(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43)Дата публикации заявки 2020.11.30

(51) Int. Cl. *G01N 29/04* (2006.01)

Дата подачи заявки (22)2019.05.21

- ГЕОРАДАРНО-АКУСТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОЧНОСТИ (54)СЛОЕВ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО **ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**
- (96)2019/EA/0049 (BY) 2019.05.21
- (71)Заявитель: НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ИМЕНИ А.Н. СЕВЧЕНКО" БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА; РОМАНОВ АНАТОЛИЙ ФИЛИППОВИЧ; ХОДАСЕВИЧ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ; ЧЕРНОБАЙ ИВАН

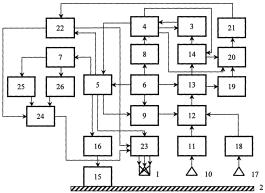
АЛЕКСАНДРОВИЧ (ВУ)

(72) Изобретатель:

Романов Анатолий Филиппович, Ходасевич Александр Иванович, Чернобай Иван Александрович (ВУ)

(74)Представитель: Федорук Е.Ю. (ВҮ)

Изобретение относится к области измерительной техники, связанной с неразрушающим контролем (57) физических характеристик материалов, в частности измерением прочности покрытий автомобильных дорог. Способ основан на комбинированном применении георадарного и акустического способов определения прочности слоев покрытий автомобильной дороги. Одновременно в слои излучают акустические импульсы и короткие зондирующие радиоимпульсные сигналы с последующим приемом и детектированием откликов, отраженных внутренними границами слоев. В соответствии с измеренными или табличными величинами диэлектрической проницаемости ξ_n для каждого слоя уточняется величина толщины. По уточненным величинам толщины слоев I_n вычисляются точные значения скоростей v_n распространения акустических волн. По ним находят точные значения модулей упругости E_n , связанных с прочностью материалов слоев дорожных одежд. Предложено устройство для реализации алгоритма действий. Устройство содержит, в частности, рупорные излучающие антенны, блок управления и обработки сигналов, блок формирования временной диаграммы сигналов, блок синхронизации, приемные рупорные антенны, аналого-цифровой преобразователь, другие элементы. Результаты анализа показывают, что способ, устройство, алгоритмы проведения измерений можно реализовать на территории республики и получить удовлетворяющие результаты.



МПК: G01N 29/02

G01S 13/02

G01V 3/17

G01V 3/30

Изобретение относится к области измерительной техники, представляющей собой неразрушающий контроль физических характеристик материалов, в частности измерения прочности покрытий автомобильных дорог.

Известно большое количество акустических, в том числе ультразвуковых способов измерения прочности материалов [1].

Близкой по технической сущности к устройству, реализующему известный способ измерений, является радарная система, просвечивающая дорожное покрытие, содержащая рупорную излучающую антенну, выходом связанную с покрытием автомобильной дороги, а входом – с выходом блока управления и обработки сигналов через последовательно включенные блок формирования временной диаграммы сигналов, вторым выходом подсоединенный к входу блока управления и обработки сигналов, блок синхронизации, второй вход формирователь тактового генератора, связан С выходом которого радиолокационных зондирующих импульсов, причем второй выход тактового генератора связан со вторым входом блока формирования временной диаграммы сигналов через делитель частоты, а третий выход тактового генератора связан с управляемой линией задержки, второй вход которой подключен ко второму выходу блока синхронизации, а также содержащее приемную рупорную антенну, входом связанную с покрытием автомобильной дороги, а выходом – со входом блока управления и обработки через последовательно подключенные малошумящий усилитель, устройство выборкихранения, ко второму входу которого подсоединен выход управляемой линии задержки, аналого-цифровой преобразователь, ко второму входу которого подсоединен третий выход тактового генератора, и блок памяти, второй вход которого подсоединен к третьему выходу блока формирования временной диаграммы сигналов [2].

Недостатком близкой по технической сущности радарной системы измерений является невозможность определения прочности каждого слоя покрытия автомобильной дороги.

сущности к заявляемому способу Наиболее близким по технической является георадарноакустический способ измерения прочности слоев покрытия автомобильной дороги, при котором измеряют скорости распространения акустических колебаний в каждом слое покрытия, для чего зондируют слои покрытий автомобильной дороги импульсными радиолокационными сигналами и измеряют времена $T_{P1},\ T_{P2},...,\ T_{Pn}$ распространения акустических волн от момента их формирования излучателем до момента фазоамплитудных флуктуаций радиолокационных сигналов, отраженных от каждой границы между вызванным СДВИГОМ фаз, соответствии вибрирующей CO слоями. распространением акустических волн от излучателя через слои контролируемого покрытия [3 - прототип способа].

Основным недостатком близкого по технической сущности способа является недостаточно высокая точность измерений как в стационарном режиме измерений, так и в процессе сканирования аппаратурным комплексом автомобильной дороги из-за трудно определяемых границ между слоями дорожных одежд по причине близких значений между слоями диэлектрической и магнитной проницаемостей, что не обеспечивает достаточно большого уровня отраженного радиолокационного сигнала. Это вызывает затруднение по определению скорости распространения акустических волн в слоях и, как следствие, недостаточно высокую точность измерения их прочности.

Целью предполагаемого изобретения является увеличение точности измерения прочности покрытий автомобильной дороги.

Указанная цель достигается тем, что в близком по технической сущности решении, основанном на измерении прочности слоев покрытия автомобильной дороги, при котором измеряют скорости распространения акустических колебаний в каждом слое покрытия, для чего зондируют слои покрытий автомобильной дороги импульсными радиолокационными сигналами и измеряют времена $T_{P1},\ T_{P2},\ldots,\ T_{Pn}$ распространения акустических волн от момента их формирования излучателем до момента фазоамплитудных флуктуаций радиолокационных сигналов, отраженных от каждой границы между слоями, вибрирующей в соответствии со сдвигом фаз, вызванным распространением

акустических волн от излучателя через слои контролируемого покрытия, для каждой конкретной контролируемой границы между слоями, устанавливают регулируют, определяют, радиолокационный сигнал, запоминают направление вектора поляризации зондирующего импульсного максимальному соответствующее радиолокационного сигнала, отраженного радиолокационного сигнала от конкретной контролируемой границы между слоями, затем во время распространения акустических колебаний перед достижением акустической волной соответствующей конкретной контролируемой границы между слоями дорожного покрытия воспроизводят и генерируют для этой границы зафиксированное значение вектора поляризации зондирующего соответствующего максимальному значению радиолокационного сигнала, отраженного радиолокационного сигнала от конкретной контролируемой границы и для установленных значений направления вектора поляризации для каждой границы между слоями путем выделения и регистрации амплитудно-фазовых флуктуаций радиолокационных сигналов, отраженных от каждой границы между слоями, измеряют точные времена распространения акустических волн в каждом слое дорожного покрытия и на основании полученных результатов для времен распространения акустических волн определяют скорости распространения акустических волн в первом, втором, третьем, ... и *п*-ом слоях покрытия:

$$\upsilon_{1} = \frac{l_{1}}{T_{P1}}; \ \upsilon_{2} = \frac{l_{2}}{T_{P2} - T_{P1}}; ...; \ \upsilon_{n} = \frac{l_{n}}{T_{Pn} - T_{Pn-1}},$$

где $\boldsymbol{l}_1,~\boldsymbol{l}_2,...,~\boldsymbol{l}_n$ - толщины каждого конкретного слоя, вычисленные по следующим формулам:

$$l_1 = \frac{c_0 t_1}{2\sqrt{\xi_1}}; \ l_2 = \frac{c_0 (t_2 - t_1)}{2\sqrt{\xi_2}}; ...; \ l_n = \frac{c_0 (t_n - t_{n-1})}{2\sqrt{\xi_n}},$$

где: c_{θ} - скорость распространения в вакууме электромагнитной волны;

 $t_1,\ t_2,\ ...,\ t_n$ - отметки времени, затраченного радиолокационным сигналом на его пути от момента времени излучения радиолокационного импульса до момента приема его отражения от каждой границы между слоями дорожного покрытия при установлении индивидуального для этой конкретной границы вектора поляризации, соответствующего максимальному значению отраженного радиолокационного сигнала от этой же контролируемой границы между слоями;

 $\xi_1,\ \xi_2,\ ...,\ \xi_n$ - величины диэлектрической проницаемости слоев;

причем по скоростям $v_1, v_2, ..., v_n$ устанавливают слои по их типам, по которым корректируют величины их диэлектрических проницаемостей, и определяют для слоев индивидуальные величины плотности $\rho_1, \rho_2, ..., \rho_n$, затем по полученным значениям плотности и уточненным значениям скоростей распространения акустических волн, скорректированных по диэлектрической проницаемости каждого слоя, оценивают значения модулей $E_1, E_2, ..., E_n$ упругости, по которым определяют прочность каждого конкретного слоя дорожного покрытия.

