05.11.13

ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СНЕЖНО-ЛЕДОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Р.Б. Желукевич¹, В.В. Минин¹, Ю.Ф. Кайзер¹, А.В. Лысянников¹, В.Г. Шрам¹,
В.Е. Желукевич¹, Д.П. Паршин¹, А.В. Егоров^{2,3}, В.Л. Тюканов¹, Ю.А. Савостьянова¹

¹ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Институт нефти и газа, г. Красноярск

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"», Саровский государственный физико-технический институт, Саровский филиал (САРФАТИ), г. Саров

³ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

В статье представлен анализ существующих средств определения прочности снежно-ледовых образований, выявлены их недостатки, преимущества и отличительные способности. Целью данной работы является разработка компактных средств измерения прочности компонентов дорожных покрытий и обеспечения контроля качества уплотнения полотна сооружаемых зимних дорог по глубине покрытия. Предложено техническое решение, которое позволяет достичь более высокого технического результата по сравнению с известными аналогами, который заключается в повышении точности измерений, упрощении фиксации шарового элемента в корпусе, обеспечении фиксации подвижных элементов при транспортировке и расширении функциональных возможностей за счет определения прочности на поверхности и по глубине снежного покрова с наконечниками разного профиля, а также позволяет снизить стоимость изготовления и трудоемкость работ при измерениях. Предложенный прибор (твердомер) позволяет расширить область применения, как для свежеснежного покрова, так и для лежалого, за счёт применения разных нижних поверхностей профиля наконечников в виде конуса, цилиндра или шара. Шаровая поверхность увеличивает площадь соприкосновения нижней поверхности его со снежными образованиями для свежеснежного покрова. Прибор спроектирован, изготовлен и позволяет определять прочностные свойства снежно-ледовых образований при выполнении научно-исследовательских работ.

Ключевые слова: твердомер, прочность, плотность, снежно-ледовые образования, плотномер, ударник, средство измерения.

ВВЕДЕНИЕ

Условием успешного освоения Сибири и Севера является развитие транспортных путей доставки грузов морским, речным, воздушным и автомобильным транспортом. Самым распространенным является всепогодный морской и воздушный транспорт. Себестоимость перевозок воздушным транспортом остается высокой, а использование речного транспорта ограничивается кратковременностью летнего периода и удаленностью полноводных рек от мест добычи полезных ископаемых.

При освоении и обустройстве месторождений нефти, газа, угля, цветных металлов и других полезных ископаемых, строительстве, эксплуатации и ремонте трубопроводных систем в условиях Сибири и Севера с экстремальными природно-климатическими условиями, заболоченностью, высокой влажностью грунтов, возникают сложности при выполнении работ по доставке грузов, техники и обслуживающего персонала в эти районы в летний период из-за неразвитой транспортной инфраструктуры и отсутствия проездов вдоль трасс существующих и строящихся трубопроводов. В таких условиях наиболее приемлемым вариантом является устройство зимних автомобильных дорог, дорожная одежда которых выполняется без привозных строительных материалов с использованием снега, льда и грунта.

Прочность покрытия должна обеспечивать восприятие нагрузок, зависящих от грузоподъемности транспортных средств и соответствовать ВСН 2 –105 –78 [1, 2], при этом требуется контроль каждой составляющей покрытия. Из-за недостаточного качественного выполнения работ по уплотнению составляющих компонентов дорожной одежды и отсутствия компактных средств контроля прочности по глубине покрытия возникла необходимость разработки прибора, который обеспечил бы возможность определения прочности основания и уплотненных снежно-ледовых образований по глубине покрытия [3-5].

Целью данной работы является разработка компактных средств измерения прочности компонентов дорожной одежды и обеспечения контроля качества уплотнения полотна сооружаемых зимников по глубине покрытия.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При проектировании и выполнении прочностных расчетов землеройно-транспортных машин трудность разработки грунтов характеризуется числом ударов динамического плотномера ДорНИИ, наконечник которого площадью поперечного сечения 1 см² и диаметром 11,4 мм погружается в грунт на глубину 10 см, называют числом С. Плотномер надежен в работе, прост в изготовлении и работает следующим образом: груз массой 2,5 кг, падая по направляющей с высоты

