

На правах рукописи



Ганжа Владимир Александрович

**СИСТЕМА МЕТОДОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СИЛОВЫХ
ПАРАМЕТРОВ СНЕГООЧИСТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Специальность: 05.11.13 – Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Красноярск – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Безбородов Юрий Николаевич

Официальные оппоненты: **Маметьев Леонид Евгеньевич**
доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», кафедра «Горные машины и комплексы», профессор

Молев Юрий Игоревич
доктор технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кафедра «Строительные и дорожные машины», профессор

Воскресенский Геннадий Гаврилович
доктор технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет», кафедра «Транспортно-технологические системы в строительстве и горном деле», и.о. заведующего кафедрой

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук

Защита диссертации состоится 10 октября 2019 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.26, созданного на базе «Сибирского федерального университета» по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26, ауд. УЛК 112.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте «Сибирского федерального университета» www.sfu-kras.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Кайзер Юрий Филиппович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Интенсивное развитие северных территорий Российской Федерации, растущие темпы освоения ее Арктической зоны имеют целью эффективное использование и развитие ресурсной базы нашей страны для обеспечения ее потребностей в углеводородных, водных биологических ресурсах и других видах стратегического сырья. Это сопряжено с необходимостью соответствующей модернизации существующей и дальнейшего развития транспортной системы указанных регионов, что в свою очередь влечет за собой увеличение общей протяженности сети автомобильных дорог и числа действующих региональных аэродромов гражданской авиации.

При строительстве и дальнейшем содержании указанных объектов такие природные среды как снег, лед (снежно-ледяные отложения) могут использоваться и как строительный материал для дорожных и аэродромных покрытий, содержащихся под слоем уплотненного снежно-ледяного покрова, так и как материал, подлежащий разрушению и удалению с искусственных дорожных покрытий, содержащихся методом очистки.

В обоих случаях необходим систематический эффективный оперативный контроль прочности этой природной среды.

В первом случае – для рационального планирования и организации мероприятий зимнего содержания указанных объектов и продления сроков их сезонной эксплуатации. Во втором случае – для получения более полной информации о физико-механических свойствах среды, подлежащей разрушению.

Постоянно увеличивающимися объемами работ зимнего содержания очищаемых покрытий обуславливается рост потребности эксплуатационных предприятий в высокоэффективном снегоочистительном оборудовании. Продуктивная разработка такого оборудования возможна при наличии в достаточном объеме измерительной информации, характеризующей силовые параметры режущего инструмента и оснащаемых им рабочих органов при работе в различных условиях эксплуатации.

Получение такой информации возможно только при использовании соответствующих методов и средств измерительного контроля указанных параметров.

Высокие темпы роста объемов работ зимнего содержания дорожных и аэродромных покрытий, сжатые сроки реализации мероприятий, обеспечи-

вающих их эксплуатационную и экологическую безопасность, обуславливают **актуальность** работ, направленных на решение **научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение** – создание методологии измерительного контроля силовых параметров рабочего инструмента и оборудования машин, предназначенных для высокоэффективного механического разрушения прочных снежно-ледяных отложений на очищаемых дорожных и аэродромных покрытиях.

Задача разработки и использования, новых метода и прибора оперативного измерительного контроля прочности (несущей способности) снежно-ледяного покрова дорог и аэродромов, позиционируется в рамках данной работы как вспомогательная, но дающая результаты, способствующие успешному решению основных задач, что также делает ее актуальной.

Термином «Прочные снежно-ледяные отложения (образования)» характеризуются снежно-ледяной накат и лед плотностью $\rho = 0,6 - 0,9$ г/см³, пределом прочности на сжатие $\sigma = 1,8 - 2,8$ МПа при температуре окружающей среды от минус 2 до минус 10 °С, толщиной слоя $h \leq 100$ мм, разрушение и удаление которых с очищаемых дорожных покрытий представляет наибольшую сложность при их зимнем содержании.

Степень разработанности темы.

Существенный вклад в развитие теории и практики испытания твердых сред пенетрацией и зондированием внесли П.А. Ребиндер, Н.А. Цытович, В.Г. Березанцев, В.Ф. Разоренов, И.В. Крагельский, Г.Г. Болдырев, А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керов, В.З. Иофик, С. Киношита, В.С. Далин и др.

В работах вышеупомянутых авторов дается четкое толкование терминов «пенетрация» и «зондирование», а также двух видов зондирования: статического и динамического. Отмечается, что общим недостатком методов статического зондирования является необходимость приложения к зонду значительных усилий вдавливания для погружения его на заданную глубину, а также и для последующего извлечения зонда из тела исследуемого грунтового массива. Для успешной реализации этой группы методов необходимо применение установок большой грузоподъемности.

Методы динамического зондирования менее энергоемки и менее трудозатратны, а средства для реализации этой группы методов имеют меньшие массово-габаритные характеристики по сравнению со средствами статического зондирования.

В результате анализа литературно – патентных источников в данной области исследований, автором диссертации определены наиболее значимые

технические решения, опыт практического использования которых мог бы быть учтен при разработке метода оперативного полевого контроля прочности (несущей способности) снежно-ледяных дорожных и аэродромных покрытий с использованием нового измерительного пенетрационного прибора – твердомера.

Результаты анализа конструкций рабочих органов снегоуборочных дорожных машин, получивших наиболее широкое практическое применение, свидетельствуют о том, что наиболее эффективным оборудованием являются рабочие органы отвального типа, конструктивно приспособленные для разрушения снега большой плотности и прочности с последующим сдвигом продуктов разрушения в сторону. Однако при взаимодействии таких рабочих органов с прочными снежно-ледяными отложениями при малой толщине их слоя (до 100 мм) процесс зарезания рабочей кромки ножа в разрушаемый массив с последующим заглублением крайне осложнен или невозможен вообще.

Опыт разработки, создания и эксплуатации рабочих органов интенсифицирующего действия, имеющий освещение в работах В.И. Баловнева, А.Н. Зеленина, А.П. Крившина, А.З. Шарца, В.Я Дворкового, Г.Г. Воскресенского и др., свидетельствует о том, что адаптация рабочих органов снегоочистительных машин к различным условиям эксплуатации может быть осуществлена путем их оснащения одиночным режущим инструментом, при его групповом размещении по схемам, обеспечивающим механическое разрушение разрабатываемых сред с малой энергоемкостью процесса и высокой производительностью оборудования.

В рамках данной диссертационной работы как способ адаптации существующих и разрабатываемых рабочих органов к высокоэффективному разрушению прочных снежно-ледяных отложений предлагается оснащение такого оборудования дисковым режущим инструментом.

Известно о широком применении такого инструмента в конструкциях сельскохозяйственных орудий, в проходческих комбайнах, а также в рабочих органах буровых, землеройных машин и на бульдозерных рыхлителях. Основные результаты исследований процессов взаимодействия дискового режущего инструмента с упомянутыми средами изложены в работах А.С. Союнова, С.Н. Доздова, А.Ю. Несмияна, Л.И. Барона, Л.Б. Глатмана, С.Л. Загорского, А.А. Хорешка, Л.Е. Маметьева, А.Ю. Борисова, Р.Б. Желукевича и др.

Результаты исследований процессов взаимодействия различного снегоочистительного оборудования, рабочих органов ледорезных машин с разру-

шаемыми средами, опыт разработки такого высокоэффективного оборудования широко представлены в работах ученых Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева: А.П. Куляшова, Ю.И. Молева, В.А. Шапкина, А.Р. Пуртова, А.М. Соколова, У.Ш. Вахидова и др.

В силу недостаточной изученности процессов взаимодействия дискового режущего инструмента с прочными СЛЮ при их механическом разрушении, и связанных с этим затруднений в выполнении расчетов при проектировании новых и совершенствовании существующих конструкций снегоочистительного оборудования, с целью повышения их эффективности, имеет место необходимость проведения экспериментальных исследований.

Актуальной задачей этих исследований является установление закономерностей изменения силовых параметров разрабатываемого оборудования в зависимости от таких факторов как величина угла заострения дискового режущего инструмента, скорость резания, температура окружающей среды, влияющая на прочность разрушаемого материала, радиус закругления рабочей кромки, изменяющиеся параметры среза и др.

Успешная реализация на практике исследований такого рода, а также и регистрация, хранение и обработка результатов этих исследований, возможны только при использовании соответствующих методов и средств измерительного контроля исследуемых параметров.

Цель исследования – создание новой методологии измерительного контроля силовых показателей тангенциального дискового режущего инструмента, взаимодействующего с разрушаемой средой, отличающейся возможностью получения наиболее полной измерительной информации, для обоснования на стадии разработки, рациональных с позиции минимизации энергозатрат и повышения производительности конструктивных и эксплуатационных параметров такого инструмента и оснащаемого им оборудования.

Идея работы заключается в комплексном использовании для получения необходимой измерительной информации, результатов последовательной реализации каждого из системы методов измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым инструментом с использованием измерительных преобразователей и установок, в основе функционирования которых лежит электротензометрический метод измерения сил.

Задачи исследований

1. Разработать метод оперативного полевого контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова грунтовых

аэродромов и автодорог с использованием нового измерительного прибора – твердомера.

2. Разработать методику лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия дискового режущего инструмента с разрушаемой средой посредством использования новой измерительной установки – лабораторного стенда.

3. Обосновать конструкцию и основные параметры измерительного преобразователя – тензометрического элемента ИП-1 для работы в составе измерительных установок – стендов.

4. Разработать метод градуировки тензометрических элементов, реализуемый посредством использования новой измерительной установки – градуировочного стенда.

5. Осуществить построение информационно-измерительного комплекса для работы в составе измерительных установок: стендов, измерительных преобразователей.

6. Разработать систему методов измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных образований резанию полноразмерным тангенциальным дисковым инструментом, реализуемых посредством использования измерительного преобразователя ИП-1 в составе лабораторного стенда.

7. Исследовать экспериментально, процесс взаимодействия полноразмерного тангенциального дискового режущего инструмента с прочными снежно-ледяными отложениями при различных значениях угла заострения инструмента, скорости резания, температуры окружающей среды, влияющей на прочность разрушаемого материала и радиуса закругления рабочей кромки инструмента.

8. Разработать методику расчета сил, возникающих на дисковом резце при резании прочных снежно-ледяных отложений, при изменяющихся геометрических, технологических параметрах инструмента и параметрах среза.

