



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G01B 7/16 (2026.05)*

(21)(22) Заявка: 2026113358, 30.04.2026

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.04.2026

Дата регистрации:  
25.06.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.04.2026

(45) Опубликовано: 25.06.2026 Бюл. № 18

Адрес для переписки:

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, НИУ  
"БелГУ", Крылова Анна Сергеевна

(72) Автор(ы):

Никуличева Татьяна Борисовна (RU),  
Никулин Иван Сергеевич (RU),  
Кунгурцев Максим Сергеевич (RU),  
Воропаев Валерий Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2786759 C1, 26.12.2022. RU 201365  
U1, 11.12.2020. RU 194612 U1, 17.12.2019. RU  
2653563 C1, 11.05.2018. CN 110205908 A,  
06.09.2019. US 11175124 B2, 16.11.2021.

(54) Тензодатчик с активным слоем из двухкомпонентного полиуретана

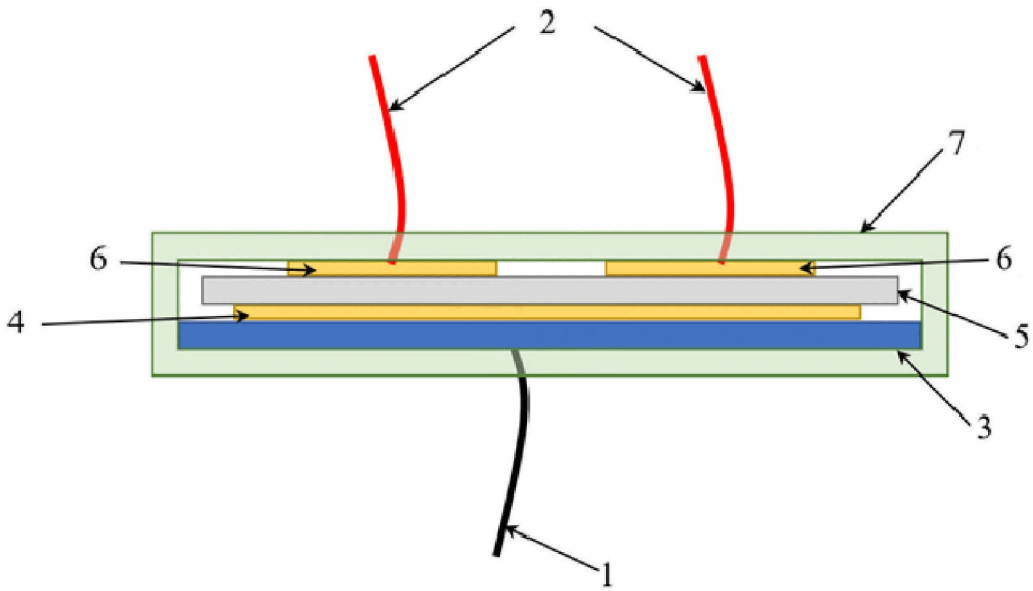
(57) Реферат:

Полезная модель относится к измерительной технике, а именно к созданию приборов контроля, используемых при испытании строительных конструкций, таких как мониторинг трещинообразования и геосинтетиков для измерения растяжения георешеток и геотекстиля в дорожном строительстве и при укреплении грунтов. Тензодатчик с активным слоем из двухкомпонентного полиуретана, включающий заключенные в защитный инкапсулирующий слой толщиной 200 мкм, активный слой толщиной 350 мкм, выполненный из двухкомпонентного полиуретана, упрочненного микрокристаллами сульфата кальция, два слоя электродов толщиной 18 мкм, изготовленных из медной фольги, один

из которых закреплен снизу активного слоя, а другой, выполненный раздельным, закреплен сверху активного слоя и изоляционную подложку толщиной 100 мкм, прикрепленную к нижнему электроду, а также припаянные к нижнему и верхним электродам гибкие многожильные провода, предназначенные для соединения тензодатчика с внешним измерительным устройством. Технический результат заключается в том, что предлагаемый тензодатчик с активным слоем из двухкомпонентного полиуретана может различать тип деформации: простое растяжение арматуры - пьезорезистивный отклик от критического изгиба или перегиба узла конструкции - флексоэлектрический отклик. 1 ил.

RU 244353 U1

RU 244353 U1



Фиг. 1

RU 244353 U 1

RU 244353 U 1

Полезная модель относится к измерительной технике, а именно к созданию приборов контроля, используемых при испытании строительных конструкций, таких как мониторинг трещинообразования и геосинтетиков для измерения растяжения георешеток и геотекстиля в дорожном строительстве и при укреплении грунтов.