0,4 м, ударяет в буртик наконечника, производя работу за каждый удар, равную 10 Дж. При работе на слабых грунтах (песке) наконечник может иметь сечение 10 см² и погружаться на глубину 10 см ориентировочно за 10 ударов [6]. Ограниченная длина наконечника у динамического плотномера ДорНИИ предопределяет работу его на поверхности грунтов, отрицательно сказывается на процессах при моделировании и определении параметра С на глубине более 100 мм в натурных слоистых толщах дорожной одежды разного состава глубиной до 1 – 2 м и более. Для этого, в работе [7] обоснован выбор и разработаны уменьшенные и увеличенные модели динамического плотномера, в том числе и для снежных образований. Отличительной особенностью предложенных конструкций плотномеров является широкий диапазон параметров всех частей плотномера. В частности, диаметр наконечника изменяется от 2,85 до 25,5 мм, длина от 7 до 100 мм, диаметр ударной части от 26 до 92 мм, масса от 0,156 до 2,5 кг, высота падения ударной части от 100 до 425 мм. Одна из моделей показана на рис. 1.

Рис. 1. Модель плотномера для замера плотности по глубине снежного покрова: 1 – ограничитель; 2 – стержень; 3 – ударник; 4 – упор; 5 – наконечник; 6 – элемент наконечника

Преимуществом данных конструкций плотномеров является: возможность замера плотности грунтов и снега с разными свойствами на глубину до 0,425 м и расчета энергоемкости процесса погружения наконечника по глубине в зависимости от

диаметра наконечника, формы, массы ударника и высоты его падения.

Показатель прочности грунта летного поля (грунтового аэродрома) определяется с помощью ударника У-1. Ударник У-1 (рис. 2) [8] состоит из трех частей: наконечника с нанесенными на нем делениями через 1 см, ударной части массой 2,5 кг для погружения наконечника в грунт, направляющего штока для движения по нему ударной части.

Рис. 2. Ударник У-1: 1 – наконечник; 2 – ударная часть; 3 – направляющий шток

Принцип измерения показателя прочности грунта ударником У-1 не отличается от работы ударника ДорНИИ, поскольку в нем незначительно изменен диаметр наконечника, длина его увеличена до 0,3 м и высота падения ударной части до 0,5 м.

Сбрасывание ударной части продолжается до тех пор, пока наконечник не погрузится в грунт на глубину сначала 0,1 м и далее 0,3 м. В процессе работы подсчитывается число ударов при погружении наконечника на 0,1 м с нарастающим итогом на 0,3 м.

При сооружении зимних дорог и их эксплуатации необходимо контролировать ровность покрытия, плотность, твердость и шероховатость. Для контроля плотности снежного покрытия используют плотномер, состоящий из металлического стаканчика с заостренной по периметру режущей кромки торцевой поверхностью.

Измерение плотности производится следующим образом: плотномер открытой торцевой поверхностью устанавливается на подготовленную в горизонтальной плоскости площадку и заглубляется в снег до тех пор, пока внутренняя плоскость дна не дойдет до выровненной поверхности снега. Контролируется заполнение всего объема визуально через отверстия в днище. После извлечения из снега, торцевая заостренная поверхность выравнивается заподлицо с режущими кромками, а плотномер, заполненный снегом, взвешивается.

Плотность снега ρ (г/см³) вычисляется по формуле:

$$\rho = Q/V, \quad (1)$$

где Q – масса пробы, г; V – объем пробы снега, равный объему мерного стаканчика, см³.

Для обеспечения нормальной эксплуатации подъездных и вдоль трассовых дорог согласно [1], минимальная плотность снежных образований должна быть не менее 0,6 г/см³. Для замера твердости снежных образований применяется плотномер-зонд

СоюздорНИИ, принцип работы которого не отличается от ДорНИИ.

Для увеличения срока эксплуатации зимних дорог величина твердости снежного покрытия должна быть не менее 0,105 МПа и соответствовать 30 ударам плотномера-зонда СоюздорНИИ. С увеличением грузоподъемности транспортных средств до 10 т и малой интенсивностью потока машин достаточной считается твердость 1,6 МПа (50 ударов зонда СоюздорНИИ), при дальнейшем увеличении грузоподъемности транспортных средств, твердость снега необходимо увеличить до 2,58 МПа (80 ударов) [1].