Методология и методы исследования

При решении поставленных задач применен комплексный подход, включающий научный анализ и обобщение опыта разработки, создания и эксплуатации ряда технических систем: измерительных приборов пенетрационного и зондирующего действия; измерительных установок и информационно-измерительных комплексов, реализующих элетротензометрический метод измерения сил; рабочих органов, оснащаемых дисковым инструментом в составе машин, используемых в различных областях техники. В ходе исследова-

дования применялись методы численного математического моделирования исследуемых процессов, а также анализ напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов измерительных преобразователей средствами САПР. При обработке экспериментальных данных применялись методы математической статистики: регрессионный анализ, проверка гипотез, точечные и интервальные оценки параметров распределений. При выполнении теоретических и экспериментальных исследований использовались положения теории упругости, пластичности, хрупкого разрушения материалов, теоретической механики, динамики, электроники и электротехники.

Научная новизна работы

1. Разработан метод оперативного полевого контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова грунтовых автодорог и аэродромов, реализуемый посредством использования нового измерительного прибора – твердомера, **отличающийся** от известных возможностью получения достоверных значений контролируемой величины и исключающий влияние на результаты измерений, массы выполняющего их оператора, а также силы трения скольжения в сопрягающихся элементах прибора.

2. **Впервые** использована измерительная установка – стенд позволяющая экспериментально получать значения силы сопротивления разрушаемой прочной среды резанию испытываемым инструментом, имеющим различные геометрические параметры при изменяющихся значениях скорости, глубины, шага резания и рациональном расходе полезного объема лабораторных образцов разрушаемой среды.

3. Разработана методика лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия дискового режущего инструмента с разрушаемой средой с использованием предлагаемой измерительной установки – лабораторного стенда, **отличающаяся** от известных возможностью получения измерительной информации, характеризующей силовые параметры режущего инструмента при изменяющихся значениях скорости, глубины и шага резания.

4. **Впервые** использован измерительный преобразователь ИП-1, имеющий обоснованную форму, размеры, выбор материала упругого элемента, мест размещения на нем тензорезисторов, позволяющий экспериментально получать достоверные значения силы сопротивления разрушаемой прочной среды резанию полноразмерным дисковым тангенциальным инструментом одновременно по трем составляющим: горизонтальной, вертикальной и бо-

ковой, при сведенном к минимуму их взаимном влиянии, посредством использования соответствующих конструктивных и схемных решений.

5. Разработан метод градуировки тензометрических элементов, реализуемый посредством использования предлагаемой в работе измерительной установки – стенда для градуировки тензометрических элементов, **отличающийся** от известных возможностью выполнения тарировки тензометрического элемента по трем составляющим силы сопротивления резанию с минимальными затратами труда и времени при использовании только одного эталонного прибора – динамометра растяжения.

6. Разработана «Система методов «А», «В», «С», «D» измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию полноразмерным дисковым тангенциальным инструментом с использованием измерительного преобразователя ИП-1», **отличающаяся** от известных тем, что позволяет при последовательной реализации каждого из методов системы устанавливать закономерности изменения значений контролируемого параметра в зависимости от величины угла заострения инструмента, скорости резания, температуры окружающей среды, влияющей на прочность разрушаемого материала и радиуса закругления рабочей кромки инструмента.

7. **Впервые** экспериментально, с использованием, представленных в данной работе методов измерительного контроля и средств их реализации, установлены рациональные с позиции минимизации энергозатрат и повышения производительности, конструктивные и эксплуатационные параметры дискового инструмента и оснащаемого им оборудования.

8. **Впервые** предложена методика расчета значений силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым режущим инструментом, позволяющая с учетом физико-механических свойств разрушаемой среды, изменяющихся глубине и шаге резания вычислять на стадии проектирования, значения контролируемой силы и определять рациональные конструктивные параметры дискового инструмента, обеспечивающие протекание данного процесса с минимальной энергоемкостью.

Теоретическая значимость работы:

– получено аналитическое выражение для расчета показателя прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова грунтовых автодорог и аэродромов в зависимости от глубины погружения в испытуемый материал индентора конической формы, геометрические параметры которого также обоснованы в рамках данной работы;

– разработана методика расчета силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым инструментом, основой, которой являются аналитические выражения, позволяющие на стадии проектирования оборудования рассчитывать значения горизонтальной, вертикальной и боковой составляющих контролируемой силы;

– сформировано новое направление в области методов и средств измерительного контроля силовых параметров технических систем, в частности силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию полноразмерным тангенциальным дисковым инструментом, предполагающее получение наиболее полной измерительной информации с последующим ее использованием при разработке и создании высокоэффективного снегоочистительного оборудования, оснащаемого таким инструментом.

Практическая значимость работы:

– разработан комплекс средств измерительного контроля природной среды и изделий, методы и методики их использования, обеспечивающие получение достоверных значений показателя прочности (несущей способности) снежно-ледяных покрытий, а также значений силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию полноразмерным дисковым тангенциальным инструментом, имеющим различные геометрические параметры, при изменяющихся значениях скорости, глубины и шага резания;

– установлены экспериментально, закономерности изменения силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию полноразмерным дисковым режущим инструментом в зависимости от величины угла заострения инструмента, скорости резания, температуры окружающей среды, влияющей на прочность разрушаемого материала и радиуса закругления рабочей кромки инструмента при изменяющихся параметрах среза. Полученные результаты позволяют в лабораторных условиях, на стадии разработки, определять рациональные конструктивные и эксплуатационные параметры режущего инструмента и оснащаемого им снегоочистительного оборудования, обеспечивающие механическое разрушение данной среды с малой энергоемкостью процесса при высокой производительности.

– создано новое структурное подразделение Сибирского федерального университета – учебно-научная лаборатория «Мерзлотоведение и испытания рабочего оборудования машин нефтегазового комплекса в условиях низких температур», основой материально-технической базы, которой стали средства измерительного контроля природной среды и изделий, представленные в данной работе. Состав оборудования лаборатории позволяет реализовывать

на ее базе большие программы исследований различной тематики в широком диапазоне температур, в рамках диссертационных и выпускных квалификационных работ обучающихся, разрабатывать новые лабораторные работы и практикумы для использования в учебном процессе.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Результатами практической реализации метода оперативного полевого контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова грунтовых аэродромов и автодорог с использованием нового измерительного прибора – твердомера **обеспечивается** получение достоверных значений контролируемой величины без влияния на результаты измерений, массы оператора и силы трения в сопрягающихся элементах прибора.

2. Результатами практической реализации методики лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия дискового режущего инструмента с разрушаемой средой с использованием новой измерительной установки – лабораторного стенда, **обеспечивается** возможность получения измерительной информации, характеризующей силовые параметры режущего инструмента, при изменяющихся значениях скорости, глубины и шага резания.

3. Использованием измерительного преобразователя ИП-1 при соответствующем обосновании его формы, размеров, выбора материала упругого элемента, мест размещения на нем тензорезисторов, **обеспечивается** получение достоверных значений силы сопротивления разрушаемой прочной среды резанию дисковым инструментом одновременно по горизонтальной, вертикальной и боковой составляющим.

4. Результатами реализации метода градуировки тензометрических элементов, с использованием нового градуировочного стенда, **обеспечивается возможность** выполнения тарировки тензометрического элемента по трем составляющим силы сопротивления резанию с минимальными затратами труда и времени при использовании только одного эталонного прибора – динамометра растяжения.

5. Результатами экспериментальных исследований процесса взаимодействия дискового режущего инструмента с прочными снежно-ледяными отложениями при последовательной реализации каждого из методов «А», «В», «С», «D» Системы методов измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым инструментом с использованием ИП-1 **могут быть установлены** закономерности изменения

значений контролируемого параметра в зависимости от величины угла заострения инструмента, скорости резания, температуры окружающей среды, и радиуса закругления рабочей кромки, с последующим определением **рациональных**, с позиции минимизации энергозатрат и повышения производительности, конструктивных и эксплуатационных параметров такого инструмента и оснащаемого им оборудования.

6. Методика расчета значений силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым режущим инструментом, **позволяет** с учетом физико-механических свойств разрушаемой среды, изменяющихся глубине и шаге резания вычислять на стадии проектирования, значения контролируемой силы и определять рациональные конструктивные параметры дискового инструмента, обеспечивающие протекание данного процесса с минимальной энергоемкостью.

Степень достоверности и апробация результатов

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работе обеспечивается необходимым объемом экспериментальных исследований, удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментально полученных зависимостей, непротиворечивостью результатам исследований других авторов.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих мероприятиях:

1. Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: начало XXI века» (Красноярск, 2007);

2. Международной научно-технической конференции «Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин» (Тюмень, 2007);

3. V Всероссийской научно-технической конференции «Политранспортные системы» (Красноярск, 2007);

4. VII и VIII Всероссийских научно-технических конференциях с международным участием «Механики – XXI веку» (Братск, 2008, 2009);

5. III Международной научно-практической конференции «Проблемы диагностики и эксплуатации автомобильного транспорта» (Иркутск, 2011);

6. VI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука» (Красноярск, 2011);

7. LXV Всероссийской научно-технической конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ» с международным участием «Ориентированные фундаменталь-

ные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России» (Омск, 2011);

8. I и II Международных научно-практических конференциях «Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса», (Новокузнецк, 2011, 2012);

9. VII Международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований», (Москва, 2014);

10. XVI, XVII, XVIII и XIX международных научно-технических конференциях «Измерение, контроль, информатизация» (Барнаул, 2015, 2016, 2017, 2018);

11. Международной научно-практической конференции к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ» «Архитектура, строит-во, транспорт» (Омск, 2015);

12. Международной научно-практической конференции «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы» (Новокузнецк, 2017).

Реализация результатов работы

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, используются на ГП КК «Дорожно-эксплуатационная организация» и в ООО «Аэропорт Емельяново» при модернизации существующего и разработке нового высокоэффективного снегоочистительного оборудования. Техническое решение – твердомер, внедрено в ФГКУ «СПСЧ ФПС по Красноярскому краю» для использования в рамках мероприятий технического обеспечения подразделений, базирующихся в районах с суровыми климатическими условиями, а также в ЗАО «Спецтехномаш», как изделие, имеющее потенциал для серийного производства.

Представленные в работе измерительные установки и преобразователи в составе новой учебно-научной лаборатории используются в учебном процессе Сибирского федерального университета.