5 Известен тензодатчик для измерения деформаций в композиционных материалах по патенту РФ №2360215, опубликован 27.06.2009, содержащий в качестве тензочувствительного элемента углеродную нить, причем углеродная нить внутри матрицы состоит из частиц критической длины 0,5-1 мм и выполнена из  
10 высокомодульного углеродного волокна, а материал матрицы имеет модуль упругости в два или более раз меньший, чем модуль упругости углеродного волокна. Концы углеродной нити соединены с электропроводами для подключения к регистрирующей аппаратуре. Места соединения встроены в полимерную матрицу. При изготовлении тензодатчика начало и конец углеродной нити соединяют с электропроводами для  
15 подключения к регистрирующей аппаратуре. Затем углеродную нить помещают в жгут из стекло- или органоволокна, пропитывают связующим, отверждают и подвергают 6-7-кратному повторению цикла нагружение-разгрузка. Недостатками данного устройства являются невысокая точность, т.к. углеродная нить состоит из частиц критической длины (фрагментирована), поэтому изменение электрического  
20 сопротивления происходит в основном за счет изменения контактного сопротивления между концами этих частиц, и нестабильность показаний при измерении малых деформаций, потому что при разгрузке контакт между фрагментами углеродной нити может восстанавливаться нелинейно.

Известно тензометрическое устройство для измерения деформаций арматуры железобетонных конструкций по патенту РФ №76117, опубликован 10.09.2008,  
25 содержащее тензодатчик, включающий проволочный рабочий тензорезистор, расположенный внутри железобетонной конструкции и состоящий из чувствительного элемента в виде решетки с согнутыми в виде гармошки выводами, которая приклеена на диэлектрическую основу, закрепленную тоже с помощью клея на арматурном стержне, пару изолированных проводов, помещенных в трубку из поливинилхлорида  
30 и соединенных с многоканальной измерительной системой, вторые выводы которых связаны с выводами решетки, подложку из липкой изоляционной ленты, закрепленной на исследуемом образце в месте спайки выводов проводов и решетки, и защитное покрытие для тензорезистора и спаянных выводов, выполненное из состава включающего эпоксидную смолу, отвердитель и цемент в соотношении 55:15:30,  
35 отличающееся тем, что оно дополнительно содержит жесткую металлическую подложку, компенсационный проволочный тензорезистор, расположенный внутри железобетонной конструкции и состоящий из чувствительного элемента в виде решетки, приклеенной на диэлектрическую основу, пару изолированных проводов, помещенных в трубку из поливинилхлорида и соединенных с многоканальной измерительной системой, вторые  
40 выводы которых спаяны с выводами решетки, подложку из липкой изоляционной ленты, закрепленной на исследуемом образце в месте спайки выводов проводов и решетки, и защитное покрытие для тензорезистора и спаянных выводов, выполненное из состава, включающего эпоксидную смолу, отвердитель и цемент в соотношении 55:15:30, при этом компенсационный тензорезистор приклеен на жесткую металлическую  
45 подложку и вместе с ней и спаянными выводами помещен в слой диэлектрического материала, например поролона или пенопласта, а защитное покрытие для компенсационного тензорезистора и спаянных выводов выполнено сверху этого слоя диэлектрического материала, кроме того, пары изолированных проводов обоих

тензорезисторов соединены с многоканальной измерительной системой по полумостовой схеме. Недостатками данного устройства являются уязвимость конструкции, т.к. использование поролона или пенопласта в качестве диэлектрика может привести к накоплению влаги внутри защитной оболочки, что вызовет коррозию металлических элементов, а также сложность его использования, связанную с пайкой выводов и фиксацией липких лент непосредственно на объекте исследования.

Известен датчик деформации для измерения деформаций деталей по патенту РФ №2786759, опубликован 26.12.2022, который может быть использован для определения веса груза и нагрузки на ось грузовых автотранспортных средств. Датчик содержит пластиковый корпус, жестко скрепляемый с двумя подкладочными пластинами, внутри которого установлен металлический чувствительный элемент с полномостовой тензорезисторной сборкой. Чувствительный элемент соединен с электронным модулем обработки сигналов и выполнен из штампованного металлического листа, закрепленного в корпусе при помощи двух пар скрепленных между собой фиксирующих пластин, а на нем установлен температурный датчик, связанный с электронным модулем обработки сигналов. Толщина чувствительного элемента выбирается из диапазона от 0,5 до 3 мм, а высота чувствительного элемента вместе с фиксирующими пластинами не превышает от 5 до 10 мм. Внутри корпуса установлен куполообразный экранирующий элемент из фольгированного материала толщиной от 0,2 до 0,5 мм. Недостатками данного устройства является сложность монтажа, т.к. исходя из его конструктивных особенностей и условий эксплуатации на грузовом транспорте требуется высокая точность при установке, т.к. любой перекося при монтаже может привести к некорректному распределению напряжений, а также уязвимость конструкции, т.к. проникновение влаги может вызвать коррозию и деградацию тензорезисторов.

