнами. В другом усовершенствованном варианте усиливающий составляющий элемент содержит по меньшей мере четвертое удлиненное и непрерывное оптическое волокно, размещенное в композиционном материале, армированном волокнами, и при этом четвертое оптическое волокно не выступает за первую торцевую поверхность композиционного материала, армированного волокнами. В еще одном усовершенствованном варианте оптические волокна расположены концентрически вокруг продольной центральной оси усиливающего составляющего элемента. В еще одном усовершенствованном варианте продольная центральная ось усиливающего составляющего элемента свободна от оптических волокон.

В соответствии с одной характеристикой оптическое (оптические) волокно(а) представляет(ют) собой одномодовые оптические волокна. В соответствии с другой характеристикой оптическое(ие) волокно(а) представляет(ют) собой оптические стекловолокна. В одном усовершенствованном варианте оптическое(ие) стекловолокно(а) содержит(ат) пропускающую стеклянную сердцевину и одно полимерное покрытие, окружающее пропускающую стеклянную сердцевину. В другом усовершенствованном варианте данное одно полимерное покрытие имеет модуль упругости, составляющий по меньшей мере приблизительно 1000 МПа.

В соответствии с одной характеристикой усиливающий элемент имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 100 м. В одном усовершенствованном варианте усиливающий элемент имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 3500 м. В соответствии с другой характеристикой усиливающий элемент имеет длину, не превышающую приблизительно 7500 м. В соответствии с еще одной характеристикой усиливающий элемент намотан на катушку.

В соответствии с еще одной характеристикой усиливающий элемент имеет по существу круглое поперечное сечение. В одном усовершенствованном варианте усиливающий элемент имеет диаметр, составляющий по меньшей мере приблизительно 1,0 мм. В другом усовершенствованном варианте усиливающий элемент имеет диаметр, не превышающий приблизительно 20 мм. В соответствии с еще одной характеристикой армирующие волокна содержат проходящие в продольном направлении, углеродные волокна. В одном усовершенствованном варианте усиливающий элемент дополнительно содержит изолирующий слой, окружающий углеродные волокна. В другом усовершенствованном варианте изолирующий слой содержит стекловолокна. В еще одном усовершенствованном варианте оптическое(ие) волокно(а) расположено(ы) между углеродными волокнами и изолирующим слоем.

В соответствии с одной характеристикой усиливающий элемент имеет номинальную прочность на разрыв, составляющую по меньшей мере приблизительно 1900 МПа. В соответствии с другой характеристикой усиливающий элемент имеет коэффициент теплового расширения, не превышающий приблизительно $30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

В соответствии с еще одной характеристикой первая торцевая поверхность композиционного материала, армированного волокнами, представляет собой полированную поверхность. В одном усовершенствованном варианте вторая торцевая поверхность композиционного материала, армированного волокнами, представляет собой полированную поверхность. В еще одном усовершенствованном варианте первая торцевая поверхность по существу ортогональна к продольной центральной оси усиливающего элемента. В еще одном усовершенствованном варианте первый конец первого оптического волокна расположен по существу в той же плоскости, что и первая торцевая поверхность композиционного материала, армированного волокнами.

В соответствии с одной характеристикой усиливающий элемент содержит один усиливающий составляющий элемент. В соответствии с другой характеристикой усиливающий элемент содержит множество усиливающих составляющих элементов.

В соответствии с еще одной характеристикой раскрыт воздушный электрический кабель, при этом воздушный электрический кабель содержит усиливающий элемент согласно вышеприведенному варианту осуществления, включающий любые характеристики и усовершенствования, и проводящий слой, окружающий усиливающий элемент. В одном усовершенствованном варианте проводящий слой содержит множество токопроводящих жил, расположенных вокруг усиливающего элемента.

В еще одном варианте осуществления раскрыто устройство для передачи света в конец оптического волокна, заделанного в удлиненном конструктивном элементе. Устройство содержит по существу жесткий несущий корпус, канал, расположенный так, что он проходит, по меньшей мере частично, через несущий корпус, и имеющий отверстие на первом конце канала, при этом отверстие и канал выполнены с возможностью приема конца удлиненного конструктивного элемента, имеющего по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное вдоль длины конструктивного элемента. Источник света расположен, по меньшей мере частично, в несущем корпусе и вблизи второго конца канала, при этом источник света выполнен с возможностью передачи света в канал и по направлению к концу удлиненного элемен-

та, когда удлиненный элемент размещен в первом конце канала. Источник питания функционально соединен с источником света.

Вышеуказанное устройство может быть охарактеризовано как имеющее усовершенствования элементов и/или дополнительные элементы/признаки, которые могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. В соответствии с одной характеристикой источник света представляет собой источник некогерентного света. В одном усовершенствованном варианте источник света содержит светодиод (LED). В другом усовершенствованном варианте светодиод выполнен с возможностью испускания светового излучения в диапазоне длин волн, составляющих по меньшей мере приблизительно 300 нм и не превышающих приблизительно 1000 нм. В еще одном усовершенствованном варианте светодиод выполнен с возможностью испускания светового излучения в диапазоне длин волн, составляющих по меньшей мере приблизительно 800 нм и не превышающих приблизительно 900 нм.

В соответствии с другой характеристикой двигатель функционально соединен с источником света и выполнен с возможностью обеспечения перемещения источника света, когда источник света передает свет в канал. В одном усовершенствованном варианте двигатель выполнен с возможностью обеспечения вращения источника света вокруг центральной оси источника света.

В соответствии с еще одной характеристикой стопорный элемент предусмотрен для поддержания некоторого расстояния между источником света и концом конструктивного элемента, когда конструктивный элемент вставлен в первый конец канала. В одном усовершенствованном варианте стопорный элемент содержит уступ, расположенный в канале, при этом уступ выполнен с возможностью предотвращения перемещения конструктивного элемента за уступ в направлении к источнику света. В одном усовершенствованном варианте стопорный элемент выполнен с возможностью поддержания расстояния между концом конструктивного элемента и источником света, которое составляет по меньшей мере приблизительно 0,1 мм и не превышает приблизительно 150 мм. В соответствии с одной характеристикой жесткий несущий корпус содержит металл. В одном усовершенствованном варианте металл содержит алюминий.

Еще один вариант осуществления согласно настоящему раскрытию изобретения представляет собой устройство для обнаружения света, выходящего из конца оптического волокна, которое заделано в удлиненный конструктивный элемент. Устройство включает в себя по существу жесткий несущий корпус, канал, расположенный так, что он проходит, по меньшей мере частично, через несущий корпус, и имеющий отверстие на первом конце канала. Отверстие и канал выполнены с возможностью приема конца удлиненного конструктивного элемента, имеющего по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное вдоль длины конструктивного элемента. Световой детектор расположен в несущем корпусе и вблизи второго конца канала, при этом световой детектор выполнен с возможностью приема и обнаружения света из оптического волокна, когда удлиненный элемент размещен в первом конце канала. Источник питания функционально соединен со световым детектором.

Вышеуказанное устройство может быть охарактеризовано как имеющее усовершенствования элементов и/или дополнительные элементы/признаки, которые могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. В соответствии с одной характеристикой световой детектор выбран из датчика на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) и датчика на структуре КМОП. В соответствии с другой характеристикой устройство содержит элемент для блокировки света, расположенный на первом конце канала и выполненный с возможностью плотного поджима к конструктивному элементу вокруг него, когда конструктивный элемент вставлен в канал. В одном усовершенствованном варианте элемент для блокировки света содержит эластомерный материал.

В соответствии с еще одной характеристикой устройство содержит стопорный элемент, выполненный с возможностью поддержания некоторого расстояния между световым детектором и концом конструктивного элемента, когда конструктивный элемент вставлен в первый конец канала. В одном усовершенствованном варианте стопорный элемент содержит уступ, расположенный в канале, при этом уступ выполнен с возможностью предотвращения перемещения конструктивного элемента за уступ по направлению к световому детектору. В другом усовершенствованном варианте стопорный элемент выполнен с возможностью поддержания расстояния между концом конструктивного элемента и световым детектором, которое составляет по меньшей мере приблизительно 5 мм и не превышает приблизительно 300 мм.

В соответствии с еще одной характеристикой устройство содержит линзу, которая выполнена с возможностью фокусировки света, выходящего из оптического волокна, на световой детектор. В соответствии с еще одной характеристикой жесткий несущий корпус содержит металл. В одном усовершенствованном варианте металл содержит алюминий.

В еще одном варианте осуществления раскрыт инструмент для разрезания и полирования. Инструмент включает в себя плоский корпус, содержащий режущую кромку, расположенную вдоль по меньшей мере одного края плоского корпуса, и полирующую поверхность, покрывающую, по меньшей мере, часть плоского корпуса. Установочный элемент функционально соединен с плоским корпусом и выполнен с возможностью функционального выставления удлиненного конструктивного элемента, имеющего продольную ось, относительно плоского корпуса, так что режущая кромка плоского корпуса выполнена с возможностью перемещения и разрезания удлиненного конструктивного элемента по существу ортого-

нально к продольной оси для образования поверхности, полученной разрезанием. Полирующая поверхность выполнена с возможностью полирования поверхности, полученной разрезанием, когда режущая кромка осуществляет разрезание и перемещается через удлиненный конструктивный элемент.

Вышеуказанный инструмент для разрезания и полирования может быть охарактеризован как имеющий усовершенствования элементов и/или дополнительные элементы/признаки, которые могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. В соответствии с одной характеристикой плоский корпус является по существу круглым. В одном усовершенствованном варианте двигатель функционально соединен с плоским корпусом и выполнен с возможностью обеспечения вращения плоского корпуса вокруг центральной оси плоского корпуса. В другом усовершенствованном варианте режущая кромка содержит множество режущих зубьев. В еще одном усовершенствованном варианте режущая кромка содержит абразивную поверхность. В еще одном усовершенствованном варианте абразивная поверхность содержит абразивное зерно, имеющее размер, составляющий по меньшей мере приблизительно 35 мкм. В соответствии с другой характеристикой полирующая поверхность содержит абразивное зерно для полирования. В одном усовершенствованном варианте зерно для полирования имеет размер, не превышающий приблизительно 25 мкм. В другом усовершенствованном варианте полирующая поверхность поднята над поверхностью плоского корпуса по меньшей мере на приблизительно 0,1 мм и не больше, чем на приблизительно 1,2 мм. В соответствии с еще одной характеристикой приводной механизм выполнен с возможностью поджима полирующей поверхности к концу удлиненного конструктивного элемента. В одном усовершенствованном варианте приводной механизм содержит пружину.

В соответствии с еще одной характеристикой батарея обеспечивает подачу питания для перемещения плоского корпуса. В одном усовершенствованном варианте батарея имеет напряжение, не превышающее приблизительно 18 вольт. В другом усовершенствованном варианте инструмент представляет собой ручной инструмент, содержащий элемент для захвата, предназначенный для обеспечения захвата инструмента и свободного манипулирования им. В одном усовершенствованном варианте инструмент содержит улавливающий механизм, выполненный с возможностью улавливания пыли, образующейся на этапах разрезания и полирования.

В соответствии с еще одним вариантом осуществления раскрыт способ изготовления удлиненного усиливающего составляющего элемента, который состоит из композиционного материала, армированного волокнами, и который выполнен с возможностью использования в усиливающем элементе, работающем на растяжение. Способ включает этапы образования удлиненного композиционного материала, армированного волокнами и имеющего продольную центральную ось, при этом композиционный материал, армированный волокнами, содержит связующую матрицу и множество армирующих волокон, размещенных в связующей матрице. Во время этапа образования композиционного материала, армированного волокнами по меньшей мере первое оптическое волокно заделывают в композиционный материал, армированный волокнами, при этом первое оптическое волокно проходит от первого конца композиционного материала, армированного волокнами, до второго конца композиционного материала, армированного волокнами. Композиционный материал, армированный волокнами, разрезают вблизи первого конца композиционного материала, армированного волокнами, при этом при разрезании образуют первую полученную разрезанием, торцевую поверхность, которая является по существу плоской. После этого первую полученную разрезанием, торцевую поверхность полируют для образования удлиненного усиливающего составляющего элемента, который состоит из композиционного материала, армированного волокнами, и имеет полированную первую торцевую поверхность, при этом полированная первая торцевая поверхность содержит композиционный материал, армированный волокнами, и первый конец оптического волокна.

Вышеуказанный способ может быть охарактеризован как имеющий усовершенствования и/или дополнительные этапы, которые могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. В соответствии с одной характеристикой способ включает этапы второго разрезания композиционного материала, армированного волокнами, вблизи второго конца композиционного материала, армированного волокнами, при этом при втором разрезании образуют вторую полученную разрезанием, торцевую поверхность, которая является по существу плоской, и полирования второй полученной разрезанием, торцевой поверхности для образования второй полированной торцевой поверхности, содержащей композиционный материал, армированный волокнами, и второй конец первого оптического волокна.

В соответствии с другой характеристикой способ включает этапы заделывания по меньшей мере второго оптического волокна в композиционный материал, армированный волокнами, во время этапа образования композиционного материала, армированного волокнами, при этом второе оптическое волокно проходит от первого конца композиционного материала, армированного волокнами, до второго конца композиционного материала, армированного волокнами. В другом усовершенствованном варианте способ включает этап заделывания по меньшей мере третьего оптического волокна в композиционный материал, армированный волокнами, при этом третье оптическое волокно проходит от первого конца композиционного материала, армированного волокнами, до второго конца композиционного материала, армированного волокнами. В дополнительном усовершенствованном варианте способ включает этап заделывания по меньшей мере четвертого оптического волокна в композиционный материал, армирован-

ный волокнами, при этом четвертое оптическое волокно проходит от первого конца композиционного материала, армированного волокнами, до второго конца композиционного материала, армированного волокнами.

В соответствии с еще одной характеристикой оптические волокна размещают концентрически вокруг продольной центральной оси усиливающего составляющего элемента. В другом усовершенствованном варианте продольная центральная ось усиливающего составляющего элемента свободна от оптических волокон. В соответствии с еще одной характеристикой усиливающий составляющий элемент имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 3500 м. В соответствии с еще одной характеристикой усиливающий составляющий элемент имеет длину, не превышающую приблизительно 7500 м. В соответствии с еще одной характеристикой способ дополнительно включает этап намотки композиционного материала, армированного волокнами, на катушку, перед этапами разрезания и полирования. В соответствии с еще одной характеристикой армирующие волокна содержат проходящие в продольном направлении, углеродные волокна. В соответствии с еще одной характеристикой этап образования удлиненного композиционного материала, армированного волокнами, и заделывания оптических волокон включает вытягивание армирующих волокон и оптического(их) волокна(волокон) посредством устройства для пултрузии. В другом усовершенствованном варианте этап(ы) разрезания композиционного материала, армированного волокнами, включает(ют) разрезание посредством приводимой в движение, абразивной режущей кромки. В соответствии с еще одной характеристикой абразивная режущая кромка содержит абразивное зерно, имеющее размер, составляющий по меньшей мере приблизительно 30 мкм. В другом усовершенствованном варианте приводимую в движение абразивную режущую кромку приводят во вращение посредством двигателя во время этапа разрезания.