Личный вклад автора. Автору принадлежат: постановка цели и формулирование задач научной работы, разработка методов измерительного контроля природной среды и изделий, создание и ввод в эксплуатацию ряда средств реализации указанных методов, формулирование тем и разработка методики экспериментальных исследований, организация и личное участие в их проведении, математическая и статистическая обработка экспериментальных данных, формулирование основных выводов и рекомендаций.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 65 печатных работах, из них 4 монографии, 17 статей, опубликованных в изданиях, входящих в перечень ВАК, 36 работ в материалах международных и всероссийских конференций, а также 8 патентов РФ на изобретение теме диссертации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 214 наименований и шести приложений. Основная часть работы изложена на 412 страницах машинописного текста. Работа содержит 139 рисунков и 43 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана степень ее разработанности, сформулированы основная идея работы, ее цели и задачи, определены основные положения, выносимые на защиту, показана новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведена укрупненная классификация снежно-ледяных отложений, формирующихся или формируемых искусственно на дорожных и аэродромных покрытиях, описаны условия такого формирования, представлены сведения об основных физико-механических свойствах этой среды как строительного материала, в случае зимнего содержания дорожных и аэродромных покрытий под слоем уплотненного снега, и как материала для разрушения, при содержании данных покрытий методом механической очистки, с последующим удалением продуктов разрушения.

Также приведены сведения об используемых при зимнем содержании дорог и аэродромов, методах и средствах контроля основных показателей качества снежно-ледяных покрытий, сведения о средствах и методах по предотвращению возникновения и устранению снежно-ледяных отложений, с указанием основных недостатков этих средств и методов.

Кроме того, обоснована необходимость разработки метода оперативного полевого контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова грунтовых аэродромов и автодорог, реализуемого посредством использования нового измерительного прибора – твердомера, обеспечивающих получение достоверных значений контролируемого параметра, определены основные требования к разрабатываемому прибору: конструктивная простота, надежность, простота эксплуатации и технического

обслуживания, сохранение работоспособности в условиях низких температур.

В заключительном разделе Главы 1 обоснована потребность в средствах и методах измерительного контроля силовых параметров высокоэффективного снегоочистительного рабочего оборудования на стадии его проектирования, сформулированы цель, идея и задачи диссертационной работы.

Во второй главе изложены порядок разработки нового метода контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова, номенклатура подготовительных мероприятий и порядок выполнения измерительных операций с использованием нового измерительного прибора – твердомера.

В основе метода контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежного покрова, реализуемого посредством использования данного прибора, лежит сопротивление испытываемой среды погружению в нее конуса под воздействием прилагаемой к нему внешней нагрузки.

Величина этого сопротивления, определяется значением среднего нормального напряжения σ_1 , возникающего на боковой поверхности заглубленной части конуса при его взаимодействии с материалом испытываемого покрытия. Автором приводится математическое описание этого процесса с использованием соответствующих расчетных схем сил и напряжений, возникающих на заглубленной части конуса, в результате которого получено конечное уравнение для определения численного значения показателя прочности (несущей способности) уплотненного снежного покрова грунтовых аэродромов и автодорог, в соответствии с предлагаемым методом контроля этого параметра

$$\sigma_1 = \frac{mgH}{\pi z^2 \operatorname{tg}^2 \varphi}, \text{кПа} \quad (1)$$

где σ_1 – показатель прочности снега, кПа;

m – суммарная масса падающих элементов твердомера, кг;

H – высота падения штанги с коническим наконечником, м;

z – глубина погружения конуса, м;

φ – 1/2 угла в вершине конуса: $35^\circ/2 = 17^\circ 30'$;

g – ускорение свободного падения: $9,81 \text{ м/с}^2$.

Например, при $m = 2252$ кг, $H = 0,4$ м, $z = 0,04$ м, $2\varphi = 35^\circ$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ значение показателя прочности СЛЮ составит $\sigma_1 = 1776 \text{ кПа} = 1,8 \text{ МПа}$.

Полученные значения прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова сравнивают с нормативными значениями этого параметра для воздушных судов различной взлетной массы в соответствии с их классификацией или значениями, величина которых достаточна для пропуска по исследуемым покрытиям соответствующих транспортных средств.

Средством реализации метода контроля прочности (несущей способности) снежно-ледяного покрова грунтовых аэродромов и автодорог, является новый измерительный прибор – твердомер (патент РФ на изобретение № 2350923).

В материалах главы автором приводятся основные геометрические, массово-габаритные и метрологические параметры нового твердомера, дается обоснование величины угла при вершине конического индентора и его высоты: 35° и 128 -130 мм соответственно. Твердомер был изготовлен в металле и испытан в полевых и лабораторных условиях.

Натурные испытания нового твердомера были проведены в зимних условиях на уплотненном снежно-ледяном покрытии проезжей части автомобильной дороги с основным покрытием из асфальтобетона. Измерения производились по оси каждой колеи с шагом между контрольными точками 5 м. Температура окружающего воздуха составляла минус 9°C , температура уплотненного снега в шпуре минус 15°C , средняя толщина слоя исследуемой среды 120 мм, ее плотность около $0,5\text{ г/см}^3$.

В лабораторных условиях с целью изучения возможности использования применительно к прочным снежно-ледяным отложениям (СЛО), твердомер был испытан на ледяных блоках из пресноводного льда, поверхностная и приповерхностная зоны которых по структуре сопоставимы со структурой прочных СЛО на дорожных покрытиях.

В этом случае испытания проводились при различных значениях температуры окружающего воздуха и разрушаемой среды, обеспечиваемых морозильной камерой лабораторного помещения. Диапазон температур составлял $-1^\circ\text{C} \div -30^\circ\text{C}$ с шагом в 5°C . В преддверии каждой серии опытов, в каждой температурной точке, ледяные блоки и твердомер выдерживались в морозильной камере не менее трех суток. Средний размер ледяных блоков (д×ш×в): $650\times 330\times 250$ мм. Плотность материала $0,7 - 0,8\text{ г/см}^3$.

В общей сложности проведено восемь серий опытов: одна серия на уплотненном снежно-ледяном дорожном покрытии, и семь серий на ледяных блоках в каждой из семи температурных точек. Достоверность результатов

измерений для каждой серии опытов оценивалась по сопоставимости результатов десятикратного испытания прибора.

Результаты натурных и лабораторных испытаний твердомера были обработаны статистически. Средняя относительная погрешность измерений для всей совокупности результатов восьми серий опытов, при описанных выше условиях их проведения, составила 7%.

На основании рассчитанных в соответствии с выражением (1) значений σ_1 построен график зависимости прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова от глубины z погружения конического наконечника в исследуемый материал. Достоверность аппроксимации данной кривой $R^2 = 0,98$, что свидетельствует о непосредственной близости ее линии тренда к фактическим данным.

Результаты сравнительного анализа полученного графика и аналогичного, утвержденного к использованию нормативным документом РЭГА РФ – 94, свидетельствуют о практически полном совпадении значений контролируемого параметра σ_1 на обоих графиках для нагрузки $P = 883$ Н (что соответствует нагрузке, создаваемой падающими элементами нового твердомера). Этим подтверждается корректность результатов вычислений в соответствии с выражением (1) значений показателя прочности исследуемого материала. Подтверждается также правильность обоснованного в работе выбора величины угла при вершине конуса индентора прибора и суммарной массы его падающих элементов.

Результатами испытаний подтверждается достоверность значений показателя прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова и прочных снежно-ледяных отложений на дорожных и аэродромных покрытиях, получаемых при реализации разработанного автором метода контроля этого параметра посредством использования твердомера, предложенной конструкции. Диапазон измерений контролируемой величины соответствует нормативному для такого вида покрытий диапазону значений $\sigma_1 = 294,3 \div 979,7$ кПа ($3,0 \div 10,0$ кгс/см²).

Проведенные испытания твердомера позволили выявить и ряд недостатков его конструкции, таких как низкая устойчивость прибора в вертикальном положении, отсутствие фиксации падающих элементов в транспортном положении, отсутствие уровнемера для контроля и корректировки вертикального положения прибора и т.д.

С целью устранения выявленных недостатков, снижения трудоемкости работ по измерению данного параметра и обеспечения удобства эксплуата-

ции прибора разработана конструкция модернизированного твердомера, описание которой также приведено во второй главе данной диссертационной работы, а его конструкция защищена патентом РФ на изобретение № 2550375.

В третьей главе дается обоснование выбора режущего инструмента, изложен порядок разработки методов измерительного контроля силы сопротивления прочных СЛЮ резанию дисковым инструментом, порядок разработки методики лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия такого инструмента с разрушаемой средой, приведено описание конструкций комплекса средств измерительного контроля: измерительных установок, измерительных преобразователей для реализации указанных методов и методики.

Согласованным использованием результатов реализации указанных методов и методики обеспечивается возможность определения на стадии разработки в лабораторных условиях, рациональных, с позиции минимизации энергозатрат и повышения производительности, конструктивных и эксплуатационных параметров высокоэффективного снегоочистительного оборудования.

Выбор в качестве режущего инструмента, тангенциального дискового резца с непрерывным односторонним клиновым ободом, свободно вращающегося вокруг своей оси, обусловлен рядом его преимуществ по сравнению с получившими широкое применение на практике зубьями и резцами, работающими в условиях трения скольжения. Каждая точка режущей кромки такого инструмента контактирует с разрушаемой средой на протяжении всего периода их взаимодействия – от момента заглубления инструмента в разрушаемый массив, до момента его выглубления. Такой режим работы сопровождается повышенными динамическими нагрузками на режущий инструмент и рабочий орган в целом, способствует быстрому изнашиванию и поломкам инструмента.

Дисковый режущий инструмент работает в условиях трения качения. Каждая точка его режущей кромки при перекачивании диска по забою погружается в массив разрушаемого материала по циклоиде только на величину глубины резания. При этом путь трения каждой из этих точек снижается в десятки раз по сравнению, например с путем трения точек, составляющих режущую кромку зуба. В результате этого уменьшаются динамические нагрузки на навесное оборудование и на всю базовую машину в целом, снижается энергоемкость процесса, повышается долговечность инструмента, создается возможность увеличения скорости резания и значительного повыше-

ния производительности рабочего оборудования, оснащаемого дисковым режущим инструментом.

Методика выполнения лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия дискового режущего инструмента с разрушаемой средой реализуется посредством использования новой измерительной установки – лабораторного стенда для испытания рабочих органов дорожных машин (патент РФ на изобретение № 2429459) и включает следующие основные этапы. Непосредственной постановке экспериментов предшествует сложный комплекс подготовительных работ, включающий постановку цели и задач исследований, разработку программы эксперимента, заготовку и хранение лабораторных образцов разрушаемой среды в соответствии с их расчетным количеством, а также выполнение мероприятий технического обслуживания (ТО) данной измерительной установки. В тексте третьей главы представлена номенклатура мероприятий ТО механической и электрической частей стенда, подробно описан порядок выполнения работ на стенде с указанием соответствующих мер производственной безопасности.