Соответствие числа ударов плотномера-зонда СоюздорНИИ величине твердости снежного покрытия представлено в таблице.

Табл. Соответствие числа ударов плотномера-зонда СоюздорНИИ величине твердости снежного покрытия

Число ударов	Твердость, МПа	Число ударов	Твердость, МПа
5	0,274	55	1,84
10	0,43	60	1,98
15	0,58	65	2,12
20	0,74	70	2,28
25	0,89	75	2,42
30	1,05	80	2,58
35	1,17	85	2,72
40	1,33	90	2,92
45	1,52	95	3,06
50	1,60	100	3,33

При эксплуатации грунтовых аэродромов в зимнее время согласно [8] использовался прибор твердомер НИАС. Он состоит из вертикальной стойки с опорной площадкой, подвижной стойки с конусом, площадки для ступни, закрепленной на вертикальной стойке шкалы глубины погружения конуса. Замер прочности снежного покрова осуществляется путем установки твердомера на снежное покрытие и нажатия ногой на площадку для ступни с замером показаний прибора по шкале глубины погружения конуса.

Недостатком известного прибора является низкая точность измерения из-за того, что невозможно выставить продольную ось подвижной стойки строго вертикально и удерживать ее в таком положении при нажатии ногой, кроме того, трение скольжения подвижной стойки, глубина и скорость погружения конуса будут зависеть от массы экспериментатора и меняться в достаточно широких пределах.

Известен твердомер, включающий корпус, выполненный в виде хомута с тремя телескопическими стойками, шаровой элемент со сквозным отверстием, разрезную обойму, охватывающую шаровой элемент, направляющую трубу, падающий стержень с указателем, конический наконечник и сменный груз, механизм привода с реечной передачей, обеспечивающей возможность осевого перемещения направляющей трубы

относительно шарового элемента и корпуса, затвор, связанный приводным тросом со спусковым крючком для фиксации стержня в верхнем положении, мерную линейку, стопорный болт для фиксации направляющей трубы в шаровом элементе, закрепленную в нижней части направляющей трубы стойку, несущую упорное кольцо, и уровнемер (Патент РФ №2550375 С1, RU).

Недостатками данного твердомера являются:

- повышенные трудозатраты при отсутствии возможности настройки вертикального положения направляющей трубы из-за перемещения ее вниз под действием собственного веса вместе с механизмом привода подъема направляющей трубы, так как отсутствует ограничитель этого перемещения;

- сложность обеспечения устойчивого вертикального положения продольной оси направляющей трубы, так как в ней отсутствуют балансиры, обеспечивающие балансировку установки вертикальности оси трубы в шаровом подшипнике, кроме того, корпус опирается на исследуемое покрытие основанием с малой опорной поверхностью трех телескопических цилиндрических стоек, торцевая поверхность каждой из которых вследствие малой величины будет углубляться в снежное покрытие на разную глубину (особенно в свежеснеженный снег) из-за неравномерной плотности снега по поверхности покрытия;

- сложность конструкции, обусловленная наличием сложной конструктивной схемы механизма захвата указателя со стрелкой и подъема его на необходимую высоту;

- ограниченные функциональные возможности вследствие ограничения высоты подъема стержня с коническим наконечником из-за упора направляющей трубы в нижний торец шарового элемента и фиксации этого положения стопорным винтом, что не может обеспечить работу твердомера с разной высотой подъема наконечника, а также не дает возможности определения прочности снежных образований по глубине покрова.

Перечисленные недостатки приводят к снижению точности выполненных измерений, повышению стоимости изготовления и затрат времени при выполнении замеров, усложняют конструкцию твердомера, не обеспечивая главного критерия, от которого зависит определение прочности, установку вертикальности продольной оси направляющей трубы, а также определения прочности снега с разными свойствами, в том числе и по глубине покрова.