В соответствии с еще одной характеристикой способ включает этап закрепления первого конца композиционного материала, армированного волокнами, так, чтобы первый конец был размещен по существу ортогонально относительно режущей кромки во время этапа разрезания. В другом усовершенствованном варианте этап полирования включает полирование первой полученной разрезанием, торцевой поверхности полирующей поверхностью. В еще одном усовершенствованном варианте полирующая поверхность содержит абразивное зерно, имеющее размер зерна, не превышающий приблизительно 25 мкм. В соответствии с еще одной характеристикой способ включает этап охлаждения первого конца композиционного материала, армированного волокнами, перед этапом полирования и/или во время этапа полирования.

Описание чертежей

Фиг. 1А и 1В иллюстрируют виды в перспективе неизолированных воздушных электрических кабелей.

Фиг. 2А и 2В иллюстрируют поперечные сечения усиливающих составляющих элементов из композиционного материала, которые выполнены с возможностью использования в воздушном электрическом кабеле.

Фиг. 3А-3F иллюстрируют поперечные сечения усиливающих составляющих элементов из композиционного материала, включающих в себя оптические волокна, согласно вариантам осуществления настоящего раскрытия изобретения.

Фиг. 4 иллюстрирует схематический вид системы для определения состояния усиливающего элемента из композиционного варианта согласно варианту осуществления настоящего раскрытия изобретения.

Фиг. 5 иллюстрирует светопередающее устройство согласно варианту осуществления настоящего раскрытия изобретения.

Фиг. 6 иллюстрирует устройство обнаружения света согласно варианту осуществления настоящего раскрытия изобретения.

Фиг. 7А и 7В иллюстрируют инструмент для разрезания и полирования согласно варианту осуществления настоящего раскрытия изобретения.

Описание вариантов осуществления

Настоящее раскрытие изобретения направлено на системы, способы, компоненты и инструменты, которые обеспечивают возможность определения состояния усиливающего элемента из композиционного материала, армированного волокнами, для определения конструктивной целостности усиливающего элемента из композиционного материала.

Что касается терминов, используемых в данном раскрытии изобретения, то усиливающий элемент (strength member) из композиционного материала, армированного волокнами, представляет собой конструктивный элемент из композиционного материала, армированного волокнами, используемый в некоторой области применения (например, в неизолированном воздушном электрическом кабеле), например, вследствие его малого веса и хороших механических свойств (например, высокой прочности на разрыв) по сравнению, например, со сталью. Композиционный материал, армированный волокнами, включает в себя армирующие волокна в связующей матрице. Усиливающий элемент может содержать один (т.е. не более чем один) усиливающий составляющий элемент (strength element) (например, представляет собой однокомпонентный усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами)

или может состоять из нескольких усиливающих составляющих элементов из композиционного материала, которые соединены (например, скручены, свиты или иным образом связаны вместе) для формирования усиливающего элемента. По существу в настоящем раскрытии изобретения термины "усиливающий элемент" и "усиливающий составляющий элемент" могут использоваться как взаимозаменяемые, в частности, тогда, когда усиливающий элемент включает в себя один усиливающий составляющий элемент.

Системы и способы для определения состояния, раскрытые в данном документе, могут предусматривать использование усиливающего элемента, который выполнен со специфической конфигурацией для использования в данных системах и способах и с возможностью использования в аналогичных системах и способах. В одном варианте осуществления раскрыты системы и способы для определения состояния усиливающего элемента из армированного волокнами композиционного материала, при этом усиливающий элемент из композиционного материала включает в себя усиливающий составляющий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, имеющий по меньшей мере первое оптическое волокно, размещенное в усиливающем составляющем элементе, светопередающее устройство, функционально соединенное с первым концом усиливающего элемента, и устройство обнаружения света, функционально соединенное со вторым концом усиливающего составляющего элемента. Системы и способы выполнены с возможностью определения состояния усиливающего элемента для определения того, ухудшены ли конструктивные характеристики усиливающего элемента. Системы и способы являются экономичными и относительно просты в реализации в любой момент в процессе изготовления и монтажа усиливающего элемента.

Согласно настоящему раскрытию изобретения усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, может иметь одну или более характеристик, которые обеспечивают возможность определения состояния усиливающего элемента в системе и способе определения состояния, хотя характеристики усиливающего элемента, состоящего из композиционного материала, армированного волокнами, и раскрытого в данном документе, могут также способствовать его использованию в других системах и в других способах.

Усиливающие элементы могут быть использованы в самых разных применениях в конструктивных элементах, в частности, в качестве усиливающего элемента, работающего на растяжение. В одном конкретном варианте осуществления усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, выполнен с возможностью использования в воздушном электрическом кабеле, например, неизолированном воздушном электрическом кабеле. Как отмечено выше, воздушные электрические кабели для передачи и/или распределения электроэнергии, как правило, включают в себя центральный усиливающий элемент и электрический проводник, размещенный вокруг усиливающего элемента и опирающийся на него. Несмотря на то что усиливающий элемент традиционно изготавливали из стали, такие стальные усиливающие элементы все в большей степени заменяются усиливающими элементами, изготовленными из композиционных материалов, в частности, из армированных волокнами композиционных материалов, которые обеспечивают много существенных преимуществ. Такие усиливающие элементы из композиционных материалов, армированных волокнами, могут включать в себя один усиливающий составляющий элемент (например, один стержень) из композиционного материала, армированного волокнами, как проиллюстрировано на фиг. 1А. Пример такой конфигурации раскрыт в патенте США

№ 7368162 на имя Niel и др., указанном выше. В альтернативном варианте усиливающий элемент из композиционного материала может состоять из множества отдельных усиливающих элементов (например, отдельных стержней) из композиционного материала, армированного волокнами, которые функционально соединены (например, скручены или свиты вместе) для формирования усиливающего элемента, как проиллюстрировано на фиг. 1В. Примеры таких многокомпонентных усиливающих элементов из композиционного материала включают, среди прочего, усиливающий элемент из композиционного материала с алюминиевой матрицей, проиллюстрированный в патенте США № 6245425 на имя McCullough и др., многокомпонентный усиливающий элемент с углеродными волокнами, проиллюстрированный в патенте США № 6015953 на имя Tosaka и др., и многокомпонентный усиливающий элемент, проиллюстрированный в патенте США № 9685257 на имя Daniel и др. Каждый из этих патентов США полностью включен в данный документ путем ссылки. Могут быть использованы другие конфигурации усиливающего элемента из композиционного материала, армированного волокнами.

Если снова обратиться к варианту осуществления по фиг. 1А, можно видеть, что воздушный электрический кабель 120А включает в себя первый проводящий слой 122а, содержащий множество токопроводящих жил 124а, которые намотаны по спирали вокруг усиливающего элемента 126, который состоит из композиционного материала, армированного волокнами, и содержит один усиливающий составляющий элемент 127 из композиционного материала, армированного волокнами. Токопроводящие жилы 124а могут быть изготовлены из проводящих металлов, таких как медь или алюминий, и для использования в неизолированных воздушных электрических кабелях они, как правило, изготовлены из алюминия, например, упрочненного алюминия, отожженного алюминия и/или алюминиевых сплавов. Проводящие материалы, например, алюминий, не имеют механических характеристик (например, достаточной прочности на раз-

рыв), достаточных для того, чтобы они были самоподдерживающимися при подвешивании между башенными опорами для образования воздушной линии электропередачи, предназначенной для передачи и/или распределения электроэнергии. Следовательно, воздушный электрический кабель 120А включает в себя усиливающий элемент 126 для обеспечения опоры для проводящих слоев 124а/124b, когда воздушный электрический кабель 120А подвешен между башенными опорами под высоким механическим натяжением.

Как проиллюстрировано на фиг. 1А, токопроводящие жилы 124а/124b имеют по существу трапециевидное поперечное сечение, хотя могут быть использованы и другие конфигурации, такие как круглые поперечные сечения. Использование многоугольных поперечных сечений, таких как трапециевидное поперечное сечение, обеспечивает предпочтительное увеличение площади поперечного сечения проводящего металла при том эффективном диаметре кабеля, например, по сравнению с жилами, имеющими круглое поперечное сечение. Как проиллюстрировано на фиг. 1А, воздушный электрический кабель 120А включает в себя второй проводящий слой 122b, что является типичным, при этом проводящий слой 122b содержит множество токопроводящих жил 124b, которые намотаны по спирали вокруг первого проводящего слоя 122а. Следует понимать, что такие воздушные электрические кабели могут включать в себя один проводящий слой или более двух проводящих слоев в зависимости от заданного применения воздушного электрического кабеля.

Фиг. 1В иллюстрирует вариант осуществления воздушного электрического кабеля 120В, который аналогичен электрическому кабелю, проиллюстрированному на фиг. 1А, при этом усиливающий элемент 128 содержит множество отдельных армированных волокнами, усиливающих составляющих элементов (например, усиливающих составляющих элементов 129), которые свиты или скручены вместе для формирования усиливающего элемента 128. Несмотря на то что усиливающий элемент, проиллюстрированный на фиг. 1В, включает в себя семь отдельных усиливающих составляющих элементов, следует понимать, что многокомпонентный усиливающий элемент может включать в себя любое число усиливающих составляющих элементов, которое соответствует конкретному применению.

Фиг. 2А и 2В иллюстрируют поперечные сечения двух примеров усиливающего составляющего элемента из композиционного материала, армированного волокнами. Фиг. 2А иллюстрирует армированный волокнами, усиливающий составляющий элемент 220А, имеющий внутреннюю сердцевину 228А, которая включает в себя проходящие в продольном направлении, углеродные армирующие волокна в полимерной матрице, например, в термопластичном полимере или терморезистивном полимере. Внутренняя сердцевина 228А окружена наружным полимерным слоем 230А, изготовленным из изолирующего полимера (например, полимера с высокой диэлектрической проницаемостью), такого как ПЭЭК (полиэфирэфиркетон). Слой 230А защищает углеродные волокна внутренней сердцевины 228А от контакта с проводящим слоем (см. фиг. 1), который может вызывать электрохимическую коррозию алюминия. В варианте осуществления, проиллюстрированном на фиг. 2В, усиливающий составляющему элемент 220В включает в себя внутреннюю сердцевину 228В из проходящих в продольном направлении, углеродных волокон в полимерной матрице и наружный слой 230В из изолирующих стекловолокон (например, непрерывных стекловолокон) в полимерной матрице. Наружный слой 230В из стекловолокна обеспечивает надежную защиту углеродных волокон от контакта с проводящим слоем и придает повышенную гибкость усиливающему составляющему элементу 220В, так что усиливающий составляющий элемент и электрический кабель могут быть намотаны на катушку для хранения и транспортировки без повреждения усиливающего составляющего элемента 220В. Как правило, когда усиливающий элемент образован из множества усиливающих составляющих элементов, отдельные усиливающие составляющие элементы будут иметь меньший диаметр, чем однокомпонентный усиливающий элемент. См. вышеуказанные фиг. 1А и 1В. Такие усиливающие элементы могут включать в себя слой (например, обертку), окружающий пучок усиливающих составляющих элементов. Также следует понимать, что не все усиливающие элементы требуют изолирующего слоя.

Как отмечено выше, композиционный материал, армированный волокнами, из которого созданы усиливающие составляющие элементы, включает в себя армирующие волокна, которые функционально размещены в связующей матрице. Армирующие волокна могут представлять собой по существу непрерывные армирующие волокна, которые проходят вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, и/или могут включать короткие армирующие волокна (например, нитевидные кристаллы или рубленые волокна), которые диспергированы по связующей матрице. Армирующие волокна могут быть выбраны из широкого ряда материалов, включая, среди прочего, углерод, стекло, бор, оксиды металлов, карбиды металлов, высокопрочные полимеры, такие как арамидные волокна или фторполимерные волокна, базальтовые волокна и т.п. Углеродные волокна являются особенно предпочтительными во многих применениях вследствие их очень высокой прочности на разрыв и/или вследствие их относительно низкого коэффициента теплового расширения (СТЕ).

Связующая матрица может включать в себя, например, пластик (например, полимер), такой как термопластичный полимер или терморезистивный полимер. Например, связующая матрица может включать в себя термопластичный полимер, включая полукристаллические термопласты. Конкретные примеры пригодных термопластов включают, среди прочего, полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), полипропилен

(ПП), полифениленсульфид (PPS), полиэфиримид (PEI), жидкокристаллический полимер (LCP), полиоксиметилен (ПОМ или ацеталь), полиамид (ПА или нейлон), полиэтилен (ПЭ), фторполимеры и термопластичные сложные полиэфиры. Другие примеры полимерных материалов, пригодных для связующей матрицы, могут включать швиваемые путем реакции присоединения, фенольные смолы, например, бисмалеимиды (BMI), полиэфирамиды, различные ангидриды или имиды.

Связующая матрица может также включать в себя терморезактивный полимер. Примеры пригодных терморезактивных полимеров включают, среди прочего, бензоксазин, терморезактивные полиимиды (PI), полиэфирамидную смолу (PEAR), фенольные смолы, винилэфирные смолы на основе эпоксидной смолы, полицианатные смолы и смолы на основе цианатного эфира. В одном иллюстративном варианте осуществления в связующей матрице используется винилэфирная смола. Другой вариант осуществления предусматривает применение эпоксидной смолы, такой как эпоксидная смола, которая представляет собой продукт реакции эпихлоргидрина и бисфенола А, диглицидиловый эфир бисфенола А (DGEBA). Отверждающие агенты (например, отвердители) для эпоксидных смол могут быть выбраны в соответствии с заданными свойствами усиливающего элемента из композиционного материала, армированного волокнами, и способом обработки. Например, отверждающие агенты могут быть выбраны из алифатических полиаминов, полиамидов и модифицированных вариантов данных соединений. Ангидриды и изоцианаты также могут быть использованы в качестве отверждающих агентов.

Связующая матрица также может представлять собой металлическую матрицу, такую как алюминиевая матрица. Один пример композиционного материала с алюминиевой матрицей, армированного волокнами, проиллюстрирован в патенте США № 6245425 на имя McCullough и др., указанном выше.