Задачей полезной модели является расширение арсенала тензодатчиков и создание высокоточного тензодатчика, способного работать с большими деформациями в строительных конструкциях.

Технический результат заключается в создании тензодатчика с активным слоем из двухкомпонентного полиуретана, упрочненного микрокристаллами сульфата кальция с упрощенной технологией изготовления и монтажа, а также с возможностью различать тип деформации: простое растяжение арматуры - пьезорезистивный отклик, от критического изгиба или перекося узла конструкции - флексоэлектрический отклик.

Полезная модель поясняется фиг. 1, где:

1 и 2 - гибкие многожильные провода, предназначенные для соединения тензодатчика с внешним измерительным устройством,

3 - изоляционная подложка,

4 - нижний электрод (общий),

5 - активный слой (двухкомпонентный полиуретан, упрочненный микрокристаллами сульфата кальция),

6 - верхние электроды (раздельные),

7 - защитный инкапсулирующий слой.

Для максимальной эффективности одновременно пьезорезистивного и флексоэлектрического отклика датчик имеет структуру «сэндвич-панели».

Устройство содержит активный слой 5, который изготавливают следующим образом: первоначально получают двухкомпонентный полиуретан путем смешивания полиола ненаполненного и изоцианата ненаполненного в соотношении 1:1. Далее к полученному двухкомпонентному полиуретану добавляют микрокристаллы сульфата кальция в соотношении 9:1 с целью упрочнения полиуретана.

Далее полученную смесь перемешивают в течение 1 мин и заливают в заранее обезжиренную, тщательно просушенную и обработанную адгезионной смазкой силиконовую форму. Толщина залитой смеси для получения активного слоя составляет 350 мкм. Через 30 мин образец извлекают из формы и оставляют находиться при комнатных условиях в течение 24 часов до полного отверждения.

Тензодатчик с активным слоем из двухкомпонентного полиуретана, упрочненного микрокристаллами сульфата кальция получают следующим образом: на активный слой 5 толщиной 350 мкм закрепляют электроды для снятия электрических сигналов: нижний 4 (общий) толщиной 18 мкм, и верхние 6 (раздельные) толщиной 18 мкм, изготовленные из медной фольги, такое расположение электродов позволяет фиксировать разность потенциалов между верхней и нижней плоскостями при изгибе (флексоэффект) и изменение сопротивления вдоль слоя при растяжении. К нижнему 4 и верхним 6 электродам припаивают гибкие многожильные провода 1 и 2. К нижнему электроду 4 крепят изоляционную подложку 3 толщиной 100 мкм, изготовленную из чистого полиуретана без наполнителя. Слои устройства удерживаются в фиксированном положении относительно друг друга за счет заключения в защитный инкапсулирующий слой 7 из эластичного герметика толщиной 200 мкм, который образует единую герметичную оболочку, предотвращающую взаимное смещение внутренних элементов, а также для защиты от влаги и герметизации мест пайки гибких многожильных проводов 1 и 2.

Толщина слоев устройства является расчетной величиной, обеспечивающей необходимую чувствительность и гибкость датчика, и остается неизменной при изменении его линейных размеров (площади контактной поверхности). Длина и ширина датчика выбираются исходя из габаритов контролируемого объекта - ребра георешетки или зоны возможного появления трещины в бетоне, и не влияют на физические принципы его работы. При этом линейные размеры могут варьироваться в зависимости от конкретных задач, сохраняя заявленный технический результат.

Для измерения растяжения георешеток и геотекстиля при дорожном строительстве и при укреплении грунтов тензодатчик приклеивается вдоль узла или ребра обрешетки с помощью двухкомпонентного эпоксидного состава или цианакрилатного клея, предназначенного для работы с полимерами в условиях агрессивных сред, используемый клей должен обладать высокой эластичностью, чтобы не треснуть раньше самого геотекстиля. Чтобы датчик не отслоился при больших деформациях, его концы дополнительно фиксируются механическими зажимами или термоусадкой.