Известен прибор твердомер (Патент РФ № 2350923 С2, RU), включающий корпус со стойками и основанием с центральным отверстием, в корпусе установлен с возможностью фиксации шаровой элемент со сквозным отверстием, в котором жестко закреплена направляющая труба, вдоль продольной

оси которой установлен с возможностью перемещения стержень с указателем со стрелкой, с коническим наконечником и сменным грузом, зафиксированным гайкой, при этом в верхней и нижней частях направляющей трубы по периметру окружности выполнены не менее трех прямоугольных отверстий, равномерно расположенных в плоскости, перпендикулярной оси трубы, в каждом из отверстий расположена вилка с возможностью радиального перемещения в них и в цилиндрическом отверстии скобы, жестко закрепленной на направляющей трубе, на одном конце вилки установлен подшипник качения, соприкасающийся наружной обоймой с поверхностью стержня, а другой конец вилки выполнен с резьбой, установлен в скобе и снабжен гайками, стопор для фиксации шарового элемента состоит из болта и втулки, выполненных с цилиндрическими выемками, а в стенке направляющей трубы выполнен продольный паз с поперечными уступами для указателя со стрелкой.

Недостатками такого прибора являются низкие эксплуатационные свойства:

- повышенные трудозатраты и низкая точность установки вертикальности продольной оси направляющей трубы из-за отсутствия средств балансировки;
- низкая точность выполненных измерений из-за отсутствия уровнера для корректировки установки продольной оси твердомера в вертикальное положение;
- сложность фиксации шарового элемента в корпусе;
- отсутствие фиксации подвижных элементов при транспортировке твердомера;
- ограниченные функциональные возможности для определения прочности снега с разными свойствами, в том числе по глубине покрова.

Разработанный прибор относится к области строительства и эксплуатации зимних дорог и грунтовых аэродромов, подготавливаемых методом уплотнения снега.

Задачей новой разработки является улучшение эксплуатационных показателей прибора за счет увеличения глубины погружения наконечника, путем обеспечения балансировки вертикального положения направляющей трубы, повышения точности измерений, упрощения фиксации шарового элемента в корпусе, обеспечения фиксации подвижных элементов при транспортировке и расширения функциональных возможностей.

Разработано средство [9] для определения прочности снежно-ледовых образований по глубине покрытия зимних дорог и грунтовых аэродромов, которое содержит корпус 1, опирающийся на основание 2 с центральным отверстием посредством стоек 3 (рис. 3).

Рис. 3. Прибор (твердомер): а – фото; б – общий вид; в – стержень с деталями; г – механизм регулировки зазора; д – механизм фиксации; 1 – корпус; 2 – основание; 3 – стойка; 4 –

проушины; 5 – буртик; 6 – элемент опорный; 7 – паз; 8 – элемент шаровой; 9 – труба направляющая; 10 – обойма разрезная; 11 – болт; 12 – гайка; 13 – стержень; 14 – наконечник конический; 15 – наконечник сферический; 16 – груз сменный; 17 – гайка; 18 – отверстие прямоугольное; 19 – вилка; 20 – отверстие цилиндрическое; 21 – скоба; 22 – обойма подшипника; 23 – гайка; 24 – паз продольный; 25 – паз поперечный; 26 – указатель со стрелкой; 27 – отверстие резьбовое; 28 – прокладка; 29 – линейка мерная; 30 – уровень; 31 – груз балансировочный; 32 – прокладка; 33 – опора; 34 – отверстие резьбовое; 35 – штанга; 36 – ударник; 37 – болт разрезной; 38 – гайка; 39 – выступ большой; 40 – выступ малый; 41 – фиксатор; 42 – шайба разрезная

Корпус 1 выполнен в виде хомута с двумя проушинами 4 и снабжен внутренним буртиком 5 на нижнем торце, разделенными тремя пазами 7, а также опорными элементами 6 стоек 3. В корпусе 1 с возможностью фиксации установлен шаровой элемент 8, имеющий сквозное отверстие, в котором жестко закреплена направляющая труба 9. Для фиксации шарового элемента 8 корпус снабжен опертю на буртики 5 разрезной обоймой 10, охватываемой хомутом и образующей с шаровым элементом 8 подвижное шаровое соединение, затягиваемое посредством болта 11 и гайки 12, установленных в проушинах 4 хомута и стягивающих его концы.

Вдоль продольной оси направляющей трубы 9 установлен с возможностью перемещения стержень 13 со съёмным коническим 14 или сферическим 15 наконечником и сменным грузом 16, затягиваемым гайкой 17. Для создания опорных поверхностей качения стержня 13 в верхнем и нижнем уровнях направляющей трубы 9 выполнены не менее трех прямоугольных отверстий 18, равномерно расположенных в плоскости, перпендикулярной оси направляющей трубы.