Конкретная физическая связь модулей упругости E_n со скоростями v_n распространения акустических волн и плотностями ρ_n контролируемых покрытий автомобильной дороги выражается известной формулой [3]:

$$E = \rho \cdot v^2. \tag{1}$$

Наиболее близким техническим решением, реализующим близкий по способ измерений, является устройство технической сущности осуществления способа, содержащее рупорную излучающую антенну, выходом связанную с покрытием автомобильной дороги, а входом – с выходом блока управления и обработки сигналов через последовательно включенные блок вторым выходом сигналов, временной диаграммы формирования подсоединенный к входу блока управления и обработки сигналов, блок синхронизации, второй вход которого связан с выходом тактового генератора, и формирователь радиолокационных зондирующих импульсов, причем второй выход тактового генератора связан со вторым входом блока формирования временной диаграммы сигналов через делитель частоты, а третий выход тактового генератора связан с управляемой линией задержки, второй вход которой подключен ко второму выходу блока синхронизации, а также содержащее приемную рупорную антенну, входом связанную с покрытием автомобильной дороги, а выходом - со входом блока управления и обработки через последовательно подключенные малошумящий усилитель, блок выборкихранения, ко второму входу которого подсоединен выход управляемой линии задержки, амплитудно-цифровой преобразователь, ко второму входу которого подсоединен третий выход тактового генератора, и блок памяти, второй вход которого подсоединен к третьему выходу блока формирования временной диаграммы сигналов [4 - прототип устройства].

Недостатком наиболее близкого известного устройства, реализующего близкий известный способ измерения, является недостаточно высокая точность измерений по причине малой различимости для радиолокационных сигналов границ слоев одежд дорожных покрытий, что не позволяет получить достаточно точное определение прочности слоев дорожных покрытий.

Основной задачей и целью, на решение которой направлено заявляемое техническое решение, является увеличение точности по определению прочности каждого слоя многослойного покрытия автомобильной дороги.

Для осуществления способа измерения в наиболее близком известном устройстве для осуществления способа, содержащем рупорную излучающую антенну, выходом связанную с покрытием автомобильной дороги, и содержащем блок управления и обработки сигналов, выходом подключенный через последовательно связанные блок формирования временной диаграммы сигналов, вторым выходом подсоединенный к входу блока управления и вход которого связан с обработки сигналов, блок синхронизации, второй радиолокационных формирователю К генератора, тактового выходом зондирующих импульсов, причем второй выход тактового генератора связан со вторым входом блока формирования временной диаграммы сигналов через делитель частоты, а третий выход тактового генератора связан с управляемой линией задержки, второй вход которой подключен ко второму выходу блока синхронизации, а также содержащее приемную рупорную антенну, входом связанную с покрытием автомобильной дороги, а выходом - с входом блока управления и обработки через последовательно включенные малошумящий входу которого второму КО выборки-хранения, устройство усилитель, аналого-цифровой задержки, управляемой линии выход подсоединен преобразователь, ко второму входу которого подсоединен третий выход тактового генератора, и блок памяти, второй вход которого подсоединен к третьему выходу блока формирования временной диаграммы сигналов, причём устройство содержит возбудитель акустических колебаний, вход которого связан с третьим выходом блока синхронизации через формирователь акустических сигналов возбуждения, а выход - с покрытием автомобильной дороги, и вторую рупорную приемную антенну, вход которой связан с покрытием автомобильной дороги, а выход – с третьим входом устройства выборки-хранения через второй малошумящий усилитель, в качестве рупорной излучающей антенны применена рупорная излучающая антенна с перестраиваемой поляризацией зондирующего

качестве формирователя радиолокационных радиолокационного сигнала, в радиолокационных формирователь применен зондирующих импульсов зондирующих импульсов с регулируемой амплитудой, а также применены последовательно включённые кодовый формирователь максимума амплитуды сигнала заданной полярности, входом подсоединенной ко второму выходу аналого-цифрового преобразователя, схема сравнения кодов, вторым и третьим входом подключённая ко второму выходу блока памяти и к четвёртому выходу блока формирования временной диаграммы сигналов, блок оптимизации максимального сигнала, формирователь сигналов управления и формирователь вектора поляризации, выходами связанный с входами рупорной излучающей антенны с управляемой поляризацией, причём второй вход формирователя вектора поляризации подсоединён ко второму выходу формирователя сигнала управления через коммутатор, вторым и третьим входами соответственно подключённый через повторитель и инвертор к выходам формирователя радиолокационных зондирующих импульсов с регулируемой амплитудой, вход управления которого связан с третьим выходом формирователя сигнала управления.

Решение поставленной задачи требует повышения разрешающей способности измерений по толщине слоев не хуже заданной величины h. Для этого ширина полосы частот излучаемой и приемной рупорных антенн устройства конструктивно выполнены равными:

$$\Delta f \ge \frac{c}{2h\sqrt{\xi_{\min}}},$$

где: c - скорость распространения электромагнитных волн в воздухе $(c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/c});$

 $\xi_{\it min}$ - диэлектрическая проницаемость слоя с минимальным её значением из слоев, составляющих покрытие автомобильной дороги.

Кроме того, повышение точности измерений, функционирование блока управления и обработки сигналов по функции измерения толщины h слоев реализуется по алгоритму:

$$h = \sqrt{\frac{b^2(t_n')^2 - a^2(t_n'')^2}{4[(t_n'')^2 - (t_n')^2]}},$$

где: a и b - базовые расстояния между центром излучающей антенны и центрами приемных антенн;

 $t_{n}^{'}$ и $t_{n}^{''}$ - измеренные времена распространения электромагнитных волн в соответствующих слоях.

Физическая сущность предлагаемого способа базируется на следующем.

Реализация способа основывается на комбинированном применении георадарного и акустического методов измерений, причем применяемая комбинация сочетает в себе положительные достоинства георадарного и акустического способов, что позволяет получить новый качественный результат по определению прочности покрытий автомобильной дороги. Функционирование предлагаемого георадарноакустического способа заключается в одновременном излучении в слои дорожных покрытий акустических импульсов и излучении коротких зондирующих радиоимпульсных сигналов с последующим приемом и слоев границами внутренними отраженных сигналов, детектированием дорожных покрытий. Способ позволяет измерять толщину каждого слоя покрытия и времена распространения акустических импульсов в каждом слое вычисляют скорость измерений основании Ha покрытий. дорожных распространения акустической волны в каждом слое покрытия. По результатам полученных вычислений определяют модуль упругости каждого слоя покрытия и оценивают его прочность.

Для увеличения точности сканируют, определяют и устанавливают оптимальный вектор поляризации зондирующего радиолокационного сигнала, при этом дополнительно регулируют уровень излучения электромагнитных слоями перед каждой контролируемой границы между импульсов для при ee акустической волны фронтом границы этой достижением распространении в слоях дорожных покрытий, что основывается на следующем.

СВОЮ одежды имеет дорожной слой покрытий Каждый индивидуальную характеристику физико-химических параметров, в том числе параметров, связанных с диэлектрической проницаемостью ξ и с магнитной проницаемостью μ . Соединение различных слоев дорожной одежды в общий каркас образует на границе слоев как градиент по различающимся физикоградиент соответствующий параметрам, так механическим диэлектрической и магнитной проницаемостям. При этом, как правило, градиент диэлектрической проницаемости ξ является более выраженным. В целом эти обнаруживаются хорошо проницаемостей скачки или градиенты условии, при электромагнитной волной распространяющейся диэлектрическая и магнитная проницаемости при переходе электромагнитной волной границы слоев меняют свой знак, - тогда электромагнитная волна хорошо отражается и граница слоев хорошо фиксируется. Но может быть такая ситуация и это наиболее распространенная реальность, что при переходе, например, от более верхнего слоя к более нижнему слою диэлектрическая проницаемость не уменьшается, а увеличивается. В этом случае полярность фазы отраженного сигнала не меняется, а происходит только некоторое частичное отражение сигнала от границы слоев с небольшим отраженным значением амплитуды. В этом случае распознавание отраженного сигнала становится затруднительным. Для увеличения степени отражения электромагнитного сигнала от подобных границ слоев, адекватных упомянутой границе слоев, то есть для устранения недостатка прототипа и направлено предлагаемое техническое решение.