Конструктивной особенностью измерительной установки является управляемый вручную, механизм поперечной подачи лабораторного образца разрушаемой среды (МППО), обеспечивающий надежное крепление образца и перемещение его в горизонтальной плоскости (вперед и назад) в направлении перпендикулярном главной оси стенда, на заданную величину. Этим обеспечивается изменение расстояния от задней вертикальной стенки лабораторного образца до линии резания, определяемой траекторией движения режущей кромки инструмента, т.е. производится установка толщины срезаемой стружки или *шага t* резания.

Установка *глубины h* резания осуществляется с помощью калиброванных стальных пластин, в необходимом количестве устанавливаемых на несущую плиту МППО под нижнюю грань образца разрушаемого материала.

Изменение значений *скорости V* перемещения измерительных преобразователей с закрепленным на них режущим инструментом (скорости резания) осуществляется установкой в первую ступень цепной передачи стенда в качестве приводной и ведущей, звездочек с различным числом зубьев в двенадцати возможных комбинациях. Диапазон значений скорости резания: $V = 0,34 \div 3,32$ м/с.

Таким образом, результатами реализации методики лабораторных экспериментальных исследований с использованием данной измерительной установки обеспечивается возможность получения измерительной информа-

ции, характеризующей силовые параметры режущего инструмента при изменяющихся значениях скорости, глубины и шага резания.

В рамках решения третьей задачи данной работы в соответствии с ее основной идеей, разработан, изготовлен и апробирован измерительный преобразователь – тензометрический элемент ИП-1, работа которого основана на использовании электротензометрического метода измерений сил, реализуемого посредством металлических тензометров сопротивления (тензорезисторов).

Выбор этого метода обусловлен конструктивной простотой резистивных преобразователей, их малой массой и относительно небольшими размерами, возможностью обеспечения измерений статически и динамически изменяющихся величин с высокой точностью, простотой способов оценки измеряемых величин.

В работе использованы фольговые константановые одиночные тензорезисторы (металлические тензометры сопротивления) производства ООО УК «Сибтензоприбор» г. Кемерово по ГОСТ 21616-91, приведены их основные технические и метрологические характеристики, структура и расшифровка условного обозначения этих изделий, а также документ об утверждении типа средств измерений.

Основной целью разработки измерительного преобразователя ИП-1 являлась адаптация лабораторного стенда к проведению операций измерительного контроля силовых параметров *полноразмерного* дискового режущего инструмента при его взаимодействии с разрушаемой прочной средой.

В описании ИП-1 автором приводится обоснование выбора материала для его изготовления, обоснование геометрической формы и размеров данного изделия, выбора участков поверхности упругого элемента для размещения тензорезисторов.

Для предварительной проверки соответствия тензометрического элемента предлагаемой конструкции требованиям, предъявляемым к таким устройствам, оценки его потенциальной работоспособности при выполнении измерительных операций в рамках решения основных задач данной работы, произведен анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) тензометрического элемента в сборе с П – образным кронштейном, посредством исследования 3D модели данного узла средствами САПР *Solid Works Simulation* по методу конечных элементов.

При этом были приняты следующие условия и допущения:

– $3D$ – модель исследуемого узла – твердотельная сборка деталей: несущей плиты тензометрического элемента, тензометрической балки, П – образного кронштейна и вала, несущего дисковый резец;

– все детали сборки жестко закреплены между собой, а их взаимодействие описывается контактными условиями «Нет интерференции»;

– для закрепления узла в модельном пространстве используется граничное условие «Зафиксировано», приложенное к верхней плоскости несущей плиты тензометрического элемента;

– материал тензометрического элемента – Сталь 50ХФА ГОСТ 14959-79;

– материал П – образного кронштейна – Сталь 45 ГОСТ 1050 – 88;

– прилагаемая нагрузка (сила) приведена к оси вращения дискового режущего инструмента, при испытаниях размещаемого на валу в отверстиях П – образного кронштейна;

– материал вала – Сталь 45 ГОСТ 1050 – 88;

– линии действия каждой из составляющих прилагаемой силы параллельны соответствующим осям трехмерной системы координат (для вертикальной составляющей – оси « Y », для горизонтальной составляющей – оси « X », для боковой составляющей – оси « Z »);

– максимальная величина нагрузки, прилагаемой к тензометрическому элементу составляет 3000 Н.

На рисунке 1 показан процесс нагружения $3D$ – модели исследуемого узла, в направлении действия *горизонтальной* P_r составляющей измеряемой силы в режиме «*Эквивалентная деформация*». Очевидно, что в результате такого воздействия, на противоположных (передней и задней) сторонах тензобалки образуются зоны наибольших деформаций. Размеры этих зон имеют четкое графическое и цветовое выделение. Деформации каждой из сторон равны по величине, но противоположны по знаку, так как передняя сторона тензобалки подвержена деформации растяжения, а противоположная задняя – деформации сжатия.

Анализ распределения деформаций по поверхности упругого элемента позволяет уточнить место расположения на теле тензобалки условного сечения, на уровне которого будут располагаться зоны ее поверхности для размещения тензорезисторов блока контроля горизонтальной P_r составляющей измеряемой силы. Исключая пояс максимальных деформаций №1 и пояса минимальных деформаций №6 и №7, получаем участок деформируемой зоны, по площади которого деформации распределены равномерно, а их значения стабильны.

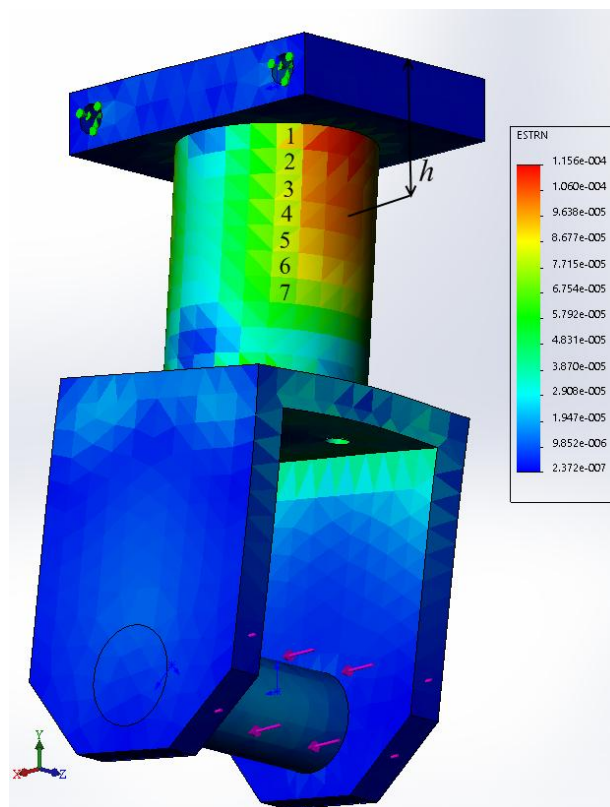


Рисунок 1 – Распределение эквивалентных деформаций по телу упругого элемента под воздействием горизонтальной составляющей измеряемой силы

Размещением тензорезисторов на таких участках обеспечивается возможность получения стабильных и мощных электрических сигналов на выходе мостовых (полумостовых) схем соответствующих измерительных блоков. На уровне условного сечения, проходящего через точку в центре этого участка, образуемого поясами №№ 2 – 5, на высоте $h = 55$ мм от верхней грани несущей плиты, в плоскости, перпендикулярной главной оси прибора, следует размещать тензорезисторы измерительного блока горизонтальной P_T составляющей контролируемой силы.

Следующим этапом исследования 3D – модели исследуемого узла было ее нагружение в направлении действия *горизонтальной* составляющей измеряемой силы в режиме «*Эквивалентные напряжения*». Величина максимальных эквивалентных напряжений материала упругого элемента – стали 50ХФА составила 46,832 МПа. При этом тридцатипроцентное ограничение по пределу текучести, предписанное для материалов тензометрических элементов, для стали 50ХФА составляет 324 МПа. Следовательно, возникновение пластических деформаций в материале тензометрического элемента при

его работе будет исключено, а влияние гистерезиса на точность измерений сведено к минимуму.

В описанном выше порядке был смоделирован процесс нагружения 3D – модели исследуемого узла, в направлении действия *боковой* и *вертикальной* составляющих измеряемой силы. В результате этого определена высота $h = 65$ мм условного сечения тензобалки, на уровне которого следует располагать тензорезисторы блока контроля боковой P_b составляющей измеряемой силы.

Для минимизации взаимного влияния трех составляющих измеряемой силы друг на друга при работе тензометрического элемента, для размещения рабочих тензорезисторов блока измерения вертикальной P_v составляющей измеряемой силы, было необходимо выбрать зоны поверхности тензобалки, величина деформаций которых под воздействием горизонтальной и боковой составляющих не превышает величины деформаций, возникающих под воздействием вертикальной составляющей. Такие зоны определены в результате комплексного анализа распределения эквивалентных деформаций по телу упругого элемента под одновременным воздействием всех трех составляющей измеряемой силы. Расстояние от верхней грани несущей плиты тензометрического до места расположения на теле тензобалки 2, условного сечения для размещения рабочих тензорезисторов блока контроля вертикальной P_v составляющей измеряемой силы составило $h = 85$ мм.

Результаты анализа НДС тензометрического элемента позволили сделать предположение о том, что выбор формы тензометрического элемента, материала для его изготовления, назначение основных геометрических размеров произведены верно, а при размещении рабочих тензорезисторов на выбранных зонах поверхности упругого элемента со строгим соблюдением правил их наклейки, измерения контролируемой величины посредством использования данного тензометрического элемента, будут осуществляться с высокой степенью достоверности при допустимом гистерезисе.

Также в материалах третьей главы дается подробное обоснование формирования схем измерительных блоков каждой из составляющих измеряемой силы. Структурой каждого измерительного блока сводится к минимуму взаимное влияние указанных составляющих, а также обеспечивается схемная компенсация температурного приращения сопротивлений тензорезисторов, входящих в состав измерительных блоков.

Область применения ИП-1 в составе лабораторного стенда может быть расширена за счет установки на нем с использованием П - образного и Г - об-

разного кронштейнов (или без них), не только дисковых резцов, но и другого режущего инструмента, например экспериментальной версии зуба рыхлителя, масштабных моделей зубьев землеройных машин и т.д.

В случае использования дискового режущего инструмента, конструкцией ИП-1 и кронштейнов предусмотрена возможность изменения величины угла атаки (заднего угла) в диапазоне значений $\gamma = 0 \div 30$ градусов.

С целью расширения области применения лабораторного стенда разработан (в соавторстве), изготовлен и испытан измерительный преобразователь – тензометрический элемент ИП-2 (патент РФ на изобретение № 2461809) для выполнения операций измерительного контроля силы сопротивления твердых сред (уплотненного снега, грунтов, сыпучих материалов и т.п.) резанию и (или) перемещению отвальными рабочими органами при изучении процессов взаимодействия такого оборудования с указанными средами.