В каждом из отверстий 18 расположена вилка 19 с возможностью радиального перемещения в отверстии 18 направляющей трубы 9 и в цилиндрическом отверстии 20 скобы 21, жестко закрепленной на направляющей трубе. На одном конце вилки 19 установлен подшипник качения 22, соприкасающийся наружной обоймой с поверхностью стержня 13, а другой конец вилки, установленный в скобе 21, выполнен с резьбой и снабжен гайками 23, регулирующими зазор между наружной обоймой подшипника качения и стержнем при установке стержня вдоль продольной оси направляющей трубы. При этом наружные обоймы подшипников качения 22, контактирующие с поверхностью стержня 13, являются направляющими при перемещении стержня вдоль продольной оси направляющей трубы.

В стенке направляющей трубы 9 выполнен продольный паз 24 с поперечными уступами 25 для указателя 26 со стрелкой, закрепленного на стержне 13 перпендикулярно его продольной оси. Указатель 26 выполнен в виде пальца с выгравированной на

торце стрелкой, для установки которого по высоте стержня 13 в ряд выполнены радиальные резьбовые отверстия 27. Наличие поперечных уступов 25 в продольном пазу и ряд радиальных резьбовых отверстий 27 в стержне обеспечивают регулировку высоты подъема наконечника и, как следствие, минимизацию последствий влияния скорости его проникновения в снежный покров на измерение проникающей силы, на энергоёмкость процесса, вид деформации снега и учет инерционных сил. Для обеспечения поперечной ориентации стрелки указателя 26 резьбовое соединение пальца со стержнем выполнено с прокладкой 28.

На поверхности трубы установлена мерная линейка 29 для указания величины подъема стержня 13 и глубины погружения наконечника 14 или 15 в снежный покров, а также установлен уровень 30 для контроля вертикального положения направляющей трубы 9.

В нижней части направляющей трубы 9 для обеспечения автоматической балансировки вертикального положения закреплены равномерно распределенные по поверхности четыре балансировочных груза 31, один из которых расположен соосно с продольным пазом 24.

Съёмный наконечник, используемый в твердомере, в зависимости от состояния снежного покрова, наличия обледенений, разной степени плотности снега по глубине, характера деформирования снега, может иметь цилиндрическую, коническую или сферическую форму [10]. Конический наконечник 14 предназначен для разрушения обледеневшего снежного покрова, при осуществлении которого величина вдавливания определяется сопротивлением разрушению. При использовании конических наконечников твердость снежно-ледовых образований σ_t определяется по формуле [8]:

$$\sigma_{tk} = P / \pi h^2 \operatorname{tg}(\alpha/2), \quad (2)$$

где P – нагрузка на штамп (кН/м^2); h – глубина погружения штампа, (м); α – угол у вершины конуса штампа, град.

Сферический наконечник 15 предназначен для замера прочности свежевыпавшего, уплотненного и плотного снега, в том числе по глубине снежного покрова, а величина вдавливания определяется сопротивлением уплотнения. Для сферического штампа σ_{tc} определяется [10]:

$$\sigma_{tc} = P / 2\pi R h, \quad (3)$$

где R – радиус сферической поверхности наконечника (м).

Для цилиндрического штампа σ_{td} определяется [1, 10]:

$$\sigma_{td} = P / \pi R^2. \quad (4)$$

Нижняя часть стержня 13 со сменным грузом 16 резьбовым концом соединена с коническим 14 или сферическим 15 наконечником и через

регулирующие прокладки 32 плотно поджата к наконечнику с помощью гайки 17.

Для замера прочности по глубине снежного покрова на верхнем торце стержня 13 соосно с ним установлен ударный механизм для дополнительного силового воздействия на наконечник. Ударный механизм содержит опорный элемент 33, нижняя часть которого установлена в центральном резьбовом отверстии 34 стержня, а верхняя часть соединена с направляющей цилиндрической стойкой 35, имеющей Т-образный верхний торец, а на стойке 35 установлен с возможностью свободного перемещения боек 36.