В плане изложения физической сущности предложенного способа следует выделить исходные положения, базирующиеся на том, что градиенты как магнитной, так и диэлектрической проницаемостей имеют пространственную ориентацию. Это вызвано физической ориентацией диполей материала дорожных покрытий во внешних электрическом и магнитном полях во время строительства и сооружения покрытий, в том числе физической ориентацией диполей под воздействием как магнитного поля Земли, так и случайными воздействиями внешних электрических полей. Кроме того, имеет место влияние изменения структуры материала покрытия и связь ориентации диполей этой структуры с направлением и способом укладки во время производства работ. С позиций теоретического обоснования импеданс того или другого слоя для электромагнитной волны разной поляризации является разным, что обусловлено пространственной анизотропией материала слоя, описываемого тензором диэлектрической (магнитной) проницаемости [5].

Следует также отметить возникновение на границах слоёв контактной разности потенциалов и возникновение взаимной магнитной ориентации между слоями, что также имеет векторную направленность и влияет на степень зависимости В волны. Поэтому электромагнитной отражения пространственной ориентации магнитной и диэлектрической проницаемостей поляризации направлению покрытий к материалов диполей электромагнитной волны имеет место разная степень отражения последней. Для получения положительного свойства функционирования измерений в плане обеспечения хорошей отражательной способности границ между слоями в предлагаемом способе устанавливают направление поляризации излучаемой электромагнитной волны по отношению к каждой границе между слоями дорожных одежд. Указанное изменение направления поляризации осуществляют мгновенно перед прохождением этой границы акустической волной, причём для каждой границы между слоями устанавливают свой индивидуальный вектор поляризации. Для качественного выделения скачка диэлектрической проницаемости в процессе измерений предварительно осуществляют точный подбор направления вектора поляризации по установлению максимального уровня отражения радиолокационного сигнала от контролируемой границы между слоями.

Таким образом, при реализации способа направление вектора поляризации для обнаруживаемой и контролируемой границы между слоями дорожных одежд является всегда оптимальным.

Это достигается тем, что в момент образования отраженной волны от контролируемой границы слоев все предыдущие верхние границы слоев дорожных одежд по углу поляризации являются неоптимальными. Благодаря этому электромагнитная волна хорошо проходит верхние слои дорожных покрытий, а для каждой контролируемой границы слоев к моменту прохождения акустической волны обеспечивается оптимальное функционирование по максимуму отражения радиолокационной волны. Дополнительное выравнивание амплитуд отраженных от границ различных слоев радиолокационных сигналов достигают быстродействующей установкой уровня излучения электромагнитных импульсов индивидуально для каждой контролируемой границы между слоями дорожных одежд. Эти отличительные признаки обеспечивают существенный положительный эффект, заключающийся в повышении точности измерений по сравнению с прототипом.

Следовательно, в динамическом режиме во время распространения акустической волны достигается и обеспечивается хороший уровень отраженных от границ слоев радиолокационных сигналов, что позволяет проводить четкое детектирование и точное выделение фазоамплитудных флуктуаций отраженных от каждой границы слоя радиолокационных сигналов. Благодаря этому обеспечивается получение точных результатов по измерению скорости распространения акустических волн в слоях дорожных одежд, что обеспечивает, в свою очередь, получение высокой точности по определению прочности покрытий автомобильной дороги. В этом и заключается существенное преимущество предложенного способа измерений перед прототипом.

Проведенные экспериментальные исследования и полученные результаты в процессе реализации способа показали, что методика строительства дорог, в укладка слоев дорожных покрытий, всегда имеет свои числе индивидуальные особенности, которые зависят от физико-химического состава напряженности атмосферных условий, покрытий, OT **УКЛАДЫВАЕМЫХ** направления внешних магнитных и электрических полей, сопутствующей Указанные особенности фиксируются фактически И вибрации т.п. через пространственную ориентацию диполей материалов запоминаются покрытий. Выделение этих особенностей путём повышения различимости границ между слоями дорожных одежд достигается как быстродействующей адресной слоёв, каждой границы вектора поляризации для установкой быстродействующей установкой уровня излучения электромагнитных импульсов в динамическом процессе распространения акустических волн и служит реализации предложенного способа измерений.

реализующего устройства, приведена блок-схема Ha фигуре 1 предложенный способ измерений. На фигуре 2 приведен вид радарограммы. Фигура 3 показывает выделенный участок автомобильной дороги с шестью слоями дорожных одежд. Функциональная схема георадарного измерителя применительно к определению толщины двух верхних слоев приведена на В радиосигналов распространения Временная диаграмма фигуре 4. многослойной среде дорожного покрытия представлена на фигуре 5.

В соответствии с предложенным техническим решением устройство, реализующее георадарноакустический способ измерения прочности покрытий автомобильной дороги, содержит (см. фигуру 1) рупорную излучающую антенну 1, выходом связанную с покрытием 2 автомобильной дороги, и содержащее блок выходом подключенный обработки сигналов, управления последовательно связанные блок 4 формирования временной диаграммы сигналов, вторым выходом подсоединенный к входу блока 3 управления и обработки сигналов, блок 5 синхронизации, второй вход которого связан с выходом тактового генератора 6, к формирователю 7 радиолокационных зондирующих импульсов, причем второй выход тактового генератора 6 связан со вторым входом блока 4 формирования временной диаграммы сигналов через делитель 8 частоты, а третий выход тактового генератора 6 связан с управляемой линией 9 задержки, второй вход которой подключен ко второму выходу блока 5 синхронизации, а также содержащее приемную рупорную антенну 10, входом связанную с покрытием 2 автомобильной дороги, а выходом с входом блока 3 управления и обработки через последовательно включенные малошумящий усилитель 11, устройство 12 выборки-хранения, ко второму входу которого подсоединен выход управляемой линии 9 задержки, аналого-цифровой преобразователь 13, ко второму входу которого подсоединен третий выход тактового генератора 6, и блок 14 памяти, второй вход которого подсоединен к третьему выходу блока 4 формирования временной диаграммы сигналов, содержит возбудитель 15 акустических колебаний, вход причём устройство синхронизации выходом блока 5 третьим которого связан формирователь 16 акустических сигналов возбуждения, а выход – с покрытием 2 автомобильной дороги, и вторую рупорную приемную антенну 17, вход которой связан с покрытием 2 автомобильной дороги, а выход – с третьим входом устройства 12 выборки-хранения через второй малошумящий усилитель 18, причём в качестве рупорной излучающей антенны 1 применена рупорная излучающая антенна 1 с перестраиваемой поляризацией зондирующего радиолокационного сигнала, в качестве формирователя 7 радиолокационных импульсов применен формирователь 7 радиолокационных зондирующих зондирующих импульсов с регулируемой амплитудой, а также применены максимума 19 формирователь кодовый включённые последовательно амплитуды сигнала заданной полярности, входом подсоединенной ко второму выходу аналого-цифрового преобразователя 13, схема 20 сравнения кодов, вторым и третьим входом соответственно подключённая ко второму выходу блока 14 памяти и к четвёртому выходу блока 4 формирования временной максимального оптимизации 21 сигналов, блок диаграммы 22 сигналов управления и формирователь 23 вектора формирователь поляризации, выходами связанный со входами рупорной излучающей антенны 1 с управляемой поляризацией, причём второй вход формирователя 23 вектора поляризации подсоединён ко второму выходу формирователю 22 сигнала управления через коммутатор 24, вторым и третьим входами соответственно подключённый через повторитель 25 и инвертор 26 к выходам формирователя 7 радиолокационных зондирующих импульсов с регулируемой амплитудой, вход управления которого связан с третьим выходом формирователя 22 сигнала управления.