Одна конфигурация усиливающего элемента, состоящего из композиционного материала и предназначенного для воздушного электрического кабеля, которая является особенно предпочтительной, представляет собой конфигурацию кабеля ACCC®, образованного из композиционного материала и поставляемого компаниями CTC Global Corporation, Irvine, Калифорния, и проиллюстрирована в патенте США № 7368162 на имя Hiel и др., указанном выше. В промышленно реализованном варианте осуществления электрического кабеля ACCC® усиливающий элемент представляет собой однокомпонентный усиливающий элемент с по существу круглым поперечным сечением, который включает в себя внутреннюю сердцевину из по существу непрерывных армирующих углеродных волокон, размещенных в полимерной матрице. Сердцевина из углеродных волокон окружена прочным изолирующим слоем из стекловолокон, которые также размещены в полимерной матрице и выбраны для изоляции углеродных волокон от окружающих токопроводящих алюминиевых жил. См. фиг. 2В. Стекловолокна также имеют более высокий модуль упругости, чем углеродные волокна, и обеспечивают способность к изгибанию, так что усиливающий элемент и электрический кабель могут быть намотаны на катушку для хранения и транспортировки.

Усиливающие элементы, которые состоят из композиционного материала, армированного волокнами и которые могут использоваться в воздушных электрических кабелях, можно охарактеризовать в разных аспектах. Одной характеристикой может быть длина усиливающего элемента. Например, усиливающие элементы для воздушных электрических кабелей, как правило, изготавливают с очень большими длинами. В соответствии с некоторыми характеристиками усиливающий элемент в состоянии после изготовления может иметь длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 1000 м, например по меньшей мере приблизительно 3500 м, например по меньшей мере приблизительно 5000 м или даже по меньшей мере приблизительно 7500 м. Часто сразу после изготовления усиливающего элемента усиливающий элемент, как правило, наматывают вокруг катушки (например, бобины) для хранения и/или транспортировки усиливающего элемента, например, для транспортировки к оборудованию для скрутки, на котором усиливающий элемент скручивают вместе с проводником для образования электрического кабеля. Несмотря на то что усиливающий элемент по настоящему раскрытию изобретения не имеет конкретного верхнего предела его длины, на практике катушка для хранения/транспортировки будет иметь максимальную вместимость, соответствующую усиливающему элементу с длиной, не превышающей приблизительно 9000 м, например не превышающей приблизительно 8000 м. Следует понимать, что максимальная вместимость катушки будет зависеть от диаметра усиливающего элемента (или, например, от числа усиливающих составляющих элементов, образующих усиливающий элемент), который намотан вокруг катушки.

Длина усиливающего элемента из композиционного материала, армированного волокнами, также может быть охарактеризована в состоянии, когда образован электрический кабель, например, когда усиливающий элемент скручен вместе с проводником. Как отмечено выше, это, как правило, происходит во время операции скрутки, на которой усиливающий элемент вытягивают из катушки, скручивают вместе с проводником (например, с токопроводящими жилами), и образованный таким способом, электрический кабель наматывают вокруг другой катушки для хранения и/или транспортировки электрического кабеля. Поскольку токопроводящие жилы создают дополнительный объем помимо объема усиливающего элемента, длина электрического кабеля, который может храниться на катушке, уменьшена по сравнению с длиной усиливающего элемента самого по себе. Таким образом, например, длина электрического кабеля

и длина усиливающего элемента в этом состоянии, как правило, не превышают приблизительно 4500 м, например, не превышают приблизительно 4000 м.

Длину электрического кабеля и образующего его основу, усиливающего элемента из композиционного материала, армированного волокнами, также можно определить в состоянии, когда электрический кабель смонтирован на башенных опорах для образования линии электропередачи. Для образования линии электропередачи электрический кабель вытягивают из катушки и функционально присоединяют к башенным опорам (например, опорным стойкам) так, чтобы электрический кабель был подвешен на безопасном расстоянии над землей. Электрический кабель должен быть разрезан с определенными интервалами вдоль траектории линии электропередачи и снова соединен посредством устройств для соединения кабелей, таких как проводящие соединители/сплайсы или концевые опоры. Длина электрического кабеля может быть такой, как расстояние между двумя соседними башенными опорами (например, когда линия электропередачи делает поворот), или может соответствовать сумме расстояний между несколькими башенными опорами до того, как электрический кабель будет разрезан и снова соединен посредством использования соединительных устройств. Таким образом, смонтированный электрический кабель и образующий его основу, усиливающий элемент могут иметь длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 50 м, например по меньшей мере приблизительно 100 м, например по меньшей мере приблизительно 250 м или более или по меньшей мере приблизительно 500 м или более. Некоторые линии электропередачи могут иметь длину одного участка кабеля, составляющую до приблизительно 3000 м, например, в случае линий, протянутых с одним пролетом через реки или горные долины, или линий, проходящих через не имеющий разрывов участок местности и опирающихся на множество башенных опор, образующих множество пролетов.

Как отмечено выше, усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, может иметь ряд диаметров, например, диаметр круглого поперечного сечения, эффективный диаметр некруглого поперечного сечения или эффективный диаметр множества свитых или скрученных усиливающих составляющих элементов из композиционного материала, которые образуют усиливающий элемент. Несмотря на то что отсутствует конкретное нижнее предельное значение диаметра, диаметр, как правило, будет составлять по меньшей мере приблизительно 1 мм, например по меньшей мере приблизительно 2 мм или по меньшей мере приблизительно 3 мм. Аналогичным образом, хотя отсутствует конкретное верхнее предельное значение диаметра усиливающего элемента, диаметр, как правило, будет составлять не более приблизительно 30 мм, например не более приблизительно 20 мм, например не более приблизительно 15 мм, например не более приблизительно 11 мм.

Усиливающие элементы из армированного волокнами композиционного материала, которые выполнены с возможностью использования в воздушном электрическом кабеле, можно также охарактеризовать в отношении минимальной прочности на разрыв, которая необходима для обеспечения их безопасного монтажа на башенных опорах под высоким механическим натяжением. В этой связи обычно желательно, чтобы усиливающий элемент имел предел прочности на разрыв, составляющий по меньшей мере приблизительно 1900 МПа, например по меньшей мере приблизительно 2000 МПа, например по меньшей мере приблизительно 2050 МПа. На практике отсутствует верхнее предельное значение прочности на разрыв усиливающего элемента, поскольку, как правило, желательно иметь как можно более высокую прочность на разрыв. В результате верхнее предельное значение прочности на разрыв ограничено только доступными материалами, например, прочностью на разрыв доступных армирующих волокон. С учетом прочности на разрыв доступных в настоящее время, армирующих волокон обеспечиваемый на практике, верхний предел прочности на разрыв составляет приблизительно 3500 МПа.

Несмотря на то что прочность на разрыв представляет собой одну основную характеристику усиливающего элемента из армированного волокнами композиционного материала, другие характеристики могут быть желательными для использования в конкретном применении, например, в воздушном электрическом кабеле. Например, также желательно, чтобы усиливающий элемент в воздушном электрическом кабеле имел низкий коэффициент теплового расширения (СТЕ) для уменьшения возникновения провисания линии при перегреве линии электропередачи. Например, усиливающий элемент может иметь коэффициент теплового расширения, не превышающий приблизительно $30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, например не превышающий приблизительно $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, например не превышающий приблизительно $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, например не превышающий приблизительно $7,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, например не превышающий приблизительно $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ или даже не превышающий приблизительно $2,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. В соответствии с одной характеристикой коэффициент теплового расширения усиливающего элемента не превышает приблизительно $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. В некоторых вариантах осуществления усиливающий элемент может даже иметь небольшой отрицательный коэффициент теплового расширения, например, до приблизительно $-0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Несмотря на то что вышеприведенные характеристики армированного волокнами, усиливающего элемента раскрыты как желательные для использования в воздушном электрическом кабеле, аналогичные характеристики также могут быть желательными, когда усиливающие элементы, раскрытые в данном документе, используются в других конструктивных элементах, таких как канаты для висячих мостов и несущие тросы.

Согласно настоящему раскрытию изобретения усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, включает в себя по меньшей мере один усиливающий составляющий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, и усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере одно удлиненное и непрерывное оптическое волокно. Оптическое волокно может быть заделано в композиционный материал, армированный волокнами, (например, в связующую матрицу) и может проходить от первого конца усиливающего составляющего элемента до второго конца усиливающего составляющего элемента. Оптическое волокно выполнено с возможностью пропускания/передачи света от первого конца усиливающего составляющего элемента ко второму концу усиливающего составляющего элемента. При надлежащих выборе оптического(их) волокна(волокон), размещении оптического волокна (оптических волокон) и подготовке концов усиливающего составляющего элемента из композиционного материала, армированного волокнами, состояние усиливающего составляющего элемента может быть определено посредством использования системы и способа, раскрытых в данном документе, для оценки конструктивной целостности усиливающего составляющего элемента, например, для оценки конструктивной целостности усиливающего элемента, который включает в себя усиливающий составляющий элемент. Хотя можно использовать одно оптическое волокно, эффективность систем и способов, раскрытых в данном документе, может быть повышена за счет включения множества оптических волокон, размещенных на расстоянии друг от друга в композиционном материале, армированном волокнами. По существу настоящее раскрытие изобретения может относиться к применению оптических волокон (например, множества оптических волокон), даже несмотря на то что настоящее раскрытие изобретения не ограничено этим.

Термин "оптическое волокно", используемый в данном документе, относится к удлиненному и непрерывному волокну, которое выполнено с возможностью пропускания падающего света на всей длине волокна. Как правило, оптические волокна включают в себя пропускающую сердцевину и оболочку, которая окружает сердцевину и которая изготовлена из другого материала (например, имеющего другой показатель преломления) для уменьшения потерь света, выходящего из пропускающей сердцевины, например, через наружную сторону оптического волокна. Это отличается, например, от конструкционного волокна (например, конструкционного стекловолокна), которое имеет однородный состав и, как правило, размещено в композиционном материале в виде жгута волокон, т.е. нескрученного пучка отдельных элементарных волокон.

Оптические волокна, используемые в усиливающем составляющем элементе, могут представлять собой, например, одномодовые оптические волокна или многомодовые оптические волокна. Одномодовое оптическое волокно имеет пропускающую сердцевину с малым диаметром (например, с диаметром, составляющим приблизительно 9 мкм), окруженную оболочкой, имеющей диаметр, составляющий приблизительно 125 мкм. Одномодовые волокна выполнены с возможностью обеспечения распространения света только одной моды. Многомодовое оптическое волокно имеет пропускающую сердцевину большего размера (например, с диаметром, составляющим приблизительно 50 мкм или более), которая обеспечивает возможность распространения света с множеством мод. Преимуществом настоящего раскрытия изобретения является то, что в системе и способе определения состояния может использоваться оптическое волокно фактически любого типа, и, следовательно, одномодовые оптические волокна могут быть предпочтительными вследствие их относительно низкой стоимости по сравнению с многомодовыми оптическими волокнами. Оптические волокна могут быть изготовлены полностью из одного или более полимеров. Однако полимерные оптические волокна могут не обладать термостойкостью, достаточной для выдерживания условий при изготовлении и/или использовании усиливающего составляющего элемента, и в настоящее время предпочтительно использовать одномодовые стекловолокна.

Оптические волокна могут быть расположены прямолинейно вдоль длины усиливающего составляющего элемента. Другими словами, оптические волокна могут быть ориентированы в продольном направлении и могут быть коллинеарными по отношению к центральной продольной оси усиливающего составляющего элемента. В альтернативной конструкции одно или более из оптических волокон могут быть непрямолинейными, т.е. могут быть намотаны (например, закручены по спирали) относительно центральной продольной оси усиливающего составляющего элемента.

Одним признаком усиливающего составляющего элемента из композиционного материала, армированного волокнами, согласно настоящему раскрытию изобретения является то, что по меньшей мере один конец усиливающего составляющего элемента имеет торцевую поверхность, которая выполнена с возможностью содействия передаче света (например, инфракрасного излучения) через усиливающий составляющий элемент, например, в оптическое волокно, размещенное в композиционном материале, армированном волокнами, при отсутствии необходимости в изолировании (например, отделении) оптического волокна от композиционного материала, армированного волокнами. Поскольку оптические волокна имеют чрезвычайно малый размер (например, имеют диаметр, составляющий только приблизительно 250 мкм, включая наружное покрытие), затруднено быстрое определение их местоположения (например, визуальное определение местоположения) в композиционном материале, армированном волокнами. Согласно настоящему раскрытию изобретения не требуется изолировать оптическое волокно (например, конец оптического волокна) от армированного волокнами композиционного материала, окру-

жающего оптическое волокно, для реализации системы и способа определения состояния. Т.е. усиливающий составляющий элемент может быть выполнен с такой конфигурацией, что оптическое волокно будет заделано в композиционном материале, армированном волокнами, и не будет выступать за торцевую поверхность композиционного материала, армированного волокнами. Для большинства применений будет желательным, чтобы каждый конец усиливающего составляющего элемента (например, первый и второй концы) был выполнен с конфигурацией, обеспечивающей возможность пропускания света в усиливающий составляющий элемент на первом конце и выхода света из усиливающего составляющего элемента и его обнаружения на втором конце.

В соответствии с другой характеристикой торцевая поверхность усиливающего составляющего элемента может быть охарактеризована как очень гладкая. Например, торцевая поверхность может быть охарактеризована как полированная торцевая поверхность, например, отполированная для удаления выступов, шероховатостей или других малых поверхностных элементов. Как рассмотрено ниже, торцевая поверхность усиливающего составляющего элемента может быть отполирована посредством относительно мелкого абразивного зерна для удаления поверхностных элементов, которые могут быть результатом разрезания усиливающего составляющего элемента режущим ножом.

В соответствии с еще одной характеристикой торцевая поверхность усиливающего составляющего элемента может быть описана как по существу ортогональная к центральной продольной оси усиливающего составляющего элемента. Т.е. торцевая поверхность может быть охарактеризована как плоская поверхность, которая ориентирована под углом, составляющим 90° или очень близким к 90° , относительно продольной оси. В контексте данного документа "по существу ортогональная" означает, что торцевая поверхность ориентирована, по меньшей мере, под углом, составляющим $90 \pm 5^\circ$, относительно продольной оси. В соответствии с одной характеристикой торцевая поверхность ориентирована под углом, составляющим $90 \pm 2^\circ$, относительно продольной оси усиливающего составляющего элемента. Например, торцевая поверхность может быть ориентирована под углом, составляющим $90 \pm 1^\circ$, относительно продольной оси, например, под углом, составляющим $90 \pm 0,5^\circ$, относительно продольной оси. Такая ортогональная торцевая поверхность может быть образована, например, посредством отрезки конца композиционного материала, армированного волокнами, когда композиционный материал удерживается (например, зажат) в таком ортогональном положении относительно режущего ножа, который используется для отрезки конца композиционного материала. Было обнаружено, что образование торцевой поверхности, расположенной ортогонально относительно продольной оси усиливающего составляющего элемента, может способствовать передаче света в оптические волокна и из них при отсутствии необходимости в обязательном непосредственном (например, физическом) соединении источника света с оптическим волокном и при отсутствии необходимости определения (например, визуальной идентификации) места расположения оптического волокна в композиционном материале. Один пример инструмента, который может быть использован для образования такой торцевой поверхности, описан ниже.