Твердомер также содержит механизм фиксации транспортного положения стержня, расположенный в зоне нижнего поперечного уступа 25 и выполненный в виде разрезного болта 37 с гайкой 38, шарнирно установленного на выступах разной величины 39, 40, жестко закрепленных на поверхности направляющей трубы 9, с возможностью поворота разрезного болта в плоскости, перпендикулярной продольной оси направляющей трубы, и с возможностью фиксации.

При этом разрезной болт снабжен жестко закрепленным на нем фиксатором 41, закрывающим продольный паз 24 в месте расположения нижнего поперечного уступа 25 и удерживающим указатель 26 в нижнем поперечном уступе 25 в транспортном положении, для фиксации которого резьбовой конец разрезного болта закреплен в пазу меньшего выступа 40 с помощью гайки 38. Для фиксации разрезного болта 37 в рабочем положении при проведении измерений на направляющей трубе 9 консольно закреплена стопорная пружина 42 в виде разрезного кольца, ось которого расположена в плоскости поворота разрезного болта.

Твердомер используют следующим образом. Корпус 1 твердомера с установленной на буртиках 5 разрезной обоймой 10, взаимодействующей с шаровым элементом 8, жестко соединенным с направляющей трубой 9, вдоль продольной оси которой установлен с возможностью перемещения стержень 13 с указателем со стрелкой 26, съемным наконечником 14 или 15 и сменным грузом 16, основанием 2 устанавливается на предварительно выровненное снежное покрытие. Указатель со стрелкой 26 заводится в нижний поперечный уступ 25 направляющей трубы 9. При этом вершина конического 14 или сферического 15 наконечника должна находиться в плоскости основания 2, соприкасающегося со снежным покровом, а направляющая труба 9 с шаровым элементом 8 под действием силы тяжести от собственного веса, веса стержня 13 с коническим 14 или сферическим 15 наконечником, веса ударного механизма в составе опорного элемента 33, цилиндрической стойки 35 и бойка 36, сменного груза 16, гайки 17, регулирующих прокладок 32 и четырех балансирующих грузов 31 устанавливается шаровым

элементом 8 в разрезной обойме 10 вертикально. Для фиксации в корпусе 1 вертикального положения направляющей трубы 9 с установленным вдоль ее продольной оси стержнем 13 и закрепленными на них деталями вращением гайки 12 под действием осевой силы болта 11 проушины 4 сближаются, корпус 1 за счет наличия пазов 7 деформируется и зажимает разрезную обойму 10 с шаровым элементом 8, удерживая его в таком положении во время определения прочности снега. Затем указатель со стрелкой 26 вместе со стержнем 13, коническим 14 или сферическим 15 наконечником поднимается вверх по продольному пазу 24 до соответствующего поперечного паза 25, предусмотренного экспериментом, и заводится в этот паз. Вертикальность установки твердомера проверяется по уровнемеру 30. Из этого положения стержень 13 отпускается. Под действием собственной тяжести он движется вниз и, соприкасаясь со снежным покровом конической или сферической поверхностью наконечника, входит в снег. Величина внедрения наконечника отсчитывается по шкале мерной линейки 29.

Для замера прочности снега на поверхности покрова указатель со стрелкой 26 из крайнего нижнего положения поднимается на максимальную высоту по продольному пазу 24 направляющей трубы 9 и с такой высоты отпускается вниз. По мерной линейке 29 замеряется глубина погружения наконечника. Последующее погружение наконечника осуществляется за счет удара бойка 36 после подъема его по цилиндрической стойке 35 на максимальную высоту и замера величины погружения после каждого подъема. Вертикальность установки твердомера контролируется по уровнемеру 30 после каждого замера.

Предложенный прибор (твердомер) позволяет расширить область применения, как для свежеснежного снега, так и для лежалого, за счет применения разных нижних поверхностей профиля наконечников в виде конуса, цилиндра или шара. Шаровая поверхность увеличивает площадь соприкосновения нижней поверхности его со снежными образованиями для свежеснежного снега. Для лежалого и пониженной температуры снега лучше использовать конусный наконечник. Предложенная конструкция, за счет установки дополнительного ударника, позволяет погружать наконечники по глубине снежного покрова и определять прочностные характеристики снега.