Функционирует устройство следующим образом.

Общее управление осуществляет блок 3 управления и обработки сигналов, посылая команду «Старт» в формирователь 4 временной диаграммы сигналов. Формирователь 4 инициирует каждый цикл измерения, который заключается в излучении зондирующего радиолокационного сигнала s(t) и последующей регистрации в цифровом виде отражённого от слоев дорожных одежд радиолокационного сигнала v(t). Получив команду «Старт», формирователь 4 посредством импульсов делителя 8 частоты формирует синхроимпульс цикла, который поступает на блок 5 синхронизации. Работа блока 5 синхронизирована с сигналом тактового генератора 6, импульсы которого поступают также на тактовый вход аналого-цифрового преобразователя 13 и на второй вход, управляемый линией 9 задержки, определяя этим моменты дискретизации сигнала v(t). Получив сигнал синхроимпульса цикла, блок 5 синхронизации формирует синхроимпульс, который имеет высокую заданную стабильность и привязку к опорным импульсам тактового генератора 6. Синхроимпульс блока 5 радиолокационных формирователя 7 схему возбуждает импульсов, выходной сигнал которого усиливается в формирователе 7 и излучается передающей (излучающей) антенной 1 во внутренние слои дорожной конструкции 2.

Отраженный от внутренних слоев покрытия 2 автомобильной дороги, сигнал v(t) воспринимается приемной антенной 10, усиливается малошумящим усилителем 11 и поступает на вход блока 12 выборки-хранения. Блок 12 выборки-хранения запоминает мгновенную величину v(t) по тактовому синхросигналу, поступающему с блока 5 синхронизации через управляемую линию 9 задержки, и преобразователь 13 осуществляет аналого-цифровое преобразование сдвинутой по времени мгновенной величины v(t). Сдвиг по времени v(t) равен времени задержки тактового импульса в управляемой линии 9 задержки. Полученные цифровые коды с выхода преобразователя 13 вместе с сопровождающим синхроимпульсом подаются в блок 14 памяти. В своем составе блок 14 непосредственно содержит быстродействующие микросхемы памяти.

В блок 14 памяти поступает также импульс с формирователя 4 временной диаграммы сигналов. Этот импульс фактически означает начало цикла и по перепаду этого импульса блок 14 памяти записывает в память N кодовых выборок результатов измерений, поступающих с аналого-цифрового преобразователя 13, и после этого процесс записи прекращается. Для увеличения быстродействия число N загружается в схему управления на

предварительном этапе автоматической настройки устройства, что определяет диапазон его измерений. Хранящиеся в блоке 14 памяти результаты измерений считываются и передаются по командному импульсу формирователя 4 временной диаграммы в блок 3 управления и обработки сигналов. На этом цикл измерений и сбора полученных данных измерений завершается.

Особенность устройства, реализующего предложенный способ, состоит в том, что радиолокационный зондирующий сигнал является широкополосным сигналом с относительно малой длительностью и требуется достаточно высокая частота дискретизации. Проблема решается применением стробоскопического метода. Реализуется это с помощью управляемой линии 9 задержки, которая программно по командам блока 5 синхронизации с помощью требуемого выделенного и задержанного импульса тактового генератора 6 формирует и пропускает этот импульс, плавно по программе задерживая его в необходимых пределах в соответствии с повторяющимися циклами измерений. Диапазон перестройки управляемой линии 9 задержки равен периоду тактового сигнала генератора 6, а величина дискретного шага перестройки определяет эффективный период дискретизации сигнала v(t).

В результате получается преобразованный сигнал, который возможно точно сформировать и измерить, а также возможно провести его накопление и точность самым тем обработку. повысив статистическую измерений инерционность исследований. Малая георадарноакустических достигается посредством применения быстродействующего аналого-цифрового преобразователя 13 таким образом, чтобы не влиять на точность регистрации акустических сигналов, достигших при распространении одного или другого слоя дорожной одежды.

Для определения модуля упругости E с использованием устройства, реализующего предложенный способ измерений, в каждом слое дорожной одежды измеряется скорость v распространения акустических волн. Для этого посредством радиолокационного зондирования определяются толщины I_1 , I_2 , ..., I_n каждого слоя и измеряются время распространения T_P акустических волн в каждом слое.

Исходя из этого, основная последовательность реализации алгоритма измерений предложенного способа следующая:

а) В реальном масштабе времени последовательно в каждой точке измерений с большой частотой аналого-цифрового преобразования (до

40×106 выборок в секунду) регистрируют трассу георадарнолокационного сигнала. Эти трассы накапливают по мгновенным текущим измерениям в памяти блока 14 памяти, а по полным циклам измерений в памяти блока 3 в виде радарограммы, которая представляется в соответствующем окне отображения информации. Вид радарограммы приведен на фигуре 2, где z – горизонтальная координата по поверхности автомобильной дороги; h - координата глубины, определяемая временем t распространения радиолокационного сигнала с поправкой на диэлектрическую проницаемость ξ.

В соответствие с настройкой уровней отраженных от границ слоев дорожных одежд сигналов, на шкале радарограммы блоком 3 управления и обработки сигналов программно формируются отметки времени $t_1, t_2, ..., t_n$, соответствующие указанным границам слоев дорожных одежд. По полученным отметкам определяются толщины $l_1, l_2, ..., l_n$ слоев дорожных одежд:

$$l_1 = \frac{c_0 t_1}{2\sqrt{\xi_1}}; \ l_2 = \frac{c_0 (t_2 - t_1)}{2\sqrt{\xi_2}}; \dots; \ l_n = \frac{c_0 (t_n - t_{n-1})}{2\sqrt{\xi_n}}. \tag{2}$$

Переходы светлого поля к темному полю на фигуре 2 соответствуют отражениям радиолокационных сигналов от границ слоев дорожных одежд и по этим границам измеряются и программно формируются отметки времён t_1 , t_2 , ..., t_n .

b) После определения выделенных точек слоев дорожных одежд, устройство, реализующее предложенный способ измерений, посредством блока 3 управления и обработки сигналов переводится в режим анализа изменений амплитуды сигнала в каждой выделенной точке. Временное детектирование (или выделение во времени изменений сигнала) соответствует временам T_P распространения акустических волн в каждом контролируемом слое. На основании такого детектирования получают численные значения времен распространения акустических волн, которые представляются в виде:

$$T_{P1} = \frac{l_1}{v_1}; \ T_{P2} = \frac{l_2}{v_2} + T_{P1}; \dots; T_{Pn} = \frac{l_n}{v_n} + T_{Pn-1}. \tag{3}$$

В формулах (3) величины v_1 , v_2 ,..., v_n представляют собой скорости распространения акустических волн в первом, втором или n-ом слое дорожной одежды.

c) На основании полученных результатов временных измерений вычисляются скорости распространения акустических волн в первом, втором, третьем и *n*-ом слоях:

$$v_1 = \frac{l_1}{T_{PI}}; \ v_2 = \frac{l_2}{T_{P2} - T_{PI}}; \dots; \ v_n = \frac{l_n}{T_{Pn} - T_{Pn-I}}.$$
 (4)

d) Временное детектирование или выделение во времени изменений амплитуды сигнала в каждой выделенной точке не может реализовываться быстрее, чем длительность периода каждого зондирующего радиолокационного импульса. При частоте повторений сформированных зондирующих импульсов, равной $F_{30H}=40$ МГц, дискретность $\tau_{u_{3M}}$ равна:

$$\tau_{_{U3M}} = \frac{1}{F_{_{30H0}}} = \frac{10^{-6}}{40} = 2.5 \cdot 10^{-8} = 25 \text{ (HC)}.$$
 (5)

На основании (5) погрешность измерений $oldsymbol{arDelta}_{r}$ равна:

$$\Delta_{\tau} = \frac{\tau_{u_{3M}}}{T_P} \cdot 100 \%. \tag{6}$$

Формула (6) определяет погрешность предложенного способа и устройства для его осуществления. Эта погрешность ограничивает, как будет показано ниже, точность вычисления значений времени T_P распространения и скорости v распространения на уровне не более одной десятой процента, что является достаточным для получения высокой точности измерений.