Система и способ, раскрытые в данном документе и предназначенные для определения состояния усиливающего составляющего элемента, могут быть использованы для оценки конструктивной целостности усиливающего составляющего элемента, например, для определения того, имеет ли усиливающий составляющий элемент (например, композиционный материал, армированный волокнами) какие-либо трещины или другие аналогичные дефекты, например, вызванные изготовлением усиливающего составляющего элемента или манипулированием им. Для обеспечения надежной оценки и в зависимости от размера и конфигурации (например, диаметра и/или поперечного сечения) усиливающего составляющего элемента может быть также желательным, чтобы усиливающий составляющий элемент включал в себя по меньшей мере второе удлиненное и непрерывное оптическое волокно, например, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами. Усиливающий составляющий элемент может также включать в себя по меньшей мере третье оптическое волокно или даже по меньшей мере четвертое оптическое волокно для обеспечения надежной оценки, например, для увеличения вероятности обнаружения того, что трещина в композиционном материале, армированном волокнами, будет также нарушать целостность (например, разрывать) оптическое волокно, например, вызывать значительное уменьшение или устранение светопропускания через оптическое волокно. Множество оптических волокон особенно целесообразны при использовании одного усиливающего составляющего элемента в качестве усиливающего элемента. Желательно, чтобы оптические волокна соответствовали характеристикам, указанным выше, например, чтобы оптические волокна не выступали за торцевую(ые) поверхность(и) композиционного материала, армированного волокнами.

Когда усиливающий составляющий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, включает в себя три или более оптических волокон, оптические волокна могут быть размещены концентрически вокруг продольной центральной оси усиливающего составляющего элемента и могут быть размещены на одинаковом расстоянии от продольной оси и/или на одинаковом расстоянии друг от друга. Это может повысить способность системы и способа обнаруживать дефекты в композиционном материале, армированном волокнами, за счет равномерного распределения оптических волокон по поперечному сечению усиливающего составляющего элемента. В одном конкретном варианте осуществления

усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере четыре оптических волокна, которые размещены концентрически вокруг продольной оси и находятся на приблизительно одинаковых расстояниях друг от друга, например, под углами, составляющими приблизительно 90° , в поперечном сечении усиливающего составляющего элемента. В соответствии с одной характеристикой продольная центральная ось усиливающего составляющего элемента свободна от оптических волокон, например, усиливающий составляющий элемент не имеет центрально расположенного оптического волокна. Полагают, что размещение оптического волокна вдоль центральной оси не будет значительно способствовать эффективности системы и способа определения состояния, поскольку существует очень низкая вероятность того, что трещина будет проходить рядом с центральной осью усиливающего составляющего элемента, не проходя также при этом очень близко от одного или более из оптических волокон и не разрывая одно или более из оптических волокон, которые размещены вокруг центральной оси и на расстоянии от нее.

В вариантах осуществления, описанных выше, в которых усиливающий составляющий элемент содержит центральную сердцевину композиционного материала, содержащую армирующие волокна, такую как сердцевина, содержащая углеродные волокна, и изолирующий слой, окружающий центральную сердцевину, такой как слой из стекловолокон в связующей матрице, оптические волокна могут быть предпочтительно заделаны в разных местах в композиционном материале, армированном волокнами, т.е. на разных расстояниях от центральной оси и/или под разными углами относительно центральной оси сердцевины на границе раздела центральной сердцевины и изолирующего слоя. Размещение на данной границе раздела может повысить вероятность того, что оптические волокна будут подвергнуты разрыву при возникновении трещины в усиливающем составляющем элементе.

На фиг. 3A-3F проиллюстрированы поперечные сечения усиливающих составляющих элементов согласно вариантам осуществления настоящего раскрытия изобретения. Конфигурация сечений усиливающих составляющих элементов 326A-326F, армированных волокнами, аналогична усиливающему составляющему элементу, проиллюстрированному на фиг. 2B, и включает внутреннюю сердцевину из волокон с высокой прочностью на разрыв, окруженных наружным слоем из изолирующего материала, например, внутреннюю сердцевину, содержащую углеродные волокна, окруженные наружным слоем, содержащим стекловолокна. Как проиллюстрировано на фиг. 3A, усиливающий составляющий элемент 326A включает в себя четыре оптических волокна 323a-d, которые размещены концентрически в усиливающем составляющем элементе 426 вокруг центральной оси и на расстоянии от нее. Как проиллюстрировано на фиг. 3A, волокна 323a-d размещены на границе 329A раздела или очень близко к границе 329A раздела между внутренней сердцевиной 328A и наружным слоем 330A. Четыре оптических волокна также распределены равномерно вокруг центральной оси, например, расположены на угловых расстояниях друг от друга, составляющих приблизительно 90° . Как проиллюстрировано на фиг. 3B, оптические волокна 323e-g размещены очень близко к наружной поверхности усиливающего составляющего элемента 326B и расположены на угловых расстояниях друг от друга, составляющих приблизительно 120° . Размещение очень близко к наружной поверхности может быть предпочтительным для раннего обнаружения трещин, которые возникают (например, начинаются) на наружной поверхности. Однако оптические волокна 323e-g не должны быть размещены так близко к наружной поверхности, что они будут открыты для воздействия и подвергаться повреждениям, например, вследствие непосредственного контакта с наружным проводящим слоем. Фиг. 3C иллюстрирует вариант осуществления усиливающего составляющего элемента 326C, в котором четыре оптических волокна 323h-323k заделаны во внутренней сердцевине 328C. Фиг. 3D иллюстрирует вариант осуществления усиливающего составляющего элемента 326D, в котором пять оптических волокон размещены на границе 329D раздела между внутренней сердцевиной 328D и наружным слоем 330D. Пять оптических волокон расположены на по существу одинаковом расстоянии от центральной оси усиливающего составляющего элемента и расположены на по существу одинаковом расстоянии друг от друга, например, расположены на угловых расстояниях друг от друга, составляющих приблизительно 72° . Фиг. 3D иллюстрирует, что усиливающий составляющий элемент может включать в себя любое число оптических волокон, включая пять или более оптических волокон. Фиг. 3E иллюстрирует вариант осуществления усиливающего составляющего элемента 326E, в котором оптические волокна первой группы размещены на первом расстоянии от центральной оси усиливающего составляющего элемента и оптические волокна второй группы размещены на втором расстоянии от центральной оси, при этом второе расстояние отличается от первого расстояния. Фиг. 3F иллюстрирует вариант осуществления усиливающего составляющего элемента 326F, в котором оптическое волокно размещено вдоль центральной оси усиливающего составляющего элемента 326F и окружено оптическими волокнами, которые расположены на расстоянии от центральной оси. Следует понимать, что варианты расположения оптических волокон в усиливающем составляющем элементе, проиллюстрированные на фиг. 3A-3F, представляют собой только примеры возможных вариантов расположения, и настоящее раскрытие изобретения не ограничено данными конкретными вариантами расположения.

Как отмечено выше, может быть предпочтительным образование гладкой торцевой поверхности для содействия передаче света в оптическое волокно и из оптического волокна, например, посредством полирования торцевой поверхности. Было обнаружено, что многие промышленно изготавливаемые и

имеющиеся на рынке, оптические волокна включают в себя два или более полимерных слоев, окружающих пропускающую сердцевину и оболочку, а именно внутренний слой из относительно мягкого полимерного материала и наружный слой из более твердого полимерного материала для защиты стеклянной сердцевины. Назначение слоя из более мягкого полимера состоит в уменьшении потерь света, вызываемых микроизгибами оптического волокна в определенных случаях применения. Однако было обнаружено, что при подвергании торцевой поверхности усиливающего составляющего элемента, включающей в себя конец оптического волокна, полированию слой из более мягкого полимера может смещаться и, по меньшей мере частично, перекрывать пропускающую стеклянную сердцевину оптического волокна вследствие механического воздействия, создаваемого в процессе полирования, и/или тепла, выделяющегося в процессе полирования. Даже небольшая степень перекрывания смещенным полимером может воспрепятствовать передаче света в оптическое волокно и/или из него. Таким образом, в соответствии с одной характеристикой оптические волокна не включают в себя слой из более мягкого полимера. Например, оптическое волокно может включать в себя пропускающую стеклянную сердцевину и оболочку для пропуска света и один защитный (например, твердый) полимерный слой, окружающий стеклянную сердцевину и оболочку, например, при отсутствии промежуточного слоя материала. В результате будет ослаблена или устранена тенденция к перекрыванию конца стеклянной сердцевины смещенным полимером, и будет улучшена передача света в оптическое волокно и из него. В соответствии с одной характеристикой единственный защитный полимерный слой будет иметь модуль упругости при растяжении, составляющий по меньшей мере приблизительно 1000 МПа, например, до приблизительно 4500 МПа. Примеры таких полимеров могут включать полимеры на основе акрилатов и полиимиды. В соответствии с другой характеристикой оптическое волокно может быть свободным от каких-либо полимерных (например, защитных) слоев.

Усиливающие составляющие элементы, описанные выше, могут быть изготовлены с помощью средств, известных специалистам в данной области техники, включая способы, описанные в вышеперечисленных патентах США. В одном конкретном варианте осуществления усиливающий составляющий элемент образован посредством процесса пултрузии, посредством которого жгуты непрерывных армирующих волокон (например, углеродных волокон и стекловолокон) вытягивают через материал связующей матрицы (например, через ванну с эпоксидной смолой), который впоследствии подвергают отверждению для закрепления волокон и образования композиционного материала, армированного волокнами. Оптические волокна поставляются производителем в виде непрерывных отрезков (например, с длиной, составляющей много тысяч метров) на катушках аналогично жгутам волокон (например, жгутам углеродных волокон и жгутам стекловолокон). Следовательно, оптические волокна могут быть включены в процесс пултрузии вместе с армирующими волокнами без больших затруднений.

Таким образом, один вариант осуществления настоящего раскрытия изобретения направлен на способ изготовления удлиненного усиливающего составляющего элемента, который состоит из композиционного материала, армированного волокнами, и который выполнен с возможностью использования в усиливающем элементе. Способ может включать этапы образования удлиненного композиционного материала, армированного волокнами, имеющего продольную центральную ось и содержащего связующую матрицу и множество армирующих волокон, размещенных в связующей матрице. По меньшей мере первое оптическое волокно заделывают в композиционный материал, армированный волокнами, например, во время образования композиционного материала, так, чтобы оптическое волокно проходило от первого конца композиционного материала до второго конца композиционного материала. Например, оптические волокна могут быть введены в процесс пултрузии, в котором жгуты армирующих волокон пропитывают смолой, которая при отверждении образует связующую матрицу. Оптические волокна, как правило, поставляются на катушках (бобинах) аналогично жгутам армирующих волокон и, следовательно, могут быть подвергнуты вытягиванию в системе для пултрузии аналогичным образом. В одном варианте осуществления оптические волокна поставляются с одним или более полимерными слоями, и полимерные слои удаляют перед соединением оптических волокон с армирующими волокнами и их пропиткой смолой. Например, оптические волокна могут быть подвергнуты этапу термообработки для удаления (например, для улетучивания) полимерного слоя. В одном варианте осуществления этап термообработки включает направление лазера на оптическое волокно непосредственно перед смешиванием оптического волокна с армирующими волокнами.

Как отмечено выше, оптические волокна могут быть ориентированы прямолинейно (например, могут быть коллинеарными по отношению к центральной продольной оси усиливающего составляющего элемента) или могут быть намотаны (например, намотаны по спирали) относительно центральной продольной оси усиливающего составляющего элемента.

После образования армированного волокнами композиционного материала с соответствующей длиной (например, посредством пултрузии) композиционный материал разрезают вблизи первого конца композиционного материала для образования первой полученной разрезанием, торцевой поверхности, которая является по существу плоской. Конец, полученный разрезанием, полируют для образования удлиненного усиливающего составляющего элемента, состоящего из композиционного материала, армированного волокнами, и имеющего полированную первую торцевую поверхность, при этом полированная

первая торцевая поверхность содержит композиционный материал, армированный волокнами, и первый конец оптического волокна. В результате выполнения вышеприведенного способа полированный конец усиливающего составляющего элемента, включающий в себя оптическое волокно, будет обладать способностью к эффективному приему и пропусканию света через оптическое волокно, и при этом, например, не требуется, чтобы оптическое волокно было физически изолировано от окружающего композиционного материала, армированного волокнами.

Как рассмотрено выше, усиливающий составляющий элемент может включать в себя одно или множество (например, четыре или более) оптических волокон, и множество оптических волокон могут быть предусмотрены (например, заделаны) в композиционном материале, армированном волокнами, для увеличения вероятности того, что оптические волокна окажутся разорванными вследствие трещины или другого дефекта в окружающем композиционном материале. Таким образом, вышеприведенный способ может включать заделывание множества оптических волокон, например, двух или более оптических волокон, как описано выше.

В процессе пултрузии, после отверждения связующей матрицы в достаточной степени, подвергнутый пултрузии, композиционный материал, армированный волокнами, как правило, наматывают на катушку. Поскольку длина жгутов волокон и оптических волокон значительно превышает длину композиционного материала, который может храниться на катушке, удлиненный композиционный материал в конце разрезают до того, как будет превышена вместимость катушки. Как правило, такой разрез выполняют посредством простого разрезания (например, посредством использования болторезов) или зубчатой пилы (с зазубринами), что приводит к шероховатому и расщепленному концу композиционного материала, армированного волокнами. Согласно одному варианту осуществления может быть желательным определение состояния усиливающего составляющего элемента, когда усиливающий составляющий элемент размещен на катушке. Соответственно композиционный материал, армированный волокнами, может быть намотан на катушку так, что оба конца, т.е. первый и второй концы композиционного материала будут открыты для воздействия, например, оба конца будут отделены от основной части намотанного на катушку, композиционного материала, часто посредством пропускания одного или обоих концов через боковое отверстие в катушке. Таким образом, в одном варианте осуществления по меньшей мере один конец и предпочтительно оба конца композиционного материала, армированного волокнами, обрезают и полируют для образования усиливающего составляющего элемента (например, подобного описанному выше), так что система и способ определения состояния могут быть применены для усиливающего составляющего элемента в то время, когда усиливающий составляющий элемент размещен на катушке.