Разработанная автором «Система методов измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных образований резанию полно-размерным тангенциальным дисковым инструментом с использованием измерительного преобразователя ИП-1» представлена на рисунке 2, и включает четыре самостоятельных метода: «А», «В», «С» и «D», каждый из которых отличается конечной целью его реализации и условиями проведения экспериментальных исследований.

Реализация каждого из методов осуществляется в рамках мероприятий, предписанных методикой лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия режущего инструмента с разрушаемой средой с использованием измерительной установки – лабораторного стенда.

В качестве примера на рисунке 3 представлена схема применения метода «А». Цель реализации метода в рамках данной работы – обоснование рациональных, с позиции минимизации энергетических затрат, геометрических параметров дискового режущего инструмента.

Предполагается участие как минимум двух исполнителей – оператора информационно-измерительного комплекса и оператора измерительной установки – лабораторного стенда. Показаны функции каждого из исполнителей. Программой эксперимента предусматривается использование нескольких опытных образцов дискового режущего инструмента с различными значениями угла σ заострения режущей кромки и (или) диаметра D . Для каждого из образцов инструмента выполняется серия опытных наблюдений при изменяющихся значениях шага t и (или) глубины резания h , диапазон значений которых также устанавливается программой эксперимента.

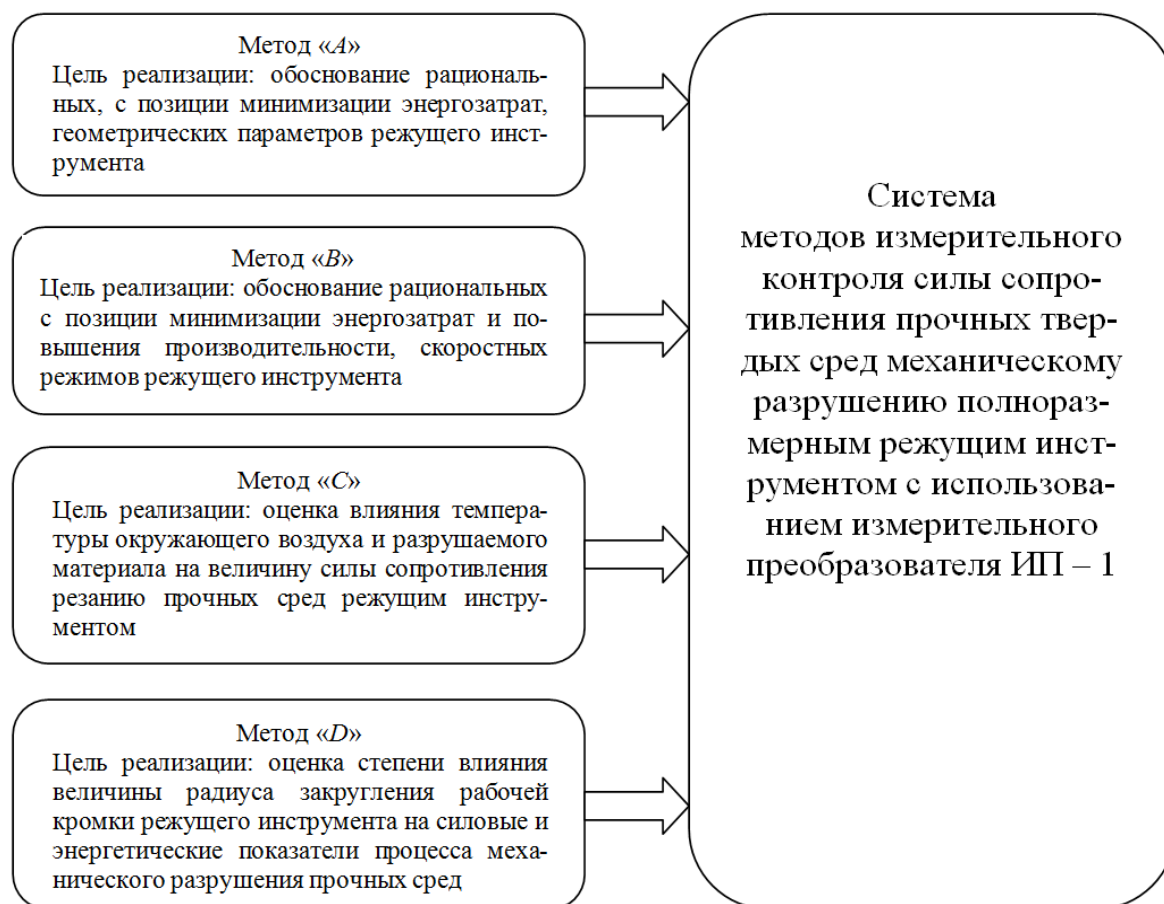


Рисунок 2 – Система методов измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию полноразмерным дисковым тангенциальным инструментом с использованием ИП-1

По окончании серии опытов для одного из образцов инструмента производится его замена на следующий, из числа образцов, приготовленных к испытаниям. Все операции в соответствии с рисунком 3 производятся до полного выполнения программы эксперимента. Запись измерительной информации для каждого опытного наблюдения и последующее ее сохранение осуществляется средствами информационно-измерительного комплекса.

На основании статистически обработанных результатов экспериментальных исследований средствами табличного процессора *Microsoft Excel* производится построение графиков зависимости каждой из составляющих силы сопротивления резанию: горизонтальной P_g , вертикальной P_v и боковой P_b , (кН) от величины угла σ заострения резца, а также зависимостей от этого параметра удельной энергоемкости E , ($\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$) процесса резания разрушаемой среды дисковым инструментом.

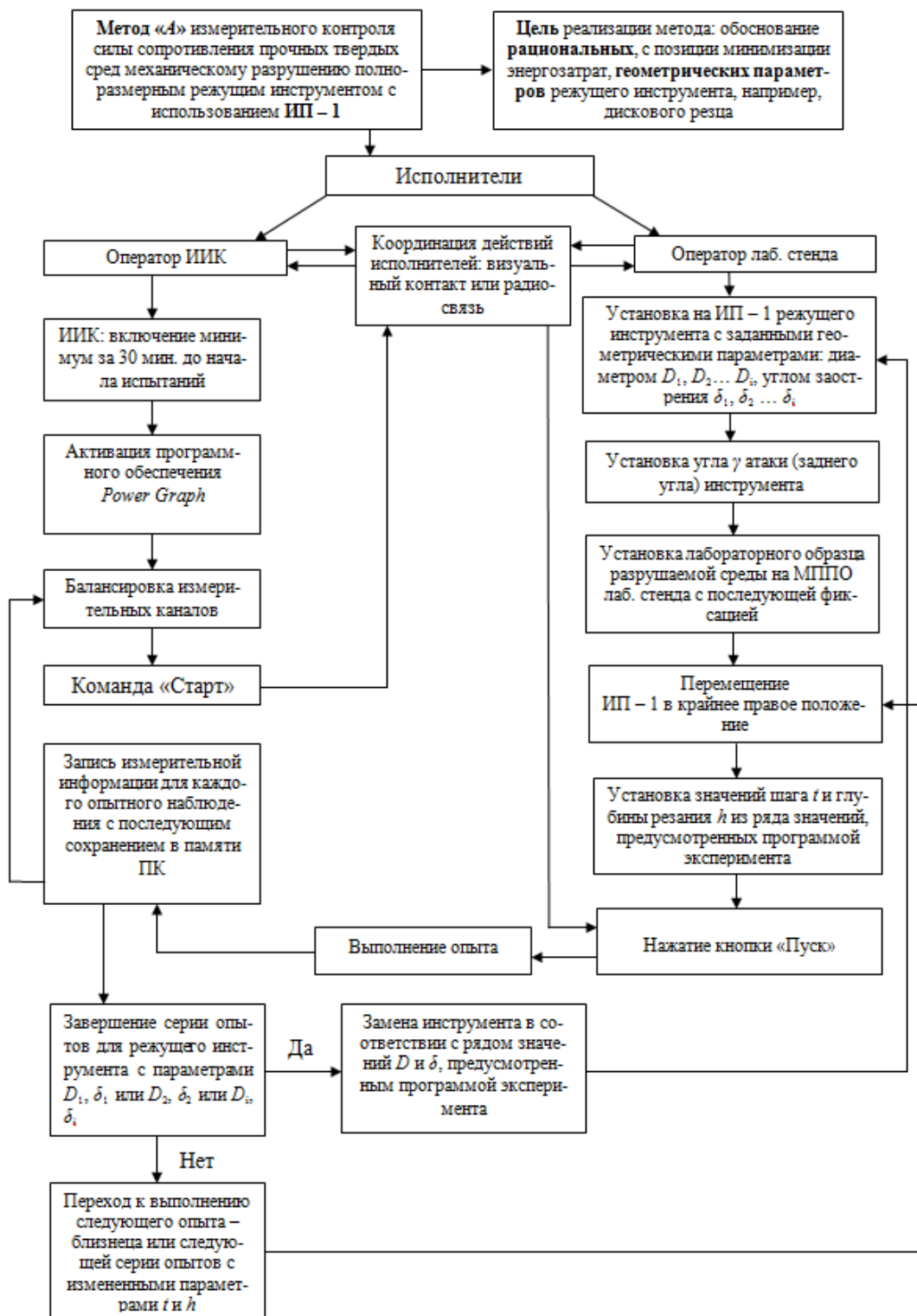


Рисунок 3 – Схема применения метода «А» с использованием ИП-1

Аналогичным образом в соответствии с разработанными схемами применения, осуществляется последовательная реализация методов «В», «С» и «D», на основании результатов которой выполняется построение графиков

зависимости каждой из составляющих силы сопротивления резанию соответственно, от скорости V резания, температуры t окружающей среды, влияющей на прочность разрушаемого материала и радиуса $R_{кр}$ закругления режущей кромки инструмента, а также графиков зависимости от этих параметров удельной энергоемкости E , (кВт ч/м³) процесса резания разрушаемой среды дисковым инструментом.

На основании результатов анализа этих графиков и определяются рациональные с позиции минимизации энергозатрат и повышения производительности конструктивные и эксплуатационные параметры дискового режущего инструмента и оснащаемого им оборудования.

Метод градуировки тензометрических элементов ИП-1 и ИП-2 по каждой из составляющих силы сопротивления резанию реализуется посредством использования измерительной установки – стенда для градуировки тензометрических элементов (патент РФ на изобретение № 2500983) и информационно-измерительного комплекса. Конструкцией стенда обеспечивается размещение и фиксация тензометрического элемента, эталонного прибора и нагружающего устройства, собранных в единую кинематическую цепь (КЦ).