ВЫВОДЫ

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет достичь более высокого технического результата по сравнению с известными аналогами, который заключается в повышении точности измерений, упрощении фиксации шарового

элемента в корпусе, обеспечении фиксации подвижных элементов при транспортировке и расширении функциональных возможностей за счет определения прочности на поверхности и по глубине снежного покрова с наконечниками разного профиля, а также позволяет снизить стоимость изготовления и трудоемкость работ при измерениях.

Прибор спроектирован, изготовлен и позволяет определять прочностные свойства снежно-ледовых образований при выполнении научно-исследовательских работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инструкция по строительству временных дорог для трубопроводного строительства в сложных условиях (на обводненной и заболоченной местности) (ВСН 2-105-78), М., 1978, 116 с.
2. Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Егоров А.Л., Сидоров В.И. Создание 3D модели лабораторной установки и определение факторов, влияющих на уплотнение снежной массы в замкнутом объеме // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 12-2. С. 302-306.
3. Мерданов Ш.М., Спиричев М.Ю., Шаруха А.В., Егоров А.Л. Технология строительства снежеледковых дорог // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 5. С. 112.
4. Шитый В.П., Шаруха А.В., Спиричев М.Ю., Шитый П.П. Влияние термических свойств снега на технологию строительства временных зимних дорог из снега // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6. С. 333.
5. Мадьярова Л.Г., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. Экспериментальная установка для определения параметров уплотнения снежной массы // В сборнике: *Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных*. В 2-х томах. Ответственный редактор А.В. Медведев. 2018. С. 112-114.
6. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ // Учебное пособие для вузов. М., Машиностроение, 1975. 424 с.
7. Иофик В.З. Выбор параметров динамического плотномера для определения трудности разработки грунтов // *Строительные и дорожные машины*. 1990. – № 5. С. 23–24.
8. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ-94), М., Воздушный транспорт, 1993, С. 205-209.
9. Желудкевич Р.Б., Безбородов Ю.Н., Кайзер Ю.Ф., Лысянников А.В., Артёменко В.А., Желудкевич В.Е., Серебренникова Ю.Г. Твердомер // Патент на изобретение RU 2614336 С , 24.03.2017. Заявка № 2016104704 от 11.02.2016.
10. Войтковский К.Ф. Механические свойства снега // М., Наука, 1977, 126 с.

Желудкевич Рышард Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры авиационных горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 89233277999, e-mail: kaiser170174@mail.ru

Минин Виталий Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры транспортных и технологических машин, Политехнический институт ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(913)0477804, e-mail: VMinin@sfu-kras.ru

Кайзер Юрий Филиппович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой авиационных горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 89233277999, e-mail: kaiser170174@mail.ru

Лысянников Алексей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры авиационных горюче-смазочных материалов,

Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 895014071604, e-mail: av.lysyannikov@mail.ru

Шрам Вячеслав Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(950)4014163, e-mail: Shram18rus@mail.ru

Желудкевич Валентин Евгеньевич – магистрант, Политехнический институт, тел. 89233277999, e-mail: kaiser170174@mail.ru

Паришин Денис Павлович – студент, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 89535967138, e-mail: parshin485@gmail.com

Егоров Алексей Васильевич – доктор технических наук, профессор национального исследовательского ядерного университета "МИФИ", Саровского государственного физико-технического института, Саровского филиала (САРФАТИ) и поволжского государственного технологического университета, Института механики и машиностроения, тел. 89648612121, e-mail: egorovav@volgatech.net

Тюканов Василий Леонидович – старший преподаватель кафедры авиационных горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 89233277666, e-mail: vastuk85@mail.ru

Савостьянова Юлия Александровна – старший преподаватель кафедры авиационных горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 89233296686, e-mail: yulita_72@mail.ru

DEVICES FOR DETERMINING THE STRENGTH OF SNOW AND ICE FORMATIONS

**R.B. Zhelukevich¹, V.V. Minin¹, Yu.F. Kaiser¹, A.V. Lysyannikov¹, V.G. Shram¹,
V.E. Zhelukevich¹, D.P. Parshin¹, A.V. Egorov^{2,3}, V.L. Tyukanov¹, Yu.A. Savostyanova¹**