В одном варианте осуществления производитель усиливающего составляющего элемента может захотеть подвергнуть усиливающий составляющий элемент испытанию под нагрузкой ("стресс-тесту") перед отгрузкой усиливающего составляющего элемента, например, перед транспортировкой усиливающего составляющего элемента к оборудованию для скрутки, предназначенному для скрутки усиливающего элемента, образованного из усиливающего составляющего элемента, вместе с проводником для образования электрического кабеля. Такой стресс-тест может включать размотку усиливающего составляющего элемента с одной катушки и его намотку на другую катушку, при этом усиливающий составляющий элемент пропускают через одно или более колес (например, малых шкивов) между двумя катушками. Надлежащий выбор размера колес и места размещения колес обеспечивает приложение известной нагрузки к усиливающему составляющему элементу, чтобы удостовериться в том, что усиливающий составляющий элемент не разрушается под действием данной известной нагрузки, например, чтобы подтвердить то, что отсутствуют какие-либо существенные производственные дефекты в усиливающем составляющем элементе. Таким образом, согласно одному варианту осуществления система и способ определения состояния усиливающего составляющего элемента применяются для усиливающего составляющего элемента после стресс-теста для определения того, прошел ли усиливающий составляющий элемент стресс-тест, например, для определения того, образовались ли трещины в усиливающем составляющем элементе во время стресс-теста. Например, система и способ могут быть применены после стресс-теста, когда усиливающий составляющий элемент намотан на вторую катушку. Если посредством использования системы и способа определения состояния будет определено, что усиливающий составляющий элемент прошел стресс-тест, намотанный на катушку, усиливающий составляющий элемент может быть отгружен для скрутки.

В любом случае в одном варианте осуществления этап разрезания может выполняться таким способом, который обеспечивает высокую вероятность образования ортогональной торцевой поверхности, как рассмотрено выше. Например, этап разрезания может включать разрезание композиционного материала, армированного волокнами, посредством механически приводимой в действие (например, приводимой в движение), режущей кромки. Абразивная режущая кромка, а именно режущая кромка, которая прорезает материал главным образом благодаря наличию абразивного зерна (т.е. материала в виде частиц с высокой твердостью) на режущей кромке, как правило, является предпочтительной по отношению к режущей кромке, которая включает в себя режущие зубья. Несмотря на то что использование мелких режущих зубьев не исключено для разрезания композиционного материала, армированного волокнами, полагают,

что режущие зубья будут оставлять более шероховатую поверхность по сравнению с абразивным зерном, что приводит к более трудному (т.е. более трудоемкому) этапу полирования после этапа разрезания. В соответствии с одной характеристикой абразивная режущая кромка содержит абразивное зерно, имеющее размер, который является сверхмалым или более крупным, например, размер, составляющий по меньшей мере приблизительно 30 мкм (номер зернистости, составляющий приблизительно 600), например по меньшей мере приблизительно 40 мкм (номер зернистости, составляющий приблизительно 360) или даже по меньшей мере приблизительно 68 мкм (номер зернистости, составляющий приблизительно 220). Следует понимать, что выбор зерна для разрезания может быть сделан с учетом скорости (например, скорости вращения) режущей кромки и стремления к быстрому разрезанию и полированию, т.е. более крупное зерно может резать быстрее, но может потребовать более длительного времени последующего полирования.

Для образования по существу ортогональной торцевой поверхности, описанной выше в соответствии с определенными характеристиками, этап разрезания может включать закрепление (например, механическое закрепление) первого конца композиционного материала, армированного волокнами, так, чтобы первый конец был размещен по существу ортогонально относительно режущей кромки (например, относительно режущего ножа) во время этапа разрезания. Например, композиционный материал, армированный волокнами, может быть механически зажат так, что композиционный материал будет размещен ортогонально к режущей кромке и не сможет перемещаться со смещением от оси каким-либо заметным образом во время этапа разрезания.

После разрезания торцевая поверхность может быть отполирована для получения гладкой торцевой поверхности. Например, этап полирования может включать полирование полученной разрезанием, торцевой поверхности полирующей поверхностью. Например, полирующая поверхность может включать абразивное зерно, имеющее сверхмалый размер, например, размер зерна, не превышающий приблизительно 25 мкм (номер зернистости, составляющий 800) или даже не превышающий приблизительно 22 мкм (номер зернистости, составляющий 1000). Если охарактеризовать это по-другому, этап полирования может выполняться посредством абразивного зерна, которое мельче абразивного зерна, используемого на этапе разрезания.

Как отмечено выше, некоторые оптические волокна поставляются от изготовителя с слоем мягкого полимера для снижения потерь от микроизгибов, и такой мягкий полимер может перекрывать конец пропускающей сердцевины оптического волокна во время этапов разрезания и/или полирования. Если оптическое волокно включает в себя такой слой, один способ уменьшения или устранения такого перекрывания состоит во временном отверждении слоя из мягкого полимера для уменьшения его склонности к смещению и перекрыванию пропускающей сердцевины оптического волокна. Например, торцевая поверхность может быть охлаждена перед этапом разрезания и полирования и/или во время этапа разрезания и полирования для обеспечения затвердевания слоя полимера. В соответствии с одной характеристикой торцевую поверхность охлаждают посредством подвода охлажденной жидкости или охлажденного газа к торцевой поверхности. Примеры включают подвод сжатого газа (например, сжатого газообразного азота, газообразного диоксида углерода, углеводородного газа, фреона или т.п.) к торцевой поверхности перед этапами разрезания и полирования и/или во время этапов разрезания и полирования.

Способ образования торцевой поверхности усиливающего составляющего элемента описан выше как включающий механическое разрезание и полирование конца/торца композиционного материала, армированного волокнами, например, посредством использования режущей кромки и полирующей поверхности. Однако предусмотрено, что усиливающий составляющий элемент, имеющий заданную торцевую поверхность, может быть образован с помощью других средств. Например, струя воды или лазер могут быть использованы для получения торцевой поверхности, имеющей свойства, желательные для эффективного пропускания света в системах и способах определения состояния, раскрытых в данном документе.

Выше описано изготовление усиливающего составляющего элемента, имеющего торцевую(ые) поверхность(и), которая(ые) конфигурирована(ы) (например, получена(ы) разрезанием и отполирована(ы)) для содействия передаче света в оптическое волокно и из оптического волокна, заделанного в усиливающий составляющий элемент. Это позволяет производителю усиливающего составляющего элемента определять состояние усиливающего составляющего элемента перед его отправкой конечному пользователю или его транспортировкой на промежуточную стадию, такую как стадия, выполняемая на оборудовании, которое выполняет скрутку усиливающего составляющего элемента вместе с проводником для образования электрического кабеля. Система и способ также могут быть реализованы в других местах помимо или вместо их реализации у производителя. Такая реализация может потребовать, чтобы конечный пользователь и/или предприятие, осуществляющее промежуточную стадию, также подготовили концы усиливающего составляющего элемента в соответствии с вышеприведенным описанием. Например, как отмечено выше, когда усиливающий элемент (например, включающий в себя один или более усиливающих составляющих элементов) скручивают вместе с проводником для образования электрического кабеля, усиливающий элемент вытягивают из катушки и скручивают вместе с токопроводящими жилами. Поскольку токопроводящие жилы добавляют объем к объему усиливающего элемента, длина

электрического кабеля, который может храниться на катушке, уменьшена по сравнению с вместимостью катушки, соответствующей только усиливающему элементу. Таким образом, усиливающий элемент должен быть разрезан в некоторый момент, например, когда катушка для электрического кабеля "достигает" ее вместимости. В результате тот, кто осуществляет скрутку, может захотеть подготовить концы усиливающего составляющего элемента в соответствии с вышеприведенными способами, чтобы дать возможность тому, кто осуществляет скрутку, или его клиенту/заказчику определить состояние электрического кабеля после намотки электрического кабеля на катушку.

Аналогичным образом, как раскрыто выше, при монтаже усиливающего элемента (например, при подвешивании воздушного электрического кабеля, включающего в себя усиливающий элемент, на башенных опорах), электрический кабель должен быть разрезан множество раз для адаптации к расстояниям между башенными опорами, в частности, с учетом поворотов (например, углов) на трассе линии электропередачи. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления усиливающий(е) составляющий(е) элемент(ы) может(могут) быть разрезан(ы) и отполирован(ы) в соответствии с вышеприведенными способами во время монтажа электрического кабеля на башенных опорах.

В одном варианте осуществления настоящего раскрытия изобретения раскрыт инструмент, который особенно целесообразен для разрезания и полирования усиливающего составляющего элемента. Инструмент выполнен с возможностью обрезки и полирования конца композиционного материала, армированного волокнами, на одном этапе, посредством чего уменьшаются объем усилий и возможность возникновения погрешностей при разрезании и полировании для подготовки усиливающего составляющего элемента к определению состояния. Инструмент включает в себя плоский корпус, при этом плоский корпус имеет режущую кромку, проходящую вдоль по меньшей мере одного края плоского корпуса, и полирующую поверхность, покрывающую, по меньшей мере, часть плоского корпуса. Установочный элемент функционально соединен с плоским корпусом и выполнен с возможностью функционального выставления удлиненного армированного волокнами композиционного материала, имеющего продольную ось, относительно плоского корпуса, так что режущая кромка плоского корпуса выполнена с возможностью перемещения и разрезания композиционного материала по существу ортогонально к продольной оси для образования поверхности, получаемой разрезанием, и полирующая поверхность выполнена с возможностью полирования поверхности, полученной разрезанием, когда режущая кромка перемещается сквозь композиционный материал.

Плоский корпус, который выполняет разрезание и полирование, может принимать самые разные формы, например, иметь вид непрерывно перемещающейся многоугольной поверхности, какую можно обнаружить в ленточной шлифовальной машине. В соответствии с одной характеристикой плоский корпус является по существу круглым и приводится во вращение (например, посредством электродвигателя) для разрезания композиционного материала, армированного волокнами. При этом двигатель может быть функционально соединен с плоским корпусом, при этом двигатель выполнен с возможностью обеспечения быстрого вращения плоского корпуса вокруг центральной оси плоского корпуса. Несмотря на то что режущая кромка может включать в себя множество режущих зубьев, предпочтительно, чтобы режущая кромка была образована с абразивной поверхностью, как описано выше, для минимизации образования шероховатого и/или расщепленного конца композиционного материала. В соответствии с одной характеристикой абразивная режущая кромка содержит абразивное зерно, имеющее размер, который является сверхмалым или более крупным, например, размер, составляющий по меньшей мере приблизительно 30 мкм (номер зернистости, составляющий приблизительно 600), например по меньшей мере приблизительно 40 мкм (номер зернистости, составляющий приблизительно 360) или даже по меньшей мере приблизительно 68 мкм (номер зернистости, составляющий приблизительно 220). Следует понимать, что выбор абразивного зерна для разрезания может быть сделан с учетом скорости (например, скорости вращения) режущей кромки и стремления к быстрому разрезанию и полированию, т.е. более крупное зерно может резать быстрее, но может потребовать более длительного времени последующего полирования.

Плоский корпус включает в себя полирующую поверхность, которая покрывает всю поверхность плоского корпуса или только ее часть. Полирующая поверхность может включать в себя абразивное зерно, имеющее сверхмалый размер, например размер зерна, не превышающий приблизительно 25 мкм (номер зернистости, составляющий 800) или даже не превышающий приблизительно 22 мкм (номер зернистости, составляющий 1000). Если охарактеризовать это по-другому, полирующая поверхность может содержать абразивное зерно, которое мельче абразивного зерна, используемого на режущей кромке. В соответствии с одной характеристикой полирующая поверхность включает в себя абразивные зерна с по меньшей мере двумя разными размерами, при этом более крупное зерно применяется ближе к наружной части полирующей поверхности и более мелкое зерно применяется ближе к центральной части полирующей поверхности. Таким образом, поверхность, полученная разрезанием, может сначала подвергаться воздействию более крупного полирующего зерна для быстрого удаления поверхностных элементов большего размера и затем подвергаться воздействию более мелкого полирующего зерна для удаления поверхностных элементов меньшего размера.

Для содействия приложению давления небольшой величины к торцевой поверхности композиционного материала, армированного волокнами, посредством полирующей поверхности полирующая поверх-

ность может быть немного поднята над нижерасположенной поверхностью плоского корпуса. Например, полирующая поверхность может быть поднята над поверхностью плоского корпуса по меньшей мере на приблизительно 0,1 мм, например по меньшей мере на приблизительно 0,3 мм и не больше, чем на приблизительно 1,2 мм, например не больше чем на приблизительно 1,0 мм. Например, полирующая поверхность может содержать абразивное зерно, которое размещено на тонкой основе (например, бумажной основе), которая прикреплена (например, приклеена) к в остальном гладкой плоской поверхности. В качестве альтернативы или дополнения по отношению к поднятой полирующей поверхности инструмент может включать в себя механизм (например, пружину), который выполнен с возможностью поджима полирующей поверхности к полируемому концу композиционного материала, армированного волокнами.

Инструмент предпочтительно может представлять собой ручной инструмент, например, инструмент, который может держать и которым может манипулировать оператор в самых разных средах. Например, во время монтажа воздушного электрического кабеля необходимо разрезать электрический кабель, когда оператор находится высоко над землей, часто в люлке, выполненной с возможностью перемещения в вертикальном направлении. Выполнение инструмента, который может легко удерживаться в таком малом пространстве и которым может манипулировать оператор, обеспечивает значительное преимущество. При этом инструмент может включать в себя батарею для подачи питания для перемещения плоского корпуса, например, перемещения режущей кромки и полирующей поверхности. Батарея может представлять собой, например, перезаряжаемую батарею. Например, для обеспечения большей портативности и облегчения использования инструмента может использоваться батарея, имеющая емкость в диапазоне от приблизительно 2 ампер-часов до приблизительно 12 ампер-часов. В соответствии с другой характеристикой батарея может иметь напряжение от приблизительно 12 вольт до приблизительно 20 вольт. Батареи, имеющие данные характеристики, могут обеспечивать надлежащее питание для надежной работы инструмента в течение разумного времени, при этом сохраняется форма инструмента, при которой он легко удерживается оператором и оператор легко манипулирует им.

Инструмент может также включать в себя захватываемую часть (например, ручку) для облегчения захвата оператором и свободного манипулирования инструментом, например, подобно ручному сверлу.

Определенные композиционные материалы, армированные волокнами, могут включать в себя материалы (например, углеродные волокна), которые могут представлять опасность для оператора, когда режущая кромка и полирующая поверхность осуществляют сьем материала с поверхности в виде пыли. В соответствии с одной характеристикой инструмент включает в себя механизм, который выполнен с возможностью улавливания пыли, которая образуется во время разрезания и полирования. Например, данный механизм может быть соединен с плоским корпусом так, что создается частичный вакуум для улавливания пыли при перемещении плоского корпуса, например, при вращении плоского корпуса.

Следует понимать, что инструмент для разрезания и полирования, описанный в данном документе, может иметь самые разные применения и не ограничен разрезанием и полированием композиционных материалов, армированных волокнами, для образования усиливающих составляющих элементов, описанных выше.