е) После проведения измерений времени T_P распространения акустических волн и вычислений по уравнениям (4) скорости v_1 , v_2 ,..., v_n распространения акустических волн определяется вид слоя и, соответственно, в памяти блока 3 управления и обработки сигналов определяется и фиксируется более точная измеренная величина ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 , ..., ξ_n для каждого слоя.

Далее циклически реализуется следующий алгоритм (см. выше пункты а, b, и с и формулу (1)):

a)
$$\rightarrow$$
 b) \rightarrow c) \rightarrow [формула (1)].

Более подробно реализация этого алгоритма следующая: по формулам (2) в соответствии с измеренными или табличными величинами $\xi_1,\ \xi_2,\ \xi_3,\ \dots,\xi_n$ для каждого слоя уточняются величины $I_1,\ I_2,\dots,\ I_n$. Затем по уточненным величинам толщины слоев вычисляются по формулам (4) более точные значения скоростей $v_1,\ v_2,\dots,\ v_n$ распространения акустических волн. По этим значениям в соответствии с формулой (1) находятся более точные значения $E_1,\ E_2,\ \dots,\ E_n$ модулей упругости, связанных, в свою очередь, с прочностью материалов слоев дорожных одежд.

На фигуре 3 представлен пример участка автомобильной дороги с шестью слоями дорожных одежд среднего качества, который состоит из слоя 1 плотного асфальтобетона толщиной 5 см, слоя 2 плотного асфальтобетона толщиной 5 см, слоя 3 пористого асфальтобетона толщиной 15 см, слоя 4 щебня толщиной 30 см, слоя 5 песка толщиной 20 см, слоя 6 суглинка толщиной 20 см. Справа вертикальной линией с направлением вниз показаны отметки времени t_{01} , t_{12} , t_{23} , t_{34} , t_{45} , t_{56} , соответствующие моментам отражения радиолокационных сигналов от границ слоев

Геометрические и физические параметры рассматриваемого участка приведены в таблице 1, в которой приведены также величины скорости v распространения акустических волн в каждом измеряемом слое автомобильной дороги.

Таблица 1 Характеристики строительных материалов дорожных одежд

Название слоя	Плотность Р, кг/м ³	Модуль упругости Е, [МПа]	Скорость акустической волны v, [м/с]
Плотный асфальтобетон	2400	4500	1369
Пористый асфальтобетон	2300	2800	1103
Щебень фракционированный	1800	350-450	471
Песок средней крупности	1950	120	248
Суглинок тяжелый	2000	50	158

Из таблицы 1 можно определить, что отношения скоростей **v** распространения акустических волн в слоях достаточно в хорошем приближении пропорциональны корню квадратному из отношений модулей упругости слоев. Это говорит о хорошей взаимосвязи скорости **v**

распространения акустических волн с модулем Е упругости, который в свою очередь связан с прочностью материалов.

Таблица 2. Расчетные соотношения времени T_P распространения акустических волн и времени t распространения электромагнитных волн

akyotii lookiin 2000.	T	Время	Время	
Название слоя	Толщина слоя (см)	распространени я акустической волны <i>Т_Р</i> , мкс	распространения	Погрешность Δau , %
Плотный асфальтобетон	5	36,5	0,75	0,068
Пористый асфальтобетон	15	135,9	2,25	0,02
Щебень	30	636,9	4,5	0,004
фракционированный Песок средней	20	806,4	3,0	0,003
крупности Суглинок тяжелый	15	949,3	2,25	0,0025

времени соотношения расчетные приведены В таблице 2 распространения t времени И волн акустических распространения электромагнитных волн для приведенных слоев дорожных одежд и приведена оценка погрешностей дискретизации измеряемых сигналов в предложенном способе измерений и устройстве для его осуществления. Погрешность измерений составляет величину меньше 0,1 %, что является приемлемым для получения высокой точности измерений.

Для решения задачи повышения разрешающей способности измерений по толщине слоев не хуже заданной величины h, ширина полосы частот Δf реализующего устройства, антенн рупорных приемной излучаемой предложенный способ измерений, рассчитана в соответствии с необходимостью получения заданного быстродействия устройства для измерения малых толщин. распознавания обработки теории ИЗ следует требование Это базирующейся как на прямом и обратном радиолокационных сигналов, преобразованиях Фурье, так и на получении соответствующего разрешения по дальности объектов, обнаруживаемых радиолокационным зондированием [6]. Из теории следует, что потенциальная разрешающая способность радиолокатора по дальности δD_{nom} , что в нашем случае соответствует толщине слоя h, не может быть лучше:

$$\delta D_{nom} \ge c \cdot \tau_u / 2, \tag{7}$$

где $\,c\,$ - скорость распространения электромагнитной волны в воздухе.

При оптимальной обработке сигналов ширина спектра $\Delta f = 1/\tau_u$, а скорость распространения электромагнитных волн в слоях дорожных одежд равна: $c_{cn} = c/\sqrt{\xi}$. Следовательно, на основании выражения (7) для наихудшего варианта слоя с минимальной диэлектрической проницаемостью ξ_{min} получаем:

$$\Delta f \ge \frac{c}{2h\sqrt{\xi_{min}}}.$$
 (8)

Поэтому ширина полосы частот излучаемой и приемной рупорных антенн конструктивно выполнена в соответствии с уравнением (8).

Важной особенностью устройства, реализующего предложенный способ измерений, является применение двухканальной системы измерений - одна излучающая рупорная антенна 1 и две приемные 10 и 17, разнесенные на разные фиксированные расстояния от излучающей. Это позволяет измерять и вычислять диэлектрическую проницаемость ξ контролируемых слоев и, соответственно, получать повышенную точность измерений. Вычисление диэлектрической проницаемости каждого слоя проводится с помощью блока 3 управления и обработки сигналов в соответствии со схемой распространения радиосигнала в многослойной среде (фигура 4).

Измерительным прибором (ИП), фактически представляющим собой заявляемое устройство в соответствии с фигурой 1, измеряют время распространения радиоимпульса, равное:

$$T_I = \Delta \tau_{\Sigma} + t_I, \tag{9}$$

где: Δau_{Σ} - суммарное время задержки сигнала в электронной схеме прибора, соединительных кабелях, приёмоизлучающих антеннах; в зазоре между каждой из антенн и покрытием автомобильной дороги;

 t_{I} - время распространения сигнала в первом асфальтобетонном слое.

Толщину первого слоя h_1 определяют по траектории: антенна 1 – граница слоев – антенна 10.

$$h_{l} = \tau_{P} \cdot c_{I}$$
. При a=0 имеем $\tau_{P} = \frac{t_{I}}{2}$. При a=const: $l = \sqrt{\frac{a^{2}}{4} + h_{I}^{2}}$. (10)

Полная измерительная база по первому слою равна:

$$l_{1\Sigma} = 2l_1 = 2\sqrt{\frac{a^2}{4} + {h_1}^2}$$
,

тогда скорость c_1 электромагнитной волны в первом слое равна:

$$c_{I} = \frac{l_{I\Sigma}}{t_{I}} = \frac{2\sqrt{\frac{a^{2}}{4} + h_{I}^{2}}}{t_{I}}.$$
 (11)

В соответствии с предложенным техническим решением к электронной схеме прибора ИП периодически подключается приемник 2 или приемник 3 (см. фигуру 4). Применительно к фигуре 1 блок 12 выборки-хранения периодически подключает к схеме измерения приемник 10 или приемник 17 через малошумящие усилители 11 или 18. В этом случае фактически организуют два канала измерений с базовым расстоянием a и базовым расстоянием b.