Для мониторинга трещин в бетоне датчик устанавливают над зоной возможного появления трещины. При появлении микротрещины весь корпус датчика изгибается как единое целое, микрокристаллы сульфата кальция создают локальные неоднородности в мягкой полиуретановой матрице. При изгибе датчика возникают резкие перепады механического напряжения на границе «полимер - кристалл», что создает высокие градиенты деформации и усиливает электрический отклик, в результате чего возникает флексоэлектрический эффект, генерируя пиковый электрический сигнал при минимальном воздействии. Таким образом, заявленный тензодатчик реагирует не только на изменение длины, но благодаря флексоэлектрическому отклику датчик реагирует и на кривизну изгиба. Такие изменения могут быть критичны в строительстве для фиксации выпучивания или прогиба тонкостенных элементов.

#### Пример 1.

Тензодатчик с активным слоем из двухкомпонентного полиуретана закрепляют на ребре полимерной георешетки в основании лабораторного макета дорожной обрешетки.

Тензодатчик фиксируют термоусадкой на узле обрешетки, чтобы исключить проскальзывание. Нижний электрод 4 и подложка 3 ориентированы вниз. Затем над точкой установки производят одноосное циклическое нагружение с помощью универсальной испытательной машины Instron 3369 - 15 циклов в течение 2,5 мин. С 5 верхних отдельных электродов 6 снимается электрический сигнал. При нагружении ребро георешетки удлиняется (тензоэффект), активный слой 5 растягивается, расстояние между микрокристаллами сульфата кальция в полиуретановой матрице увеличивается. Это приводит к росту электрического сопротивления вдоль слоя, что фиксируется как плавное изменение базового сигнала. Если фиксируется мгновенный локальный изгиб 10 датчика (флексоэффект), например, из-за неоднородности грунта, возникают градиенты механического напряжения, на электродах 4 и 6 генерируется пиковый скачок напряжения. В отличие от медленного изменения сопротивления, этот сигнал мгновенный и пропорционален кривизне изгиба. В качестве системы мониторинга используют универсальный цифровой мультиметр АВМ - 4551, который отображает 15 «фон» - растяжение обрешетки и «всплески» - динамический изгиб. Если после одноосного нагружения сопротивление не вернулось к исходному - зафиксирована остаточная деформация георешетки. Если амплитуда флексоэлектрического пика резко возросла при той же нагрузке - это указывает на образование пустоты под датчиком, например, пустоты в грунте, так как амплитуда изгиба увеличилась.

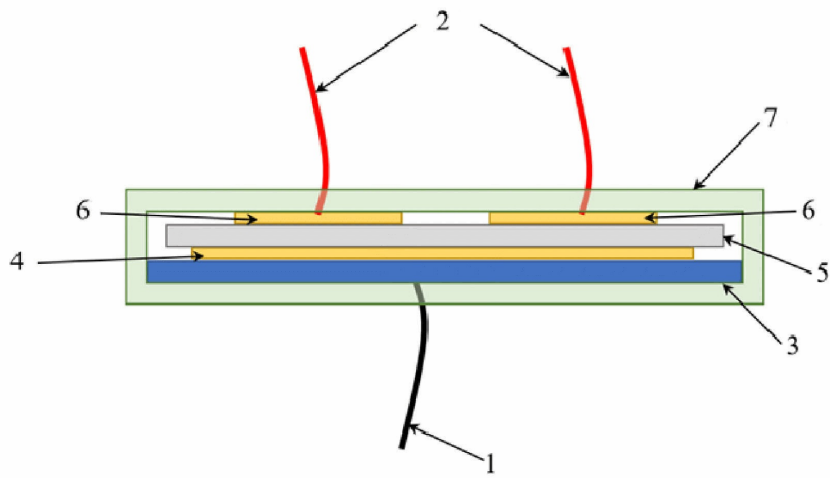
20 Указанный пример подтверждает достижение заявленного технического результата, а именно то, что одновременно с упрощением технологии изготовления и монтажа тензодатчика, предлагаемый тензодатчик с активным слоем из двухкомпонентного полиуретана может различать тип деформации: простое растяжение арматуры - пьезорезистивный отклик от критического изгиба или перекоса узла конструкции - 25 флексоэлектрический отклик.

#### (57) Формула полезной модели

Тензодатчик с активным слоем из двухкомпонентного полиуретана, включающий заключенные в защитный инкапсулирующий слой толщиной 200 мкм, активный слой 30 толщиной 350 мкм, выполненный из двухкомпонентного полиуретана, упрочненного микрокристаллами сульфата кальция, два слоя электродов толщиной 18 мкм, изготовленных из медной фольги, один из которых закреплен снизу активного слоя, а другой, выполненный отдельным, закреплен сверху активного слоя и изоляционную подложку толщиной 100 мкм, прикрепленную к нижнему электроду, а также припаянные 35 к нижнему и верхним электродам гибкие многожильные провода, предназначенные для соединения тензодатчика с внешним измерительным устройством.

40

45



Фиг. 1