Вышеописанные усиливающие составляющие элементы, имеющие одно или более оптических волокон, размещенных в нем, могут использоваться во многих разных применениях, в частности, в качестве усиливающих элементов, работающих на растяжение, в различных конструкциях. В одном варианте осуществления настоящего раскрытия изобретения усиливающие составляющие элементы используются в усиливающих элементах для воздушных электрических кабелей.

В одном варианте осуществления раскрыт способ определения состояния усиливающего элемента из композиционного материала, армированного волокнами, например, усиливающего элемента, выполненного с возможностью использования в воздушном электрическом кабеле. Усиливающий элемент включает в себя усиливающий составляющий элемент, образованный из композиционного материала, армированного волокнами, при этом композиционный материал включает в себя связующую матрицу и множество армирующих волокон, функционально размещенных в связующей матрице. Как описано выше по меньшей мере первое оптическое волокно заделано в композиционном материале и проходит вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами. Способ определения состояния включает этапы функционального присоединения светопередающего устройства к первому концу усиливающего элемента, функционального присоединения устройства обнаружения света ко второму концу усиливающего элемента, передачу света от светопередающего устройства посредством первого оптического волокна и по направлению к устройству обнаружения света и обнаружения передаваемого/пропущенного света посредством устройства обнаружения света. В соответствии с одной характеристикой в случае, если не будет обнаружен передаваемый свет, выходящий из одного или более из оптических волокон, может быть выполнена дополнительная оценка конструктивной целостности усиливающего элемента, поскольку отсутствие передаваемого света, выходящего из одного или более из оптических волокон, может указывать на то, что конструктивная целостность усиливающего элемента была нарушена.

Передаваемый свет может охватывать свет в широкой оптической области. Например, видимый свет (например, имеющий длину волны от приблизительно 400 нм до приблизительно 700 нм) может

быть пригодным для более коротких длин усиливающего составляющего элемента из композиционного материала или в случае, если световая отдача источника света является очень высокой. Однако видимый свет может слишком ослабляться в большинстве применений, в частности, на больших длинах.

Длина волны передаваемого света предпочтительно может находиться в основном в инфракрасной области. Например, длина волны передаваемого света (например, максимальная длина волны) может составлять по меньшей мере приблизительно 700 нм, например по меньшей мере приблизительно 800 нм. Кроме того, длина волны передаваемого света может не превышать приблизительно 1200 нм, например не превышать приблизительно 1000 нм. Полагают, что свет, имеющий длину волны, превышающую приблизительно 1200 нм, будет трудно обнаружить на втором конце усиливающего составляющего элемента посредством использования обычных датчиков света, таких как датчик света на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) или на структуре КМОП. Особое преимущество состоит в том, что источник света может представлять собой источник некогерентного света, например, по сравнению с источником когерентного (например, однофазного) света, таким как лазер. Использование лазеров может быть проблематичным, поскольку лазеры требуют сильного взаимодействия с отдельным оптическим волокном вследствие малого диаметра луча когерентного света. Напротив, в способе, раскрытом в данном документе, может предпочтительно использоваться источник некогерентного света, такой как светодиод (LED), галогенная лампа или т.п.

В соответствии с одной характеристикой источник света представляет собой светодиод, и этап передачи света включает подачу питания к светодиоду, например, посредством использования батареи или другого источника питания. Светодиоды являются достаточно недорогими и механически устойчивыми/прочными. Поскольку усиливающий составляющий элемент может включать в себя несколько оптических волокон, размещенных в разных местах в поперечном сечении усиливающего составляющего элемента, желательно передавать свет по направлению к по существу всему поперечному сечению усиливающего составляющего элемента так, чтобы достаточный свет передавался во все оптические волокна для обнаружения на противоположном конце усиливающего составляющего элемента. В соответствии с одной характеристикой это обеспечивается посредством перемещения источника света (например, светодиода) во время передачи света. Например, источник света может быть приведен во вращение (например, приведен во вращение механически посредством использования двигателя) или приведен в движение иным образом (например, может перемещаться взад и вперед или колебаться) при передаче света. В соответствии с одной конкретной характеристикой источник света приводят во вращение с частотой вращения, составляющей по меньшей мере приблизительно 5 об/мин (оборотов в минуту), например по меньшей мере приблизительно 10 об/мин, при передаче света по направлению к концу усиливающего составляющего элемента.

В одном варианте осуществления усиливающий составляющий элемент может иметь характеристики, по существу такие, как описанные выше, и может быть изготовлен так, как описано выше. Например, торцевая поверхность усиливающего составляющего элемента может включать в себя композиционный материал, армированный волокнами, и оптическое(ие) волокно(а), при этом оптическое(ие) волокно(а) не выступает(ют) за торцевую поверхность. Торцевая поверхность может быть полированной.

В альтернативном варианте или в дополнение к вышеизложенному материал для компенсации потерь отражения в оптическом волокне (например, текучая среда, такая как гель) может быть размещен на торцевой поверхности (например, на конце оптических волокон) для улучшения передачи света в оптические волокна и/или из них. Материал для компенсации потерь отражения в оптическом волокне представляет собой текучий материал, который имеет показатель преломления, который такой же, как показатель преломления другого материала, например, материала пропускающей сердцевины оптического волокна, или очень похож на показатель преломления другого материала при длине волны, представляющей интерес, поскольку уменьшение длины волны приводит к более высокому показателю преломления. В одном варианте осуществления способ включает размещение небольшого количества геля для компенсации потерь отражения в оптическом волокне на торцевой поверхности усиливающего составляющего элемента перед передачей/пропусканием света, при этом гель для компенсации потерь отражения в оптическом волокне имеет показатель преломления, который по существу такой же, как показатель преломления сердцевины оптического волокна. В одном варианте осуществления материал для компенсации потерь отражения в оптическом волокне имеет показатель преломления, который составляет по меньшей мере приблизительно 1,40, например по меньшей мере приблизительно 1,42 или даже по меньшей мере приблизительно 1,44. Показатель преломления материала для компенсации потерь отражения в оптическом волокне может не превышать приблизительно 1,50, например, не превышать приблизительно 1,48. Было обнаружено, что даже малое количество геля для компенсации потерь отражения в оптическом волокне размещенного на торцевой поверхности, может обеспечить значительное улучшение передачи/пропускания света в оптические волокна.

Способ определения состояния может быть реализован после изготовления усиливающего составляющего элемента, например, когда усиливающий составляющий элемент размещен на катушке. Он также может быть реализован после стресс-теста (например, после испытания на изгиб), как описано выше. Он может быть реализован после изготовления конечного изделия (например, после скрутки уси-

ливающего(их) составляющего(их) элемента(ов) вместе с проводником) и может быть реализован после монтажа, например монтажа воздушного электрического кабеля, для гарантирования конструктивной целостности электрического кабеля.

В еще одном варианте осуществления раскрыта система для определения состояния усиливающего составляющего элемента. Данная система может быть использована для реализации вышеприведенного способа определения состояния усиливающего составляющего элемента, хотя применение данной системы не ограничено этим. Например, система может быть выполнена с возможностью обнаружения дефекта в усиливающем элементе, армированном волокнами, например, в усиливающем элементе, который представляет собой компонент воздушного электрического кабеля. В данном варианте осуществления система включает в себя воздушный электрический кабель, при этом воздушный электрический кабель содержит усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами. Усиливающий элемент включает в себя связующую матрицу, множество армирующих волокон, функционально размещенных в связующей матрице для образования части из композиционного материала, армированного волокнами по меньшей мере первое оптическое волокно, полностью размещенное в пределах части из композиционного материала, армированного волокнами, и вдоль длины усиливающего элемента. Проводник размещен вокруг усиливающего элемента и опирается на него для образования электрического кабеля. Светопередающее устройство функционально соединено с первым концом усиливающего элемента, при этом светопередающее устройство содержит источник света, который выполнен с возможностью передачи света в первый конец оптического волокна. Например, свет может иметь длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 300 нм и не превышающую приблизительно 1700 нм. Устройство обнаружения света функционально соединено со вторым концом усиливающего элемента и включает в себя датчик света, выполнен с возможностью обнаружения светового излучения, передаваемого от светопередающего устройства и проходящего через второй конец оптического волокна.

Как рассмотрено выше, источник света может быть выполнен с возможностью испускания светового излучения, имеющего основную длину волны в инфракрасной области, например, имеющего длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 700 нм, например по меньшей мере приблизительно 800 нм. Кроме того, источник света может быть выполнен с возможностью испускания светового излучения, имеющего длину волны, не превышающую приблизительно 1200 нм, например не превышающую приблизительно 1000 нм. Источник света может представлять любой пригодный источник некогерентного света, включая, среди прочего, галогенную лампу или светодиод. Источник света предпочтительно может включать в себя множество светодиодов (например, светодиодных панелей), которые смонтированы для увеличения площади (например, площади, поперечного сечения), на которой передается свет. Источник света может быть также функционально соединен с механизмом, таким как двигатель, который выполнен с возможностью обеспечения перемещения (например, вращения или колебания) источника света, когда источник света передает свет. Таким образом, по существу однородный столб или луч света передается к торцевой поверхности усиливающего составляющего элемента, что существенно увеличивает вероятность того, что каждое оптическое волокно в усиливающем составляющем элементе получит количество света, достаточное для обнаружения на втором конце усиливающего составляющего элемента.

Источник света может снабжаться энергией с помощью любого обычного средства. В одном варианте осуществления источник света снабжается энергией посредством батареи, например, перезаряжаемой батареи. Например, для обеспечения большей портативности и простоты использования источника света может использоваться батарея, имеющая емкость в диапазоне от приблизительно 2 ампер-часов до приблизительно 12 ампер-часов. В соответствии с другой характеристикой батарея может иметь напряжение от приблизительно 12 вольт до приблизительно 20 вольт. Батареи, имеющие данные характеристики, могут обеспечивать надлежащее питание для источника света для надежного функционирования в течение разумного времени при одновременном сохранении источника в таком виде, при котором он легко удерживается оператором и оператор легко манипулирует им.

Источник света может быть также расположен на расстоянии от конца усиливающего составляющего элемента во время использования. Несмотря на то что источник света расположен на расстоянии, свет из источника света тем не менее сможет проходить в оптическое(ие) волокно(а) благодаря структуре конца усиливающего составляющего элемента, рассмотренной выше. В соответствии с одной характеристикой источник света (например, передняя поверхность источника света) расположен(а) на расстоянии от торцевой поверхности усиливающего составляющего элемента во время использования, составляющем по меньшей мере приблизительно 0,1 мм, например по меньшей мере приблизительно 1,0 мм. В соответствии с другой характеристикой источник света расположен на расстоянии от торцевой поверхности, не превышающем приблизительно 150 мм, например не превышающем приблизительно 100 мм, например не превышающем приблизительно 30 мм.

Усиливающий элемент может включать в себя один или более усиливающих составляющих элементов, описанных выше, включая усиливающие составляющие элементы, имеющие множество оптических волокон, размещенных в композиционном материале, например по меньшей мере приблизительно два по меньшей мере приблизительно три или по меньшей мере приблизительно 4 оптических волокна.

Усиливающий элемент может иметь диапазон длин, рассмотренный выше, и способ определения его состояния может быть реализован в разные моменты во время изготовления и монтажа усиливающего элемента.

Устройство обнаружения света может включать в себя датчик света, предназначенный для обнаружения передаваемого света. Несмотря на то что в некоторых обстоятельствах пользователь может непосредственно исследовать свет (например, невооруженным глазом), устройство обнаружения света, включающее в себя датчик света, может обеспечить возможность обнаружения относительно слабого света и может обеспечить возможность регистрации изображений и/или данных для дистанционного анализа и/или для архивирования. Датчик света может представлять собой, например, прибор с зарядовой связью (ПЗС) или устройство на КМОП-структуре. Устройство обнаружения света может включать в себя, например, вогнутую линзу, которая расположена между концом усиливающего элемента из композиционного материала и датчиком света и выполнена с возможностью фокусировки передаваемого/пропущенного света на датчике света. Датчик света может быть также соединен с вычислительным устройством для анализа и/или отображения изображения, созданного датчиком. Соединение может представлять собой проводное соединение или может представлять собой беспроводное соединение, обеспечению которого способствует, например, использование антенны.

Неограничивающие примеры светопередающего устройства и устройства обнаружения света, которые могут быть использованы в вышеприведенной системе или аналогичной системе, описаны ниже.

В одном варианте осуществления раскрыто устройство для передачи света в конец оптического волокна, которое заделано в удлиненном конструктивном элементе (например, усиливающем составляющем элементе, описанном в данном документе). Устройство может включать в себя по существу жесткий несущий корпус и канал, расположенный так, что он проходит, по меньшей мере частично, через несущий корпус, и имеющий отверстие на первом конце канала. Отверстие и канал выполнены с возможностью (например, выполнены с формой и размерами, обеспечивающими возможность) приема конца удлиненного конструктивного элемента, имеющего по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное вдоль длины конструктивного элемента. Устройство включает в себя источник света, расположенный, по меньшей мере частично, в несущем корпусе и вблизи второго конца канала, и источник света выполнен с возможностью передачи света в канал и по направлению к концу удлиненного элемента, когда удлиненный элемент размещен в первом конце канала. Источник питания (например, батарея) функционально соединен(а) с источником света.

В соответствии с одной характеристикой источник света представляет собой источник некогерентного света, например, в отличие от источника когерентного света (например, источника однофазного света), такого как лазер. Источник света может представлять собой, например, галогенную лампу или светодиод, и в соответствии с одной характеристикой источник света включает в себя светодиод (LED). Светодиод может быть выполнен с возможностью испускания светового излучения в диапазоне длин волн, составляющих по меньшей мере приблизительно 300 нм и не превышающих приблизительно 1200 нм, таких как длина волны в диапазоне длин, составляющих по меньшей мере приблизительно 700 нм и не превышающих приблизительно 1000 нм. Полагают, что обнаружение волны с длиной, превышающей приблизительно 1200 нм, может быть затруднено при использовании обычных средств обнаружения света. В соответствии с одной конкретной характеристикой светодиод выполнен с возможностью испускания светового излучения в основном в инфракрасной области, например, с основной длиной волны, составляющей по меньшей мере приблизительно 800 нм и не превышающей приблизительно 900 нм.

В соответствии с другой характеристикой устройство включает в себя двигатель, который функционально соединен с источником света и выполнен с возможностью обеспечения перемещения источника света, когда источник света передает свет в канал, например, посредством обеспечения колебаний источника света или обеспечения вращения источника света вокруг центральной оси источника света.