Обозначим через $t^{'}{}_{I}$ - время распространения радиолокационного сигнала по базе $l_{I\Sigma}$, а через $t^{''}{}_{I}$ - время распространения по базе $l_{2\Sigma}$, тогда в соответствии с выражениями (10) и (11) относительно скорости распространения электромагнитной волны с учетом компенсации задержки Δt_{Σ} в соответствии с уравнением (9) можно записать систему двух уравнений:

$$c_{1}^{2} = \frac{a^{2} + 4h_{1}^{2}}{(t'_{1})^{2}};$$

$$c_{1}^{2} = \frac{b^{2} + 4h_{1}^{2}}{(t''_{1})^{2}};$$
(12)

Систему уравнений (12) возможно однозначно разрешить относительно толщины слоя \boldsymbol{h}_{t} :

$$\frac{a^{2} + 4h_{1}^{2}}{(t'_{1})^{2}} = \frac{b^{2} + 4h_{1}^{2}}{(t''_{1})^{2}};$$

$$(t''_{1})^{2}(A^{2} + 4h_{1}^{2}) = (t'_{1})^{2}(b^{2} + 4h_{1}^{2});$$

$$a^{2}(t''_{1})^{2} + 4h_{1}^{2}(t''_{1})^{2} = b^{2}(t''_{1})^{2} + 4h_{1}^{2}(t'_{1})^{2};$$

$$4h_{1}^{2}[(t''_{1})^{2} - (t'_{1})^{2}] = b^{2}(t'_{1})^{2} - a^{2}(t''_{1})^{2};$$

$$h_{I} = \sqrt{\frac{b^{2}(t_{I}^{'})^{2} - a^{2}(t_{I}^{"})^{2}}{4[(t_{I}^{"})^{2} - (t_{I}^{'})^{2}]}}.$$
(13)

Уравнение (13) однозначно определяет толщину h_{i} слоя и не зависит от скорости c распространения электромагнитной волны, и, следовательно, не зависит ни от диэлектрической проницаемости среды ϵ и ни от тангенса угла диэлектрических потерь, т.е. затухания электромагнитной волны в среде.

Аналогично можно получить систему уравнений для произвольного п-го

слоя дорожных покрытий:
$$h_n = \sqrt{\frac{b^2(t_n')^2 - a^2(t_n'')^2}{4[(t_n'')^2 - (t_n')^2]}},$$
 (14)

где $t_n^{'}$, $t_n^{''}$ - времена распространения электромагнитных волн в соответствующих слоях.

На фигуре 5а) показано, что принятые отраженные от слоев дорожных одежд электромагнитные сигналы имеют не только различающуюся амплитуду, но и различную начальную фазу, что видно, например, из сравнения начальных фаз для промежутков времени t_{34} и t_{45} . Это обусловлено различными физико-химическими свойствами соседних слоев дорожных одежд, вызывающими различные взаимные диэлектрические свойства дорожных одежд. Организация функционирования устройства с применением быстродействующей индивидуальной установки вектора поляризации для каждой границы между слоями позволяет выделить отраженные радиолокационные сигналы с достаточно хорошим отношением сигнал/помеха (см. фигуру 5б).

На основании логического сравнения поступающих кодов с формирователя 19 амплитуд и с блока 14 памяти схема 20 сравнения кодов вырабатывает кодовый сигнал рассогласования для каждого текущего значения времени t_{01} , t_{12} , t_{23} , t_{34} , t_{45} распространения электромагнитного сигнала, связанного с каждой отражающей границей между слоями дорожных одежд. Блок 21 оптимизации сигнала игнорирует слабые сигналы, которые не связаны со слоями дорожных одежд (промежуток времени t_{12}) и обеспечивает некоторое плавное усредненное изменение всех кодов от поступления последовательности отраженных импульсов как результата излучения каждого зондирующего радиолокационного импульса. С точки зрения протекающих процессов блок 21 оптимизации также обеспечивает некоторую заданную инерционность регулирования по каждому принятому отраженному сигналу, что необходимо во избежание колебательного процесса по цепи обратной связи. По кодовым сигналам блока 21 оптимизации

формирователь 22 вырабатывает аналоговые сигналы для управления формирователя 7 (см. фигуру 5в), формирователя вектора 23 поляризации и импульсы переключения коммутатора 24 (см. фигуру 5г). последовательности функционирования посредством блока 21 оптимизации, связке C аналоговых сигналов формирователя 22 посредством формирователем 7, а также формирователя 23 вектора поляризации с работой коммутатора 24 позволяют обеспечить быстродействующую адресную установку индивидуального вектора поляризации. Эта установка осуществляется в моменты времени t'_{01} , t'_{23} , t'_{34} , t'_{45} . Указанные моменты времени предшествуют моментам времени $t_{01},\ t_{23},\ t_{34},\ t_{45}$ на время $m{ au}$, что необходимо для устранения влияния переходных процессов для каждой границы слоев дорожного покрытия. поляризации установкой вектора быстродействующей Наряду функционирование указанных блоков 21 - 24 и блока 7 позволяет также обеспечить быстродействующую установку уровня излучения электромагнитных импульсов для каждой границы слоев перед достижением этой границы фронта акустической волны. Это позволяет получить хороший окончательный результат по отраженным радиолокационным сигналам (см. фиг.5д), что, в свою очередь, способствует получению высокой чувствительности и точности детектирования времен приема акустических волн в соответствии с вышеприведенными уравнениями (3). Итоговый результат функционирования указанных блоков способствует определению скорости распространения акустической волны в каждом слое дорожного покрытия в соответствии с уравнениями (4) и позволяет получить высокую точность измерения прочности каждого слоя дорожного покрытия в соответствии с уравнением (1).

Комбинация применения быстродействующей индивидуальной установки вектора поляризации для каждой границы между слоями с индивидуальной быстродействующей установкой уровня излучения электромагнитных импульсов для каждой границы позволяет получить значительное увеличение точности измерений.

Следовательно, осуществление георадарноакустического способа измерения прочности слоев покрытия автомобильной дороги, при котором измеряют скорости распространения акустических колебаний в каждом слое покрытия, для чего зондируют слои покрытий автомобильной дороги импульсными радиолокационными сигналами и измеряют времена $T_{p_1}, T_{p_2},...,$

распространения акустических волн от момента их формирования излучателем до момента фазоамплитудных флуктуаций радиолокационных сигналов, отраженных от каждой границы между слоями, вибрирующей в соответствии со сдвигом фаз, вызванным распространением акустических волн от излучателя через слои контролируемого покрытия, затем для каждой отражающей между контролируемой границы конкретной регулируют, устанавливают определяют, радиолокационный сигнал, запоминают направление вектора поляризации зондирующего импульсного радиолокационного сигнала, соответствующее максимальному отраженного радиолокационного сигнала от конкретной контролируемой границы между слоями, затем во время распространения акустических колебаний перед достижением акустической волной соответствующей конкретной контролируемой границы между слоями дорожного покрытия воспроизводят и генерируют для этой границы зафиксированное значение вектора поляризации зондирующего радиолокационного сигнала, соответствующего максимальному значению отраженного радиолокационного сигнала от конкретной контролируемой границы и для установленных значений направления вектора поляризации для каждой границы между слоями путем выделения и регистрации амплитудно-фазовых флуктуаций радиолокационных сигналов, отраженных от каждой границы между слоями, измеряют точные времена распространения акустических волн в каждом слое дорожного покрытия и на основании полученных результатов для времен распространения акустических волн определяют скорости распространения акустических волн в первом, втором, третьем, ... и *п*-ом слоях покрытия:

$$\upsilon_{l} = \frac{l_{1}}{T_{P1}}; \ \upsilon_{2} = \frac{l_{2}}{T_{P2} - T_{P1}}; ...; \ \upsilon_{n} = \frac{l_{n}}{T_{Pn} - T_{Pn-1}},$$

где $l_1,\ l_2,...,\ l_n$ - толщины каждого конкретного слоя, вычисленные по следующим формулам:

$$l_1 = \frac{c_0 t_1}{2\sqrt{\xi_1}}; \ l_2 = \frac{c_0 (t_2 - t_1)}{2\sqrt{\xi_2}}; \dots; \ l_n = \frac{c_0 (t_n - t_{n-1})}{2\sqrt{\xi_n}},$$

где: $c_{\it{0}}$ - скорость распространения в вакууме электромагнитной волны;

 $t_1,\ t_2,\ ...,\ t_n$ - отметки времени, затраченного радиолокационным сигналом на его пути от момента времени излучения радиолокационного импульса до момента приема его отражения от каждой границы между слоями

дорожного покрытия при установлении индивидуального для этой конкретной границы вектора поляризации, соответствующего максимальному значению отраженного радиолокационного сигнала от этой же контролируемой границы между слоями;

 $\xi_1,\ \xi_2,\ ...,\ \xi_n$ - величины диэлектрической проницаемости слоев;

причем по скоростям $v_{\scriptscriptstyle 1},\ v_{\scriptscriptstyle 2},...,\ v_{\scriptscriptstyle n}$ устанавливают слои по их типам, по которым корректируют величины их диэлектрических проницаемостей, и определяют для слоев индивидуальные величины плотности $\rho_1,\ \rho_2,...,\ \rho_n$, затем по полученным значениям скоростей распространения акустических волн, скорректированных по диэлектрической проницаемости каждого слоя, оценивают значения модулей $E_{1},\ E_{2},...,\ E_{n}$ упругости, по которым определяют прочность каждого конкретного слоя дорожного покрытия, осуществление дополнительного способа измерения прочности покрытия автомобильной дороги, заключающегося в том, что дополнительно выравнивают амплитуды радиолокационных сигналов, отраженных от границ слоев, путем быстродействующей установки уровня излучения электромагнитных импульсов индивидуально для каждой конкретной контролируемой границы между слоями перед достижением этой границы а также осуществление способа в виде фронта акустической волны, конкретного устройства позволило получить положительный результат и подтвердить работоспособность способа и устройства для его осуществления.