Тензометрический элемент, например ИП-1, может быть закреплен на раме стенда в трех пространственных положениях, в каждом из которых, нагружающим устройством обеспечивается нагружение тензоэлемента в направлении действия одной из трех соответствующих составляющих измеряемой силы, например силы сопротивления резанию, а также последующая разгрузка. В качестве эталонного прибора может быть использован динамометр растяжения, например ДПУ-5-2 по ГОСТ 13837-79. В качестве нагружающего устройства – талреп 0,8 ГУ – ОШ по ГОСТ 9690 – 71. Для крепления элементов КЦ на раме стенда сформирован комплект крепежных деталей и соединительных элементов.

Для тарировки тензометрического элемента ИП-1 по горизонтальной составляющей P_r силы сопротивления резанию все компоненты стенда размещаются на его раме в соответствии с рисунком 4. При этом все элементы КЦ располагаются вдоль линии действия указанной составляющей силы сопротивления разрушаемой среды резанию, приведенной к оси вращения режущего инструмента, при испытаниях размещаемого на валу в отверстиях кронштейна 10.

Пошаговое ступенчатое нагружение тензоэлемента до заданной величины и последующая его ступенчатая разгрузка с тем же шагом осуществляются вращением муфты талрепа 23 в соответствующем направлении.

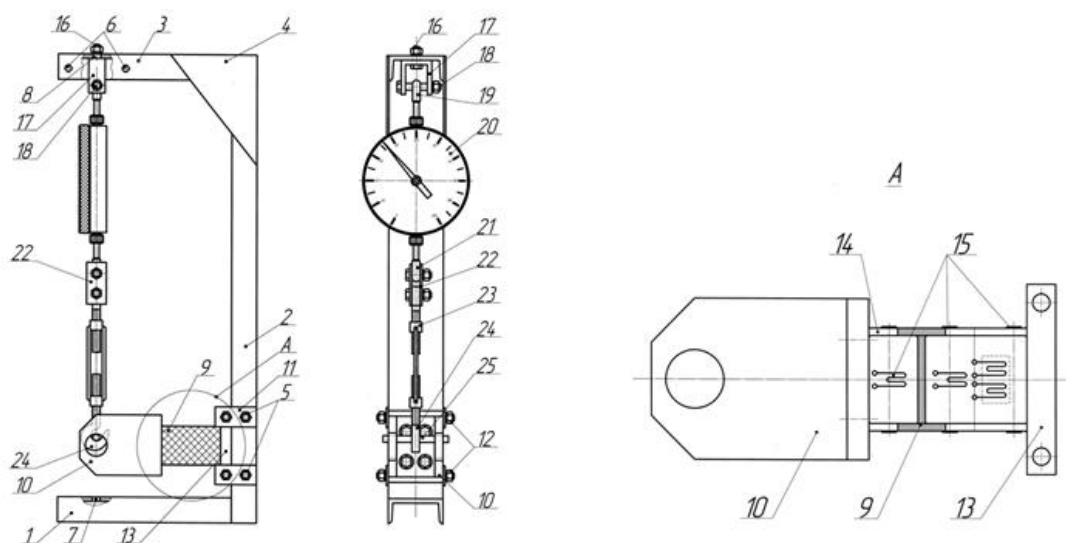


Рисунок 4 – Размещение элементов КЦ на раме станда при тарировке горизонтальной составляющей силы сопротивления резанию

Величина шага нагружения и разгрузки контролируется по показаниям динамометра 20. Запись, регистрация и хранение получаемой измерительной информации осуществляется информационно-измерительным комплексом.

Аналогичные операции производятся и при тарировке ИП-1 по вертикальной P_v и боковой P_b составляющим контролируемой силы при соответствующем размещении элементов КЦ на стенде.

Заключительным этапом реализации метода является обработка результатов тарировки тензометрического элемента средствами информационно-измерительного комплекса, построение тарировочных графиков, определение тарировочных коэффициентов для каждой из трех составляющих силы сопротивления резанию.

Для обеспечения блоков тензорезисторов измерительных преобразователей ИП-1 и ИП-2 электрическим питанием, получения измерительной информации, ее первичной обработки, усиления, преобразования в цифровую форму, записи измеряемых величин на диаграммах, регистрации, хранения полученных результатов с возможностью их дальнейшей обработки построен информационно-измерительный комплекс (ИИК), структура которого показана на рисунке 5.

В материалах Главы 3 дается общее описание ИИК, приведена электрическая схема тензометрического усилителя УТ1-10 с пояснением порядка работы составляющих ее блоков, представлены основные технические характеристики платы АЦП L-154, а также результаты анализа точности измерений, выполняемых с использованием представленного ИИК.

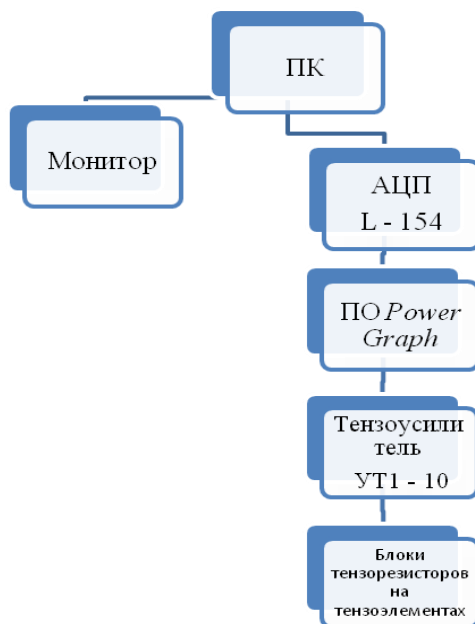


Рисунок 5 – Структурная схема информационно-измерительного комплекса

В заключительном разделе Главы 3 приводится краткое описание новой учебно-научной лаборатории «Мерзлотоведение и испытания рабочего оборудования машин нефтегазового комплекса в условиях низких температур», основой материально-технической базы которой стали средства измерительного контроля природной среды и изделий, разработанные, изготовленные и успешно испытанные в рамках данной диссертационной работы.

В четвертой главе представлены основные результаты экспериментальных исследований, полученные при последовательной реализации каждого из методов «А», «В», «С», «D» «Системы методов измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым режущим инструментом с использованием измерительного преобразователя – тензометрического элемента ИП-1».

Для каждого из этапов лабораторных экспериментальных исследований подробно описаны условия проведения эксперимента: геометрические и прочностные характеристики испытуемого инструмента, диапазоны значений глубины, шага и скорости резания, предусмотренные соответствующей программой эксперимента, основные физико-механические свойства разрушаемого материала, определяемые в преддверии каждой серии опытов (температура материала в объеме, прочность материала по показаниям твердомера, плотность и т.д.). Регистрировалась также температура окружающей среды. Для тангенциального дискового режущего инструмента указаны значения заднего угла γ (угла атаки).

Действия коллективов испытателей на каждом этапе были организованы в соответствии с Методикой лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия режущего инструмента с разрушаемой средой с использованием лабораторного стенда в рамках реализации каждого из системы методов измерительного контроля с использованием ИП-1, при предварительной тарировке измерительного преобразователя в соответствии с Методом градуировки тензометрических элементов.

На основании статистически обработанных результатов всех испытаний, предусмотренных программой эксперимента для каждого этапа исследований, построены следующие графики:

– по результатам реализации метода «А» – графики зависимости горизонтальной P_r , боковой P_b и вертикальной P_v составляющих силы сопротивления резанию от величины угла δ заострения дискового резца в диапазоне шага резания $t = 10, 20, 30$ и 40 мм, графики зависимости каждой из составляющих силы P от шага t резания при разрушении прочных СЛО дисковыми резцами с углами заострения $\delta = 15, 30, 45$ и 60° , построены графики зависимости удельной энергоёмкости E процесса резания от величины угла δ заострения дискового резца;

– по результатам реализации метода «В» – графики зависимости горизонтальной P_r , боковой P_b и вертикальной P_v составляющих силы сопротивления прочных СЛО резанию от скорости V резания с изменяющимся шагом t резания, графики зависимости удельной энергоёмкости E исследуемого процесса от скорости V резания;

– по результатам реализации метода «С» – построены графики зависимости горизонтальной P_r , боковой P_b и вертикальной P_v составляющих силы сопротивления льда резанию от температуры t_{oc} окружающей среды при изменяющихся значениях шага t резания, построены графики зависимости удельной энергоёмкости E исследуемого процесса от температуры t_{oc} окружающей среды;

– по результатам реализации метода «D» – построены графики зависимости горизонтальной P_r , боковой P_b и вертикальной P_v составляющих силы сопротивления льда резанию от радиуса $R_{кр}$ закругления режущей кромки дискового инструмента при изменяющихся значениях шага t резания, построены графики зависимости удельной энергоёмкости E исследуемого процесса от значений $R_{кр}$.

Результаты последовательной реализации на практике каждого из методов «А», «В», «С», «D» «Системы методов измерительного контроля силы

сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым режущим инструментом с использованием измерительного преобразователя – тензометрического элемента ИП-1» позволили сформулировать следующие выводы и рекомендации.

Результатами реализации метода «А» обоснованы рациональные геометрические параметры дискового режущего инструмента: диаметр $D = 200$ мм и угол заострения рабочей кромки $\delta = 30^\circ$.

Процесс взаимодействия инструмента, имеющего указанные параметры, с прочными снежно-ледяными отложениями при их механическом разрушении, протекает при малых значениях силы сопротивления резанию и при малой энергоемкости процесса.

Результатами реализации метода «В» установлены наиболее благоприятные из условия «малая энергоемкость – высокая производительность» скоростные режимы работы дискового режущего инструмента: скорость резания $V = 1,3$ м/с с шагом резания $t = 10, 20, 30$ и 40 мм, скорость резания $V = 2,2$ м/с с шагом резания $t = 50$ мм, скорость резания $V = 1,9$ м/с с шагом резания $t = 60$ мм.

Результатами реализации метода «С» установлен диапазон значений температуры окружающей среды: $t_{oc} = 0 \div -15^\circ\text{C}$ в рамках которого механическое разрушение прочных снежно-ледяных отложений на очищаемых дорожных покрытиях будет производиться наиболее эффективно – при малых значениях силы P сопротивления данной среды резанию дисковым инструментом и при малой энергоемкости E процесса. В диапазоне значений $t_{oc} = -15 \div -30^\circ\text{C}$ значения параметров P и E существенно возрастают.