В соответствии с еще одной характеристикой устройство включает в себя стопорный элемент, который выполнен с возможностью поддержания некоторого расстояния между источником света и концом конструктивного элемента, когда конструктивный элемент вставлен в первый конец канала. Такая конфигурация предотвращает ситуацию, при которой оператор с усилием вводит конец усиливающего составляющего элемента в непосредственный контакт с источником света, и уменьшает возможность повреждения источника света. Стопорный элемент может быть выполнен с возможностью поддержания расстояния между концом конструктивного элемента и источником света, которое составляет по меньшей мере приблизительно 0,1 мм, например по меньшей мере приблизительно 1,0 мм, и не превышает приблизительно 150 мм, например, не превышает приблизительно 100 мм или даже не превышает приблизительно 30 мм. Например, стопорный элемент может содержать упор (например, уступ), расположенный в канале, при этом уступ выполнен с возможностью предотвращения перемещения конструктивного элемента за уступ при вставке данного элемента в канал. Стопорный элемент может также содержать прозрачную (например, стеклянную) пластину, которая расположена между концом усиливающего составляющего элемента и источником света, при этом усиливающий составляющий элемент может быть поджат к стеклянной пластине. При этом в случае необходимости может быть нанесен прозрачный гель между стеклянной пластиной и усиливающим составляющим элементом для содействия

пропусканию света через пластину и в оптическое(ие) волокно(а). Стопорный элемент также может быть включен в источник света, например, когда светоизлучающая поверхность расположена за прозрачной пластиной.

Канал может иметь один размер (например, постоянный диаметр), или может быть предусмотрен канал с регулируемым диаметром, например, посредством выполнения вставляемых втулок для размещения усиливающих составляющих элементов разных диаметров.

Для обеспечения долговечности, но поддержания при этом относительно малого веса корпус устройства может быть изготовлен из металла, такого как легкий металл. В соответствии с одним признаком корпус изготовлен из алюминия.

В еще одном варианте осуществления раскрыто устройство, которое выполнено с возможностью обнаружения света, выходящего из конца оптического волокна, заделанного в удлиненный конструктивный элемент. Устройство включает в себя по существу жесткий несущий корпус и канал, расположенный так, что он проходит, по меньшей мере частично, через несущий корпус. Канал имеет отверстие на первом конце канала, при этом отверстие и канал выполнены с возможностью (например, выполнены с размерами и формой, обеспечивающими возможность) приема конца удлиненного конструктивного элемента, имеющего по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное вдоль длины конструктивного элемента. Датчик света расположен в несущем корпусе и вблизи второго конца канала, при этом датчик света выполнен с возможностью приема и обнаружения света из оптического волокна, когда удлиненный элемент размещен в первом конце канала. Источник питания может быть функционально соединен с датчиком света.

В соответствии с одной характеристикой датчик света выбран из датчика на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) и датчика на структуре КМОП. В соответствии с другой характеристикой элемент для блокировки света расположен на первом конце канала. Элемент для блокировки света выполнен с возможностью блокировки попадания постороннего/рассеянного света (например, наружного света) в канал и его воздействия на способность датчика света обнаруживать свет, выходящий из оптических волокон. Например, элемент для блокировки света может представлять собой такой материал, как эластомерный материал, который выполнен с возможностью плотного поджима к конструктивному элементу вокруг него, когда конструктивный элемент вставлен в канал.

Как и в случае светопередающего устройства, устройство обнаружения света может включать в себя стопорный элемент для поддержания некоторого расстояния между датчиком света и концом конструктивного элемента, когда конструктивный элемент вставлен в первый конец канала. Стопорный элемент может включать в себя, например, упор (уступ), расположенный в канале и выполненный с возможностью предотвращения перемещения конструктивного элемента за уступ. Стопорный элемент может быть выполнен с возможностью поддержания расстояния между концом конструктивного элемента и датчиком света, которое составляет по меньшей мере приблизительно 5 мм, например по меньшей мере 10 мм, и не превышает приблизительно 300 мм, например не превышает приблизительно 200 мм или даже не превышает приблизительно 100 мм.

В соответствии с одной характеристикой устройство также включает в себя линзу, такую как вогнутая линза, которая выполнена с возможностью фокусировки света, выходящего из оптического волокна, на датчик света. При этом вышеуказанный стопорный элемент, предназначенный для поддержания некоторого расстояния между датчиком света и концом конструктивного элемента, может поддерживать надлежащее расстояние между концом конструктивного элемента и линзой для повышения эффективности линзы.

Как и в случае светопередающего устройства, корпус устройства обнаружения света может быть изготовлен из металла, включая легкий металл, такой как алюминий.

Нижеуказанные фигуры иллюстрируют разные варианты осуществления в соответствии с настоящим раскрытием изобретения и предназначены только для иллюстрации таких вариантов осуществления, а не для ограничения иным образом объема настоящего раскрытия изобретения.

На фиг. 3А-3F проиллюстрированы поперечные сечения усиливающих составляющих элементов согласно вариантам осуществления настоящего раскрытия изобретения. Конфигурация сечений усиливающих составляющих элементов 326А-326F, армированных волокнами, аналогична усиливающему составляющему элементу, проиллюстрированному на фиг. 2В, и включает внутреннюю сердцевину из волокон с высокой прочностью на разрыв, окруженных наружным слоем из изолирующего материала, например, внутреннюю сердцевину, содержащую углеродные волокна, окруженные наружным слоем, содержащим стекловолокна. Как проиллюстрировано на фиг. 3А, усиливающий составляющий элемент 326А включает в себя четыре оптических волокна 323а-d, которые размещены концентрически в усиливающем составляющем элементе 426 вокруг центральной оси и на расстоянии от нее. Как проиллюстрировано на фиг. 3А, волокна 323а-d размещены на границе 329А раздела или очень близко к границе 329А раздела между внутренней сердцевиной 328А и наружным слоем 330А. Четыре оптических волокна также распределены равномерно вокруг центральной оси, например, расположены на угловых расстояниях друг от друга, составляющих приблизительно 90°. Как проиллюстрировано на фиг. 3В, оптические волокна 323е-g размещены очень близко к наружной поверхности усиливающего составляющего элемента 326В и рас-

положены на угловых расстояниях друг от друга, составляющих приблизительно 120° . Размещение очень близко к наружной поверхности может быть предпочтительным для раннего обнаружения трещин, которые возникают (например, начинаются) на наружной поверхности. Однако оптические волокна 323e-g не должны быть размещены так близко к наружной поверхности, что они будут открыты для воздействия и подвергаться повреждениям, например, вследствие непосредственного контакта с наружным проводящим слоем. Фиг. 3С иллюстрирует вариант осуществления усиливающего составляющего элемента 326С, в котором четыре оптических волокна 323h-323k заделаны во внутренней сердцевине 328С. Фиг. 3D иллюстрирует вариант осуществления усиливающего составляющего элемента 326D, в котором пять оптических волокон размещены на границе 329D раздела между внутренней сердцевиной 328D и наружным слоем 330D. Пять оптических волокон расположены на по существу одинаковом расстоянии от центральной оси усиливающего составляющего элемента и расположены на по существу одинаковом расстоянии друг от друга, например, расположены на угловых расстояниях друг от друга, составляющих приблизительно 72° . Фиг. 3D иллюстрирует, что усиливающий составляющий элемент может включать в себя любое число оптических волокон, включая пять или более оптических волокон. Фиг. 3Е иллюстрирует вариант осуществления усиливающего составляющего элемента 326Е, в котором оптические волокна первой группы размещены на первом расстоянии от центральной оси усиливающего составляющего элемента и оптические волокна второй группы размещены на втором расстоянии от центральной оси, при этом второе расстояние отличается от первого расстояния. Фиг. 3F иллюстрирует вариант осуществления усиливающего составляющего элемента 326F, в котором оптическое волокно размещено вдоль центральной оси усиливающего составляющего элемента 326F и окружено оптическими волокнами, которые расположены на расстоянии от центральной оси. Следует понимать, что варианты расположения оптических волокон в усиливающем составляющем элементе, проиллюстрированные на фиг. 3А-3F, представляют собой только примеры возможных вариантов расположения, и настоящее раскрытие изобретения не ограничено данными конкретными вариантами расположения.

Один вариант осуществления системы определения состояния согласно настоящему раскрытию изобретения схематически проиллюстрирован на фиг. 4. В широком смысле система 440 включает в себя светопередающее устройство 450, устройство 460 обнаружения света и усиливающий составляющий элемент 426, например, как описано выше.

Как проиллюстрировано на фиг. 4, усиливающий составляющий элемент 426 включают в себя четыре проходящих в продольном направлении, оптических волокна, из которых два оптических волокна 432a/432b видны на фиг. 4. Оптические волокна представляют собой одномодовые оптические волокна и размещены в усиливающем составляющем элементе 426, например, со смещением от центральной оси 434, например, как проиллюстрировано на фиг. 3А.

На фиг. 5 светопередающее устройство 550 проиллюстрировано более подробно. Устройство 550 включает в себя передатчик 552 света, предназначенный для передачи света для определения состояния. Передатчик 552 включает в себя источник 566 света, функционально соединенный с источником 568 питания. Источник 566 света представляет собой светодиод (LED), имеющий основную длину волны, составляющую приблизительно 850 нм. Источник 568 питания представляет собой батарею для содействия мобильности и удобству использования в производственных условиях, например, во время или непосредственно после монтажа воздушного электрического кабеля. Светодиодный источник 566 света выполнен с возможностью вращения (например, посредством непроиллюстрированного двигателя) так, что достаточное количество света от источника 566 света будет поступать в каждое из оптических волокон. Компоненты светопередающего устройства 550 ограждены (например, герметично изолированы) в корпусе 558, изготовленном, например, из металла, такого как алюминий, или из пластика, для защиты компонентов от повреждений во время использования в производственных условиях. Корпус 558 включает в себя канал 560, имеющий отверстие на первом конце, которое выполнено с возможностью вставки усиливающего составляющего элемента в канал 560. Уступ 564 выполнен с размерами, обеспечивающими возможность предотвращения проникновения усиливающего составляющего элемента в канал до места, в котором усиливающий составляющий элемент входит в контакт с источником 566 света (см. фиг. 4). Другими словами, уступ 564 обеспечивает поддержание заданного расстояния между концом усиливающего составляющего элемента и источника 566 света.

Как показано на фиг. 4, система также включает в себя устройство 460 обнаружения света, расположенное на конце воздушного электрического кабеля 420, противоположном светопередающему устройству 450. Устройство обнаружения света проиллюстрировано более подробно на фиг. 6. Устройство 660 включает в себя датчик 664 света, предназначенный для обнаружения света, выходящего из светопередающего устройства. Как и в случае светопередающего устройства, компоненты устройства 660 обнаружения света ограждены (герметично изолированы) в корпусе 658, изготовленном, например, из металла, такого как алюминий, или пластика, для защиты компонентов от повреждений во время использования в производственных условиях. Корпус 658 включает в себя канал 670, имеющий отверстие на первом конце, которое выполнено с возможностью вставки усиливающего составляющего элемента в канал 670. Над отверстием, ведущим в канал 670, расположен светозащитный экран 676, изготовленный из эластомерного материала и имеющий сквозное отверстие. При вставке усиливающего элемента в канал 670

светозащитный экран 676 перемещается внутрь и образует светозащитное уплотнение вокруг периферии усиливающего составляющего элемента для уменьшения количества наружного/рассеянного света, который может попадать в канал 670 из внешней среды.

Уступ 674 выполнен с размерами, обеспечивающими возможность предотвращения проникновения усиливающего составляющего элемента в канал 670 до места, в котором усиливающий составляющий элемент входит в контакт с датчиком 664 света (см. фиг. 4), поскольку уступ 674 обеспечивает поддержание заданного расстояния между концом усиливающего составляющего элемента и датчиком 664 света. Датчик света представляет собой датчик на основе прибора с ПЗС/на КМОП-структуре, например, подобный тому, который можно обнаружить в цифровой камере. Как проиллюстрировано на фиг. 6, устройство 660 обнаружения света включает в себя вогнутую линзу 662, которая направляет свет, принятый от источника света, к датчику 664 света. Однако такая вогнутая линза может быть необязательной для надлежащего обнаружения света.

Фиг. 7А и 7В иллюстрируют инструмент 700 для разрезания и полирования усиливающего составляющего элемента или аналогичной обрабатываемой детали в соответствии с вариантом осуществления настоящего раскрытия изобретения. Инструмент 700 включает в себя плоский и выполненный с возможностью вращения нож 704, который включает в себя режущую кромку 708 и полирующую поверхность 706. Полирующая поверхность 706 немного поднята (например, на приблизительно 1 мм) над поверхностью 714 ножа 704. Установочный элемент 710 присоединен к корпусу 702 инструмента и выполнен с возможностью перемещения (например, поворота вокруг оси 716) усиливающего составляющего элемента 720 относительно режущего ножа 704. Установочный элемент 710 обеспечивает выставление усиливающего составляющего элемента 720 относительно режущего ножа 704 так, что режущая кромка 708 может разрезать усиливающий составляющий элемент 720 по существу ортогонально к продольной оси усиливающего составляющего элемента 720. Когда режущая кромка перемещается через усиливающий составляющий элемент, полирующая поверхность 706 полирует только что полученную разрезанием поверхность усиливающего составляющего элемента 720. Инструмент 700 выполнен с возможностью его захвата пользователем, который может привести в действие режущий нож 704, используя кнопку 712 включения. Перезаряжаемая батарея 712 снабжает инструмент энергией.

Несмотря на то что различные варианты осуществления системы, способа и инструментов для определения состояния усиливающего элемента были описаны подробно, очевидно, что модификации и адаптации данных вариантов осуществления придут на ум специалистам в данной области техники. Тем не менее следует однозначно понимать, что такие модификации и адаптации находятся в пределах сущности и объема настоящего раскрытия изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система обнаружения дефекта в воздушном электрическом кабеле, содержащем усиливающий элемент из армированного волокнами композиционного материала и электрический проводник, расположенный вокруг усиливающего элемента из композиционного материала, содержащая

воздушный электрический кабель, содержащий усиливающий элемент из армированного волокнами композиционного материала и электрический проводник, расположенный вокруг усиливающего элемента из армированного волокнами композиционного материала, при этом усиливающий элемент содержит по меньшей мере первый усиливающий составляющий элемент, при этом первый усиливающий составляющий элемент содержит

связующую матрицу,

множество армирующих волокон, функционально размещенных в связующей матрице для образования композиционного материала, армированного волокнами,

по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее от первого конца композиционного материала, армированного волокнами, до второго конца композиционного материала, армированного волокнами, при этом первое оптическое волокно имеет первый конец и второй конец;

светопередающее устройство, функционально соединенное с первым концом усиливающего элемента, при этом светопередающее устройство содержит источник света, который функционально соединен с источником питания и выполнен с возможностью передачи света, имеющего длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 300 нм и не превышающую приблизительно 1700 нм, в первый конец первого оптического волокна; и

устройство обнаружения света, функционально соединенное со вторым концом усиливающего элемента, при этом устройство обнаружения света содержит световой детектор, который выполнен с возможностью обнаружения света, испускаемого источником света, через второй конец первого оптического волокна.