Результаты анализа и оценок погрешностей показывают, что предложенный георадарноакустический способ измерений прочности покрытий автомобильных дорог, устройство для его осуществления и алгоритмы измерений, реализующие предложенный способ и устройство, позволяют получить результаты, удовлетворяющие требованиям современного технического решения.

Источники информации

- 1 Ботаки А.А. и др., Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов / М.: Машиностроение, 1983, 210 с.
- 2 Патент USA № 5 835 053, МПК: G01S 13/04; G01V 3/12, опубликован 10.11.1998
- 3 Charnabai, Ivan. Georadar vibration-acoustic technology for express-control of road pavement strength and results of its application /Zhongyu Li, Yury Aliakseyeu,

Qing Zhang, Algimantas Bubulis, Vladimir Minchenya, Jicun Shi,
Anatoly Romanov, Aliaksandr Khadasevich, Ivan Charnabai // journal of
measurements in engineering. - 2019, march. - volume 7, ISSUE 1, p. 20 - 33

- 4. Чернобай, И.А. Метод и аппаратура компенсации динамических погрешностей георадарноакустческих измерений прочности дорожных покрытий / И.А. Чернобай, А.И. Ходасевич, А.Ф. Романов // Неразрушающий контроль и диагностика: научн.-практич. журнал. Минск, 2017. № 4. С.16-33.
- 5. Никольский, В.В. Электродинамика и распространение радиоволн / Москва: «Наука». 1978, 540 с.
- 6. Финкельштейн, М.И. Основы радиолокации / Москва: Советское радио. 1983, 495 с.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Георадарноакустический способ измерения прочности слоев покрытия автомобильной дороги, при котором измеряют скорости распространения акустических колебаний в каждом слое покрытия, покрытий автомобильной дороги слои зондируют чего ДЛЯ импульсными радиолокационными сигналами и измеряют времена $T_{\it P1},\ T_{\it P2},\ldots,\ T_{\it Pn}$ распространения акустических волн от момента их фазоамплитудных момента излучателем ДО формирования флуктуаций радиолокационных сигналов, отраженных от каждой границы между слоями, вибрирующей в соответствии со сдвигом фаз, вызванным распространением акустических волн от излучателя через слои контролируемого покрытия, отличающийся тем, что для слоями, контролируемой между границы конкретной каждой отражающей радиолокационный сигнал, определяют, регулируют, запоминают направление вектора поляризации устанавливают и радиолокационного сигнала, импульсного зондирующего отраженного значению максимальному соответствующее радиолокационного сигнала от конкретной контролируемой границы между слоями, затем во время распространения акустических колебаний перед достижением акустической волной соответствующей контролируемой границы между слоями дорожного конкретной границы этой генерируют для воспроизводят покрытия значение вектора поляризации зондирующего зафиксированное максимальному соответствующего радиолокационного сигнала, значению отраженного радиолокационного сигнала от конкретной контролируемой границы и для установленных значений направления вектора поляризации для каждой границы между слоями путем флуктуаций амплитудно-фазовых регистрации выделения И радиолокационных сигналов, отраженных от каждой границы между слоями, измеряют точные времена распространения акустических волн в каждом слое дорожного покрытия и на основании полученных результатов для времен распространения акустических волн определяют скорости распространения акустических волн в первом, втором, третьем, ... и *п*-ом слоях покрытия:

$$v_1 = \frac{l_1}{T_{PI}}; \ v_2 = \frac{l_2}{T_{P2} - T_{PI}}; \dots; \ v_n = \frac{l_n}{T_{Pn} - T_{Pn-1}},$$

где $l_1,\ l_2,\ldots,\ l_n$ - толщины каждого конкретного слоя, вычисленные по следующим формулам:

$$l_1 = \frac{c_0 t_1}{2\sqrt{\xi_1}}; \ l_2 = \frac{c_0 (t_2 - t_1)}{2\sqrt{\xi_2}}; \dots; \ l_n = \frac{c_0 (t_n - t_{n-1})}{2\sqrt{\xi_n}},$$

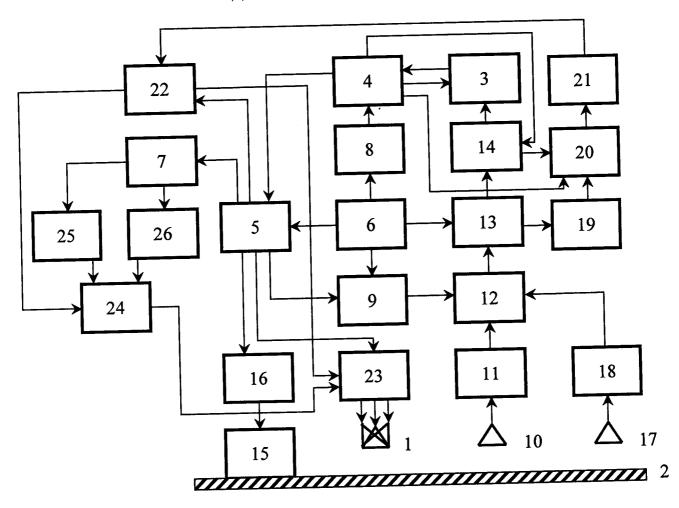
где: c_{θ} - скорость распространения в вакууме электромагнитной волны

 t_1 , t_2 , ..., t_n - отметки времени, затраченного радиолокационным сигналом на его пути от момента времени излучения радиолокационного импульса до момента приема его отражения от каждой границы между слоями дорожного покрытия при установлении индивидуального для этой конкретной границы вектора поляризации, соответствующего максимальному значению отраженного радиолокационного сигнала от этой же контролируемой границы между слоями;

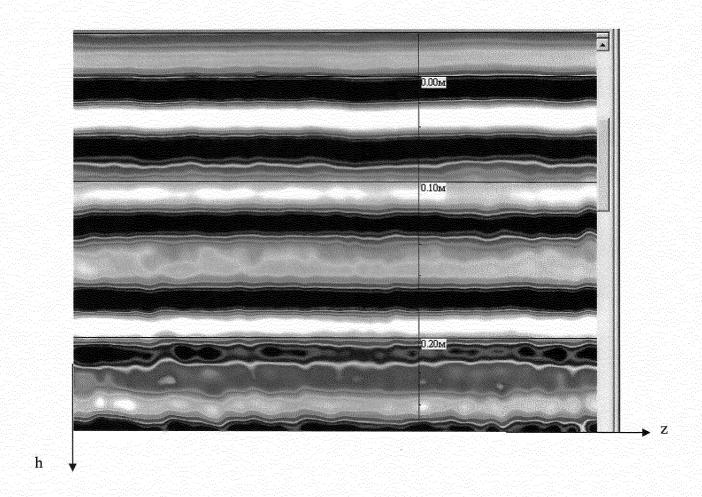
 $\xi_1,\ \xi_2,\ ...,\ \xi_n$ - величины диэлектрических проницаемостей; причем по скоростям $v_1,\ v_2,...,\ v_n$ устанавливают слои по их типам, по которым корректируют величины их диэлектрических проницаемостей, и определяют для слоев индивидуальные величины плотности $\rho_1,\ \rho_2,...,\ \rho_n$, затем по полученным значениям плотности и уточненным значениям скоростей распространения акустических волн, скорректированных по диэлектрической проницаемости каждого слоя, оценивают значения модулей $E_1,\ E_2,...,\ E_n$ упругости, по которым определяют прочность каждого конкретного слоя дорожного покрытия.