Результатами реализации метода «D» установлены приемлемые (для практического применения по условию «малая энергоемкость – способность к зарезанию в разрушаемый массив») значения радиуса $R_{кр}$ закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента, увеличивающиеся по мере его износа. Для инструмента с горизонтальной осью вращения $R_{кр} = 0,5 \div 2,5$ мм. Для инструмента с осью вращения имеющей положение близкое к вертикальному (с отклонением от вертикали на угол γ) $R_{кр} = 0,5 \div 1,5$ мм.

Анализ результатов комплекса экспериментальных и теоретических исследований, изложенных в данной главе настоящей диссертационной работы, свидетельствует о том, что использованием измерительного преобразователя ИП-1, в составе измерительной установки – лабораторного стенда обеспечивается получение достоверных значений горизонтальной P_g , вертикальной P_v и боковой P_b составляющих силы сопротивления твердой среды реза-

нию дисковым инструментом. При этом взаимное влияние этих составляющих сведено к минимуму путем реализации соответствующих конструктивных и схемных решений.

Достоверность получаемых результатов на данном этапе работы обеспечивается достаточным объемом проведенных исследований, а также использованием *полноразмерного* режущего инструмента (тангенциальных дисковых резцов), а в качестве разрушаемого материала *натурных* образцов природной среды, что делает условия проведения лабораторных экспериментальных исследований максимально приближенными к реальным условиям эксплуатации снегоочистительного оборудования.

В пятой главе «Разработка методики расчета значений силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым инструментом» приводится краткое описание известной математической модели процесса взаимодействия дискового резца с прочными снежно-ледяными отложениями, на основании которой разработана данная методика. Также представлена расчетная схема сил, действующих на тангенциальный дисковый резец с непрерывным односторонним клиновым ободом, в процессе блокированного резания разрушаемой среды, описан порядок выполнения действий при использовании данной методики, приведены примеры расчета горизонтальной $P_{2Г}$, вертикальной $P_{2В}$ и боковой $P_{2Б}$ составляющих силы сопротивления прочных СЛО резанию дисковым инструментом для блокированного и полублокированного режимов резания, с использованием соответствующих конечных выражений.

Выражения для расчета составляющих силы сопротивления резанию прочных СЛО дисковым резцом при полублокированном режиме имеют следующий вид

$$P_{2Г} = Pk_{П2}(\mu_1 \cos \delta + \sin \delta)(\sin \frac{\alpha_1}{2} + f_1 \cos \frac{\alpha_1}{2}) + P_{1Б}\mu_1 \quad (2)$$

$$P_{2В} = Pk_{П2}(\mu_1 \cos \delta + \sin \delta)(1 + f_1) \cos \frac{\alpha_1}{2} \quad (3)$$

$$P_{2Б} = Pk_{П2}(\cos \delta - \mu_1 \sin \delta), \quad (4)$$

где $k_{П2}$ – эмпирический коэффициент параметров разрушения при полублокированном резании, учитывающий глубину h , шаг t резания, длину L дуги

контакта режущей кромки дискового резца со льдом и площадь S половины сегментной поверхности резца, погруженной в разрушаемый массив;

μ_1 – коэффициент внешнего трения;

f_1 – коэффициент трения в подшипнике;

δ – угол заострения дискового резца, град;

α_1 – угол поворота точки контакта K режущей кромки резца с массивом льда до точки K_1 на глубине резания h , град;

P_{16} – значение боковой составляющей силы сопротивления резанию, рассчитанное по соответствующему выражению, Кн;

P – величина давления на грани клина, возникающее при его вдавливании в полубесконечный массив, кН/м²;

1 и 2 – подстроченные индексы, обозначающие режим резания, соответственно заблокированный и полублокированный.

В условиях плоской деформации при вдавливании клина в полубесконечный массив величину давления P на грани клина можно получить из выражения, предложенного Р.Т. Шилдом

$$P = C_0 \operatorname{ctg} \varphi_2 \left[e^{2\theta \operatorname{tg} \varphi_2} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right) - 1 \right], \quad (5)$$

где C_0 – сцепление снежно-ледяного материала, кН/м²;

φ_2 – угол внутреннего трения снежно-ледяного материала, град;

θ – угол зоны радиального сдвига разрушаемого материала, вытесняемого из забоя, рад.

Очевидно, что выражения (2 – 4) учитывают влияние на величину расчетных значений составляющих $P_{2Г}$, $P_{2Б}$ и $P_{2В}$ силы сопротивления резанию, геометрических параметров инструмента (радиуса R и угла заострения δ), глубины h и шага t резания, а также физико-механических свойств разрушаемой среды, в частности ее прочности, характеризуемой параметрами C_0 и φ_2 . Значение R учитывается при расчете параметра L , величина которого изменяется пропорционально изменению величины R .

Произведя расчет указанных составляющих контролируемой силы для различных значений δ при изменяющихся t и (или) h , построив графики зависимости каждой из составляющих от значений δ при изменяющихся t и (или) h , по результатам анализа этих графиков, из условия «минимальные значения

силы сопротивления резанию», можно определить рациональные значения угла δ заострения дискового режущего инструмента.

Произведя дополнительно на основании полученных значений $P_{2Г}$ расчет удельной энергоемкости E , (кВт ч/м^3) процесса разрушения прочных СЛО дисковым инструментом с различными значениями δ при изменяющихся t и (или) h , построив графические зависимости E от значений δ при изменяющихся t и (или) h , по результатам анализа этих графиков, из условия «минимальные значения удельной энергоемкости процесса» можно определить рациональные значения угла δ заострения дискового режущего инструмента.

В финальной части пятой главы представлены графики зависимости расчетных и полученных экспериментально, по результатам реализации метода «А», значений горизонтальной $P_{Г}$ и вертикальной $P_{В}$ составляющих силы сопротивления резанию от шага t резания, изложены результаты анализа этих графиков и выводы по главе.

В качестве примера на рисунке 6 показаны графики зависимости расчетных и полученных экспериментально значений горизонтальной $P_{Г}$ составляющей силы сопротивления резанию от шага t резания при следующих равных условиях: радиус дискового резца $R = 0,1$ м; угол заострения инструмента $\delta = 30^\circ$; глубина резания $h = 0,06$ м; диапазон значений шага резания $t = 10 - 40$ мм с интервалом 10 мм.

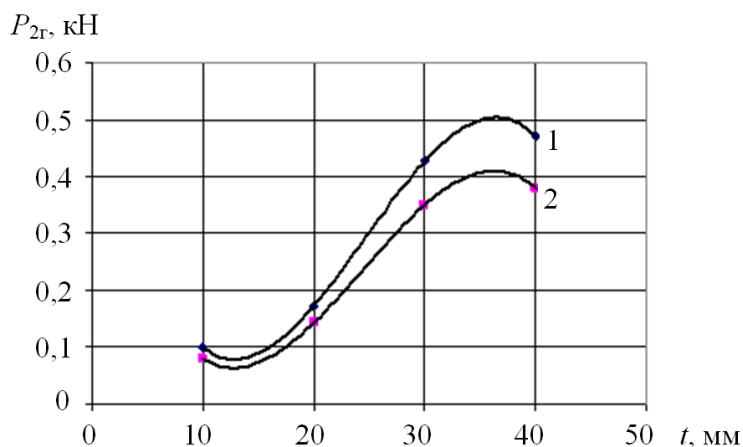


Рисунок 6 – Зависимость горизонтальной составляющей силы сопротивления резанию от шага при резании льда резцом с углом заострения $\delta = 30^\circ$: 1 – кривая экспериментальных значений; 2 – кривая расчетных значений

Как следует из графиков, сходимость расчетных и экспериментальных значений горизонтальной $P_{2Г}$ и вертикальной $P_{2В}$ составляющих силы сопротивления резанию достаточно высока. Погрешность не превышает 20 %.

Значения составляющих силы сопротивления резанию, рассчитанные в соответствии с предложенной методикой, дают удовлетворительную сходимость со значениями, полученными экспериментально, что свидетельствует о работоспособности предложенной методики расчета, а также о достоверности значений контролируемой величины, получаемых при использовании средств измерительного контроля, предложенных в данной работе.

Таким образом, методика расчета значений силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым режущим инструментом позволяет с учетом физико-механических свойств разрушаемой среды, изменяющихся глубине и шаге резания вычислять на стадии проектирования, значения контролируемой силы и определять рациональные конструктивные параметры дискового инструмента, обеспечивающие протекание данного процесса с минимальной энергоемкостью.

В шестой главе «Применение методов измерительного контроля силовых параметров снегоочистительного оборудования, оснащаемого дисковым режущим инструментом» представлены краткие рекомендации по применению предложенных в работе метода измерительного контроля прочности (несущей способности) снежно-ледяных дорожных и аэродромных покрытий, методов измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым инструментом, и силы сопротивления уплотненного снега резанию отвалом, метода градуировки тензометрических элементов, приведены схемы реализации каждого из указанных методов, реализуемых посредством использования соответствующих средств измерительного контроля, разработанных в рамках данной диссертации. Также представлена схема реализации методики лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия режущего инструмента с разрушаемой средой с использованием измерительной установки – лабораторного стенда.

В качестве примеров использования результатов реализации методов измерительного контроля силовых параметров дискового режущего инструмента применительно к конструкциям высокоэффективного снегоочистительного оборудования предложены две конструкции рабочих органов, оснащаемых таким инструментом: конструкция сменного рабочего органа отвального типа (патент РФ на изобретение № 2396389) и конструкция рабочего органа для разрушения снежно-ледяного наката на дорожных покрытиях, с дисковым инструментом, имеющим горизонтальную ось вращения (патент РФ на изобретение № 2487970).

Для каждого из представленных рабочих органов автором дается описание конструкции и порядок работы при их использовании по назначению, приводятся результаты сравнительного расчета силы W_I , (кН) сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию основным стандартным отвалом автогрейдера ДЗ-98 (ГС-25) и силы W_I^I , (кН) сопротивления этой же среды резанию отвальным рабочим органом, оснащенным дисковыми резцами и рабочим органом, с инструментом, имеющим горизонтальную ось вращения, при равной ширине захвата B , м.

Исходные данные для расчета: длина стандартного отвала $L=3,7$ м, угол установки отвала в плане $\beta = 40$ град, средняя высота удаляемого слоя снежно-ледяного наката $h_{cp} = 0,06$ м, коэффициент сопротивления льда резанию $k_{cp} = 0,15$ МПа = $1,5 \cdot 10^5$ Па. Значение данного коэффициента принято для снежно-ледового наката плотностью $\rho_C = 0,75$ г/см³ при температуре от минус 1 до минус 3 °С, предел прочности разрушаемой среды на сжатие $\sigma_{сж} = 1,8 \div 2,3$ МПа. Ширина захвата отвала при $\beta = 40^\circ$ составляет $B = 2,378$ м.