2. Система по п.1, в которой источник света выполнен с возможностью испускания светового излучения, имеющего основную длину волны в инфракрасной области.

3. Система по любому из пп.1, 2, в которой источник света выполнен с возможностью испускания

светового излучения, имеющего основную длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 800 нм.

4. Система по любому из пп.1-3, в которой источник света выполнен с возможностью испускания светового излучения, имеющего основную длину волны, не превышающую приблизительно 1000 нм.

5. Система по любому из пп.1-4, в которой усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере второе оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами.

6. Система по п.5, в которой усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере третье оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами.

7. Система по п.6, в которой усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере четвертое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами.

8. Система по любому из пп.1-7, в которой электрический кабель имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 100 м.

9. Система по любому из пп.1-8, в которой электрический кабель имеет длину, не превышающую приблизительно 3500 м.

10. Система по любому из пп.1-9, в которой первое оптическое волокно представляет собой одномодовое оптическое волокно.

11. Система по любому из пп.1-10, в которой источник света содержит светодиод (LED).

12. Система по любому из пп.1-11, в которой устройство обнаружения света содержит вогнутую линзу, которая расположена между концом усиливающего элемента из композиционного материала и датчиком света и выполнена с возможностью фокусировки пропущенного света на датчик света.

13. Система по любому из пп.1-12, в которой датчик света выбран из датчика на основе прибора с зарядовой связью (ПЗС) и датчика на структуре КМОП.

14. Способ определения состояния воздушного электрического кабеля, содержащего усиливающий элемент из композиционного материала, армированного волокнами, и электрический проводник, расположенный вокруг усиливающего элемента из композиционного материала, при этом усиливающий элемент содержит по меньшей мере первый усиливающий составляющий элемент, при этом усиливающий составляющий элемент содержит связующую матрицу и множество армирующих волокон, функционально размещенных в связующей матрице для образования композиционного материала, армированного волокнами, и по меньшей мере первое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, при этом способ включает этапы

функционального присоединения светопередающего устройства к первому концу усиливающего элемента, причем светопередающее устройство содержит источник света, функционально соединенный с источником питания и выполненный с возможностью передачи света, имеющего длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 300 нм и не превышающую приблизительно 1700 нм, в первый конец первого оптического волокна;

функционального присоединения устройства обнаружения света ко второму концу усиливающего элемента;

обеспечения передачи света светопередающим устройством в первое оптическое волокно и по направлению к устройству обнаружения света, при этом передаваемый свет является некогерентным; и

обнаружения наличия некогерентного передаваемого света посредством устройства обнаружения света.

15. Способ по п.14, в котором передаваемый свет имеет длину волны в инфракрасной области.

16. Способ по любому из пп.14, 15, в котором передаваемый свет имеет основную длину волны, составляющую по меньшей мере приблизительно 800 нм.

17. Способ по любому из пп.14-16, в котором передаваемый свет имеет основную длину волны, не превышающую приблизительно 1000 нм.

18. Способ по любому из пп.14-17, в котором первый усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере второе оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, при этом этап передачи света обеспечивает передачу света посредством второго оптического волокна.

19. Способ по п.18, в котором усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере третье оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, при этом этап передачи света обеспечивает передачу света посредством третьего оптического волокна.

20. Способ по п.19, в котором усиливающий составляющий элемент включает в себя по меньшей мере четвертое оптическое волокно, заделанное в композиционном материале, армированном волокнами, и проходящее вдоль длины композиционного материала, армированного волокнами, при этом этап пере-

дачи света обеспечивает передачу света посредством четвертого оптического волокна.

21. Способ по любому из пп.14-20, в котором усиливающий элемент из композиционного материала имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 500 м.

22. Способ по любому из пп.14-21, в котором усиливающий элемент из композиционного материала имеет длину, составляющую по меньшей мере приблизительно 3500 м.

23. Способ по любому из пп.14-22, в котором усиливающий элемент из композиционного материала имеет длину, не превышающую приблизительно 7500 м.

24. Способ по любому из пп.14-23, дополнительно включающий этап испытания усиливающего составляющего элемента из композиционного материала под нагрузкой перед этапами передачи и обнаружения света.

25. Способ по любому из пп.14-24, в котором этапы передачи и обнаружения света выполняют после монтажа воздушного электрического кабеля на башенных опорах.

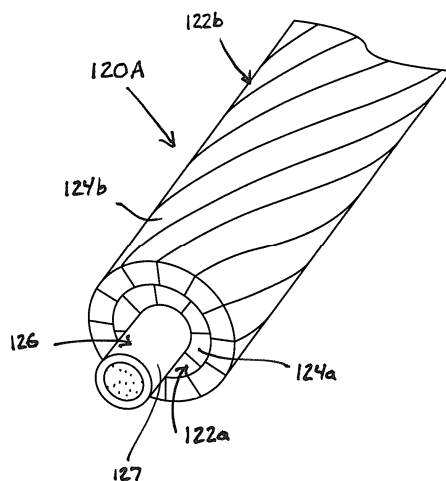
26. Способ по любому из пп.14-25, в котором оптическое волокно представляет собой одномодовое оптическое волокно.

27. Способ по любому из пп.14-26, в котором этап передачи света включает подачу питания на светодиод (LED).

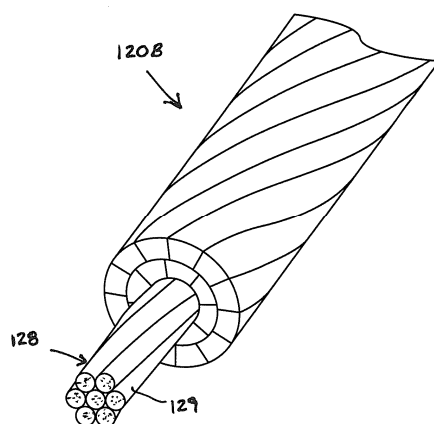
28. Способ по п.27, в котором этап передачи света включает механическое вращение светодиода во время передачи света.

29. Способ по п.28, в котором светодиод вращают с частотой вращения, составляющей по меньшей мере приблизительно 5 об/мин.

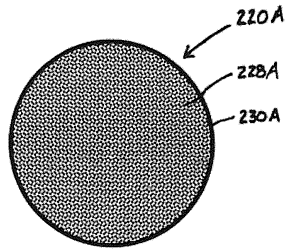
30. Способ по любому из пп.14-29, включающий этап нанесения геля, предназначенного для компенсации потерь отражения в оптическом волокне, на первый конец усиливающего элемента для содействия передаче света в оптическое волокно.



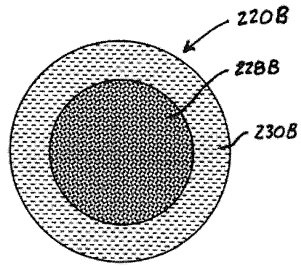
Фиг. 1А



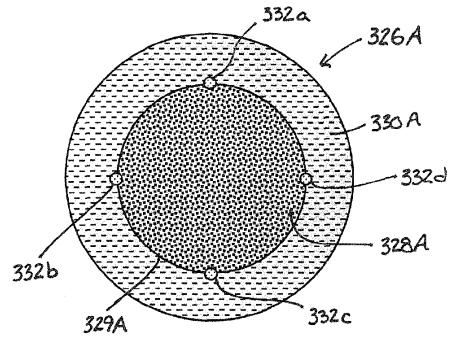
Фиг. 1В



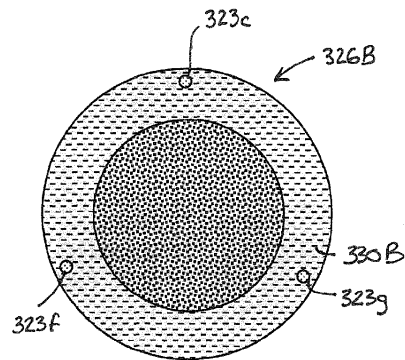
Фиг. 2А



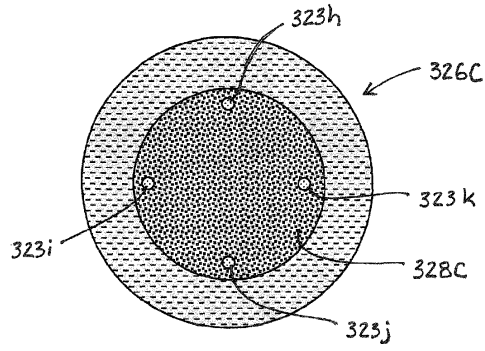
Фиг. 2В



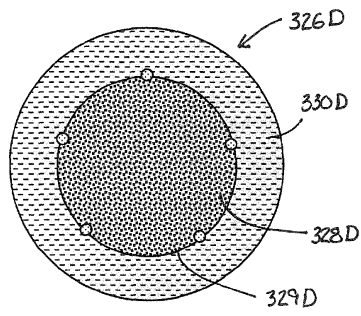
Фиг. 3А



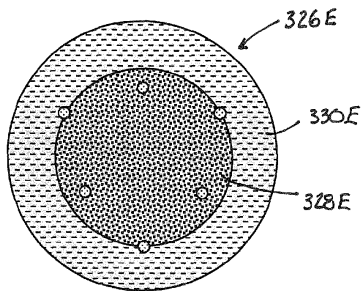
Фиг. 3В



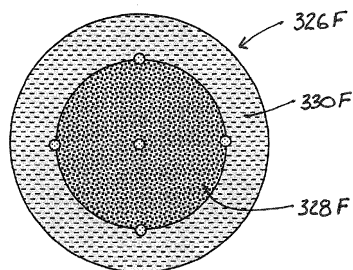
Фиг. 3С



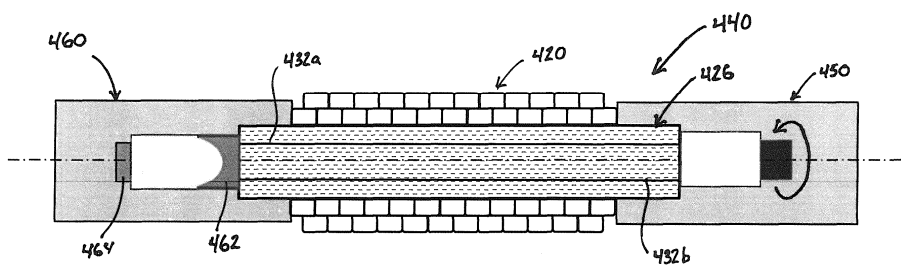
Фиг. 3D



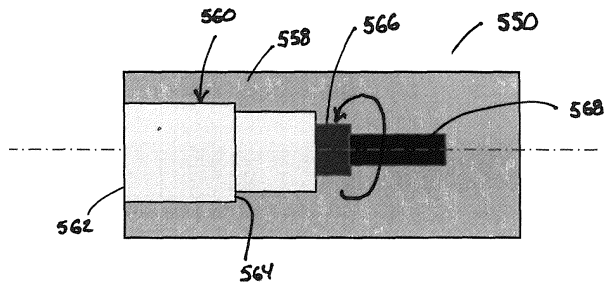
Фиг. 3E



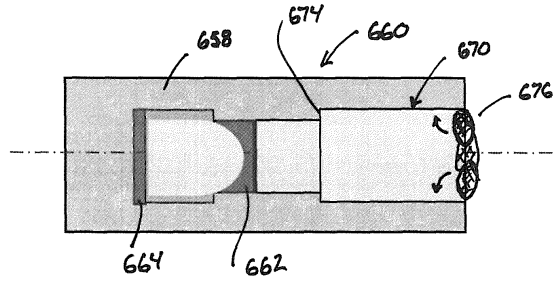
Фиг. 3F



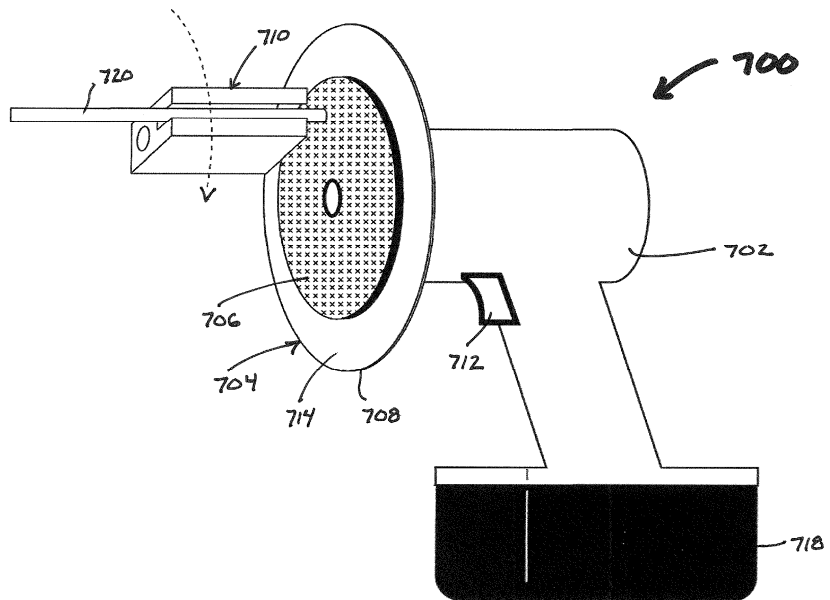
Фиг. 4



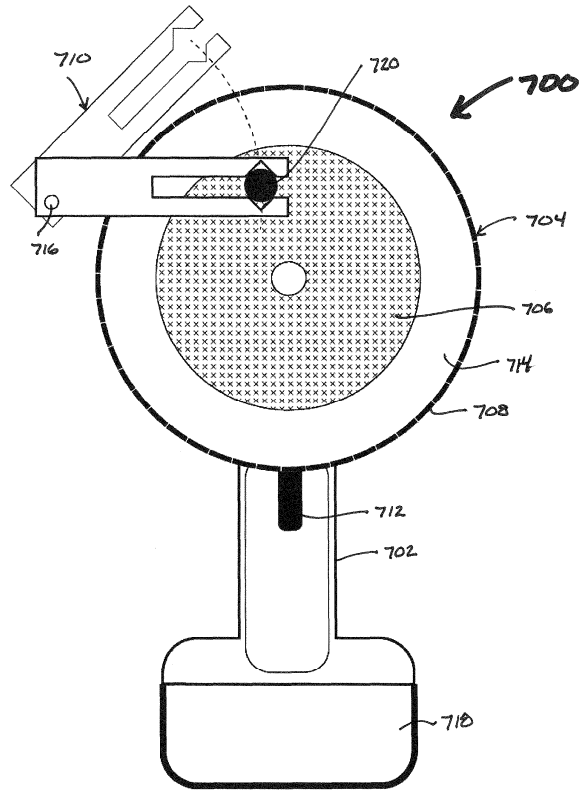
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7А



Фиг. 7В