- 2. Георадарноакустический способ измерения прочности слоев покрытия автомобильной дороги по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно выравнивают амплитуды радиолокационных сигналов, отраженных от границ слоев, путем быстродействующей установки уровня излучения электромагнитных импульсов индивидуально для каждой конкретной контролируемой границы между слоями перед достижением этой границы фронта акустической волны.
- 3. Устройство для осуществления способа по п. 1, содержащее рупорную излучающую антенну, выходом связанную с покрытием автомобильной дороги, и содержащее блок управления и обработки сигналов, выходом подключенный через последовательно связанные блок формирования временной диаграммы сигналов, вторым выходом подсоединенный к входу блока управления и обработки сигналов, блок синхронизации, второй вход которого связан с выходом тактового генератора, к формирователю радиолокационных зондирующих импульсов, причем второй выход тактового генератора связан со вторым входом блока формирования временной диаграммы сигналов через делитель частоты, а третий выход тактового генератора связан с управляемой линией задержки, второй вход которой подключен ко второму выходу блока синхронизации, а также содержащее приемную рупорную антенну, входом связанную с покрытием автомобильной дороги, а выходом - с входом блока управления и обработки через последовательно включенные малошумящий усилитель, устройство выборки-хранения, ко второму входу которого подсоединен выход управляемой линии задержки, аналого-цифровой преобразователь, ко второму входу которого подсоединен третий выход тактового генератора, и блок памяти, второй вход которого подсоединен к третьему выходу блока формирования временной диаграммы сигналов, отличающееся тем, что устройство содержит возбудитель акустических колебаний, вход которого связан с третьим выходом блока синхрони-

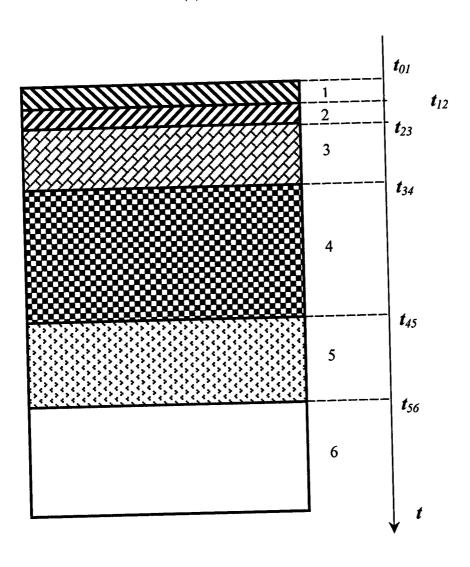
зации через формирователь акустических сигналов возбуждения, а выход – с покрытием автомобильной дороги, и вторую рупорную приемную антенну, вход которой связан с покрытием автомобильной дороги, а выход – с третьим входом устройства выборки-хранения через второй малошумящий усилитель, в качестве рупорной излучающей антенны применена рупорная излучающая антенна с перестраиваемой поляризацией зондирующего радиолокационного сигнала, в качестве формирователя радиолокационных зондирующих импульсов применен формирователь радиолокационных зондирующих импульсов с регулируемой амплитудой, а также применены последовательно включённые кодовый формирователь максимума амплитуды сигнала заданной полярности, входом подсоединенной ко второму выходу аналого-цифрового преобразователя, схема сравнения кодов, вторым и третьим входом соответственно подключённая ко второму выходу блока памяти и к четвёртому выходу блока формирования временной диаграммы сигналов, блок оптимизации максимального сигнала, формирователь сигналов управления и формирователь вектора поляризации, выходами связанный со входами рупорной излучающей антенны с управляемой поляризацией, причём второй вход формирователя вектора поляризации подсоединён ко второму выходу формирователя сигнала управления через коммутатор, вторым и третьим входами соответственно подключённый через повторитель и инвертор к выходам формирователя радиолокационных зондирующих импульсов с регулируемой амплитудой, вход управления которого связан с третьим выходом формирователя сигнала управления.



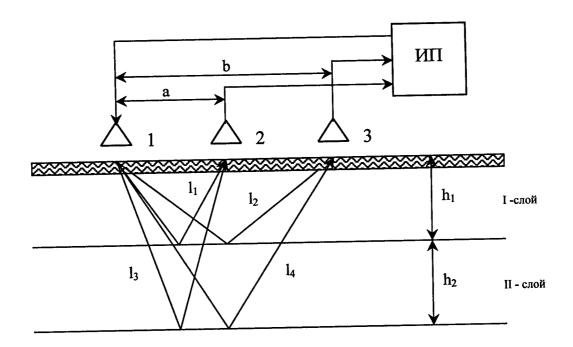
Фигура 1



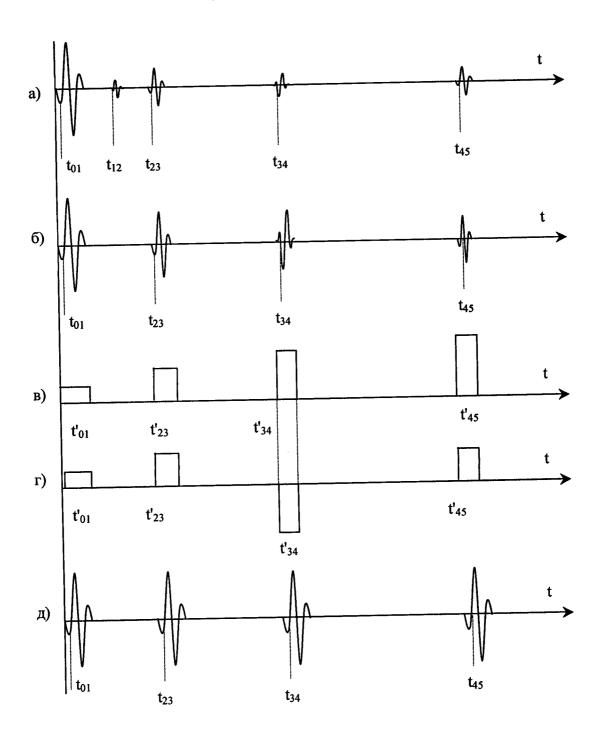
Фигура 2



Фигура 3



Фигура 4



Фигура 5

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ

(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

201900356

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ: *G01N 29/04 (2006.01)*

Согласно Международной патентной классификации (МПК)

Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:

Просмотренная документация (система классификации и индексы МПК)

G01N 29/00, 29/04, 29/07, 29/11, 29/12, 29/22-29/265, 3/00, 3/40, G01B 17/00, 17/02, G01S 13/00, 13/88, E01C 23/00, 23/01, G01B 15/00, 15/02

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)

В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	Zhongyu Li et al. Georadar vibration-acoustic technology for express-control of road pavement strength and result of its application. Jornal of Measurement in Engineering. March 2019, Volume 7, Issue 1, c. 20-23	1-3
A	BY 19008 С1 (НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ИМ. А.Н. СЕВЧЕНКО" БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА) 28.05.2015	1-3
A	JPH 05180812 (TOKIMEC INC) 23.07.1993	1-3
A	JPH 03180757 A (TOKIMEC INC) 06.08.1991	1-3
A	SU 1281882 A1 (КАУНАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. АТАНАСА СНЕЧКУСА) 07.01.1987	1-3
A	RU 2577624 C1 (ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ГЕО- ЛОГОРАЗВЕДКА" 20.03.2016	1-3

последующие документы указаны в про	одолжении
-------------------------------------	-----------

* Особые категории ссылочных документов:

«А» - документ, определяющий общий уровень техники

«D» - документ, приведенный в евразийской заявке

«Е» - более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее

«О» - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

"Р" - документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета"

- «Т» более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения
- «Х» документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности
- «Y» документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории
- «&» документ, являющийся патентом-аналогом

«L» - документ, приведенный в других целях

Дата проведения патентного поиска: 18/02/2020

Уполномоченное лицо:

Начальник Управления экспертизы

Words A

Д.Ю. Рогожин