¹FSBAI VO Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, Krasnoyarsk

²FSBAI VO "National Research Nuclear University" MEPhI", Sarov State Institute of Physics and Technology, Sarov Branch (SARFATI), Sarov

³FGBOU VO Volga State Technological University, Yoshkar-Ola

Abstract – The article presents an analysis of the existing means for determining the strength of snow-ice formations, reveals their disadvantages, advantages and distinctive abilities. The purpose of this work is to develop compact means for measuring the strength of road pavement components and ensuring quality control of the compaction of the roadbed of winter roads under construction by the depth of the pavement. A technical solution is proposed that allows achieving a higher technical result in comparison with known analogues, which consists in increasing the measurement accuracy, simplifying the fixing of the ball element in the housing, ensuring the fixation of the moving elements during transportation and expanding the functionality by determining the strength on the surface and in depth snow cover with tips of different profiles, and also allows you to reduce the manufacturing cost and laboriousness of work during measurements. The proposed device (hardness tester) allows you to expand the field of application, both for freshly fallen snow, and for old, due to the use of different lower surfaces of the profile of the tips in the form of a cone, cylinder or ball. The spherical surface increases the contact area of its lower surface with snow formations for freshly fallen snow. The device has been designed, manufactured and allows to determine the strength properties of snow-ice formations during scientific research.

Index terms: hardness tester, strength, density, snow-ice formations, density tester, striker, measuring instrument.

REFERENCES

1. Instructions for the construction of temporary roads for pipeline construction in difficult conditions (in waterlogged and swampy areas) (VSN 2-105-78), M., 1978, 116 p.
2. Zelenin A.N., Balovnev V.I., Kerov I.P. Machines for earthworks // Textbook for universities. M., mechanical engineering, 1975.424 p.
3. Iofik V.Z. The choice of the parameters of the dynamic density meter to determine the difficulty of soil development // Construction and road machines. 1990. - No. 5. P. 23-24.
4. Manual for the operation of civil aerodromes of the Russian Federation (REGA RF-94), M., Air transport, 1993, pp. 205-209.
5. Voitkovsky K.F. Mechanical properties of snow // M., Nauka, 1977, 126 p.

Zhelukevich Ryshard Borisovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Aviation Fuels and Lubricants, Institute of Oil and Gas, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Siberian Federal University, tel. 89233277999, e-mail: kaiser170174@mail.ru

Minin Vitaly Vasilievich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Machines, Polytechnic Institute of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education of the Siberian Federal University, tel. 8 (913) 0477804, e-mail: VMinin@sfu-kras.ru

Kaiser Yuri Filippovich - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Aviation Fuels and Lubricants, Institute of Oil and Gas, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Siberian Federal University, tel. 89233277999, e-mail: kaiser170174@mail.ru

Lysyannikov Aleksey Vasilievich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Aviation Fuels and Lubricants, Institute of Oil and Gas, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Siberian Federal University, tel. 895014071604, e-mail: av.lysyanikov@mail.ru

Shram Vyacheslav Gennadievich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fuel Supply and Fuel and Lubricants, Institute of Oil and Gas, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Siberian Federal University, tel. 8 (950) 4014163, e-mail: Shram18rus@mail.ru

Zhelukevich Valentin Evgenievich - Master's student, Polytechnic Institute, tel. 89233277999, e-mail: kaiser170174@mail.ru

Parshin Denis Pavlovich - student, Institute of Oil and Gas of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education of the Siberian Federal University, tel. 89535967138, e-mail: parshin485@gmail.com

Egorov Aleksey Vasilyevich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the National Research Nuclear University "MEPhI", Sarov State Institute of Physics and Technology, Sarov Branch (SARFATI) and Volga State Technological University, Institute of Mechanics and Mechanical Engineering, tel. 89648612121, e-mail: egorovav@volgatche.net

Tyukanov Vasily Leonidovich - Senior Lecturer of the Department of Aviation Fuels and Lubricants, Institute of Oil and Gas, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Siberian Federal University, tel. 89233277666, e-mail: vastuk85@mail.ru

Savostyanova Yulia Aleksandrovna - Senior Lecturer, Department of Aviation Fuels and Lubricants, Institute of Oil and Gas, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, Siberian Federal University, tel. 89233296686, e-mail: yulita_72@mail.ru