Выполнению сравнительного расчета предшествовал расчет необходимого количества n , шт. дисковых резцов размещаемых на каждом рабочем органе. Данный расчет производился для дисковых резцов с рациональными геометрическими параметрами, определенными по результатам реализации метода «А»: диаметр $D = 200$ мм, угол заострения режущей кромки $\delta = 30^\circ$. Принятое к расчету значение заднего угла (угла атаки) составило $\gamma = 5^\circ$.

На основании результатов расчета суммарной силы W_I^I , (кН) сопротивления разрушаемой среды резанию каждым из представленных рабочих органов, произведен расчет удельной энергоемкости E_I^I , (кВт ч/м³) процесса и сравнение полученных результатов со значением этого параметра E_I , обеспечиваемого стандартным отвалом автогрейдера при $W_I=21,4$ кН.

Результаты расчетов свидетельствуют о существенном, соответственно в 2,3 и 2,4 раза, снижении значений удельной энергоемкости процесса разрушения прочных СЛЮ рабочими органами предлагаемых конструкций, по сравнению со значением удельной энергоемкости этого процесса, обеспечиваемой стандартным отвалом автогрейдера.

Результаты произведенных расчетов свидетельствуют о возможности эффективного разрушения прочных снежно-ледяных отложений рабочими органами, оснащенными дисковым режущим инструментом с минимальной энергоемкостью процесса, при ожидаемой высокой производительности такого снегоочистительного оборудования.

В заключительной части Главы 6 изложены согласующиеся с материалами Главы 4, основные выводы и рекомендации по использованию высокоэффективного снегоочистительного оборудования, оснащаемого дисковым режущим инструментом, с указанием соответствующих геометрических и технологических параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, на основании выполненных автором исследований, решена научная проблема разработки и создания методологии измерительного контроля силовых параметров дискового режущего инструмента и оснащаемого им высокоэффективного снегоочистительного оборудования, имеющая, на современном этапе освоения северных и арктических территорий, важное хозяйственное значение для предприятий, обеспечивающих зимнее содержание дорожных и аэродромных покрытий.

Основные выводы, научные и практические результаты, полученные автором, и представленные в диссертации заключаются в следующем:

1. Разработан метод оперативного полевого контроля прочности (несущей способности) уплотненного снежно-ледяного покрова грунтовых аэродромов и автодорог, реализуемый посредством использования нового измерительного прибора – твердомера, обеспечивающий получение достоверных значений контролируемой величины в диапазоне нормативных для такого вида покрытий значений: $294,3 \div 979,7$ кПа ($3,0 \div 10,0$ кгс/см²) при средней относительной погрешности измерений 7%.

2. Разработана методика лабораторных экспериментальных исследований процесса взаимодействия дискового режущего инструмента с разрушаемой средой с использованием новой измерительной установки – лабораторного стенда, обеспечивающая стабильное получение измерительной информации, характеризующей силовые параметры дискового резца, диаметром $D = 0,2$ м в диапазонах значений: шага резания $t = 0,00 \div 0,06$ м, глубины резания $h = 0,00 \div 0,06$ м, скорости резания $V = 0,34 \div 3,32$ м/с.

3. Обоснована конструкция измерительного преобразователя ИП-1, обеспечивающая, при работе в составе измерительных установок, получение достоверных значений силы сопротивления разрушаемой прочной среды резанию дисковым инструментом одновременно по горизонтальной, вертикальной и боковой составляющим в диапазоне значений $P = 0 \div 2500$ Н.

4. Разработан метод градуировки тензометрических элементов, реализуемый посредством использования предлагаемой в работе новой измери-

тельной установки – градуировочного стенда, чем обеспечивается тарировка измерительного преобразователя ИП-1 в диапазоне значений $P = 0 \div 2500$ Н последовательно, по трем составляющим силы сопротивления резанию, с минимальными затратами труда и времени при использовании только одного эталонного прибора – динамометра растяжения.

5. Проведены экспериментальные лабораторные исследования процесса взаимодействия дискового режущего инструмента с прочными снежно-ледяными отложениями, результатами которых, при последовательной реализации каждого из методов «А», «В», «С», «D» Системы методов измерительного контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым режущим инструментом с использованием измерительного преобразователя ИП-1, установлены закономерности изменения значений контролируемой силы в зависимости от величины угла заострения инструмента, скорости резания, температуры окружающей среды, влияющей на прочность разрушаемого материала, и радиуса закругления рабочей кромки инструмента, при изменяющихся параметрах среза.

На основании полученных результатов сформулированы практические рекомендации по выбору рациональных конструктивных и эксплуатационных параметров дискового режущего инструмента и оснащаемого им высокоэффективного снегоочистительного оборудования:

а) в качестве одиночного режущего инструмента, для группового применения в конструкциях разрабатываемого снегоочистительного оборудования следует использовать тангенциальный дисковый резец диаметром $D = 0,2$ м и углом заострения рабочей кромки $\delta = 30^\circ$.

Процесс взаимодействия дискового инструмента, имеющего указанные параметры, с прочными снежно-ледяными отложениями при их механическом разрушении, протекает при малых значениях силы сопротивления резанию и при малой энергоёмкости процесса.

б) выбор наиболее благоприятных из условия «малая энергоёмкость – высокая производительность» скоростных режимов разрабатываемого оборудования следует производить с учетом величины шага t резания: скорость резания $V = 1,3$ м/с при резании с шагом $t = 10, 20, 30$ и 40 мм, скорость резания $V = 2,2$ м/с при резании с шагом $t = 50$ мм, скорость резания $V = 1,9$ м/с при резании с шагом $t = 60$ мм. Величина шага t резания определяется принятой для каждой конкретной конструкции рабочего оборудования, схемы группового размещения на нем дискового инструмента.

в) высокоэффективное механическое разрушение прочных снежно-ледяных отложений на очищаемых дорожных покрытиях снегоочистительным оборудованием с дисковым инструментом, будет иметь место при температуре окружающей среды в диапазоне значений $t_{oc} = 0 \div -15^{\circ}\text{C}$.

Процесс взаимодействия дискового инструмента с разрабатываемой средой в указанных температурных условиях протекает при малых значениях силы сопротивления данной среды резанию таким инструментом и стабильных значениях удельной энергоемкости процесса. В температурном диапазоне $t_{oc} = -15 \div -30^{\circ}\text{C}$ значения указанных параметров существенно возрастают.

г) приемлемыми для практического применения по условию «малая энергоемкость – способность к зарезанию в разрушаемый массив» значениями радиуса $R_{кр}$ закругления рабочей кромки дискового инструмента являются следующие: для инструмента с горизонтальной осью вращения $R_{кр} = 0,5 \div 2,5$ мм; для инструмента с осью вращения имеющей положение близкое к вертикальному (с отклонением от вертикали на величину угла атаки γ) $R_{кр} = 0,5 \div 1,5$ мм.

6. Разработана методика расчета значений силы сопротивления прочных снежно-ледяных отложений резанию дисковым режущим инструментом, позволяющая с учетом физико-механических свойств разрушаемой среды, изменяющихся глубине и шаге резания вычислять на стадии проектирования, значения контролируемой силы и определять рациональные конструктивные параметры дискового инструмента, обеспечивающие протекание данного процесса с минимальной энергоемкостью.

7. Создано новое структурное подразделение Сибирского федерального университета – учебно-научная лаборатория «Мерзлотоведение и испытания рабочего оборудования машин нефтегазового комплекса в условиях низких температур», основой материально-технической базы которой стали средства измерительного контроля природной среды и изделий, представленные в данной работе. Состав оборудования лаборатории позволяет реализовывать на ее базе большие программы исследований различной тематики в широком диапазоне температур, в рамках диссертационных и выпускных квалификационных работ обучающихся, разрабатывать новые лабораторные работы и практикумы для использования в учебном процессе.

На основе разработанных методов и методик сформирована новая методология измерительного контроля силовых показателей тангенциального дискового режущего инструмента, взаимодействующего с разрушаемой сре-

дой. Реализованный подход, основанный на комплексном использовании системы основных и ряда вспомогательных методов измерительного контроля, методики экспериментальных исследований и методики расчета, обеспечивает получение наиболее полной измерительной информации, характеризующей силовые параметры дискового инструмента с целью обоснования на стадии разработки, рациональных с позиции минимизации энергозатрат и повышения производительности конструктивных и эксплуатационных параметров такого инструмента и оснащаемого им оборудования.

Направления дальнейших исследований

1. Исследование силовых и энергетических параметров дискового режущего инструмента при его взаимодействии с прочными снежно-ледяными отложениями, содержащими абразивные включения.

2. Разработка устройств, обеспечивающих при работе в составе лабораторного стенда, возможность испытания образцов разрушаемой среды на одноосное сжатие и растяжение (разрыв).

3. Модернизация методики расчета силы сопротивления разрушаемой среды резанию дисковым инструментом с целью обеспечения возможности автоматизированного вычисления значений составляющих указанной силы с учетом влияния на их величину (наряду с углом заострения и диаметром инструмента, изменяющихся параметров среза и физико-механических свойств разрушаемой среды) таких факторов как скорость резания и радиус закругления рабочей кромки дискового инструмента.

4. Разработка и создание опытных образцов высокоэффективного снегоочистительного оборудования, оснащаемого дисковым режущим инструментом для работы в составе с малогабаритными базовыми машинами.

Список основных работ, опубликованных автором по теме диссертации

Монографии

1. Ганжа, В.А. Разрушение снежно-ледяных образований механическим способом : монография / В. А. Ганжа. – Красноярск :Сиб. федер. ун-т, 2012. – 192 с.

2. Ганжа В. А., Технические средства разрушения снежно-ледяных образований. Пути расширения области применения механического способа зимнего содержания аэродромов и автомобильных дорог : монография / В.А.

Ганжа, Ю.Н. Безбородов, П.В. Ковалевич. – Саарбрюккен : *LAP LAMBERT Academic Publishing* , 2012. – 192 с.

3. Верещагин В.И. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография / В.И. Верещагин, В.С. Янович, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, В.А. Ганжа. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.

4. Ганжа, В. А. Разрушение снежно-ледяных образований механическим способом : монография / В. А. Ганжа, В.И. Верещагин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, изд. второе, испр. и доп., 2018. – 202 с.

Публикации в журналах из перечня ВАК РФ

5. Желукевич, Р. Б. Устройство для определения показателей прочности уплотненного снежного покрова / Р. Б. Желукевич, В. А. Ганжа, Ю. Н. Безбородов // *Строительные и дорожные машины*. – 2010. – № 1. – С. 26 – 27.

6. Желукевич, Р. Б. Рабочий орган для удаления снежно-ледяного наката с поверхности дорог и аэродромов / Р. Б. Желукевич, В. А. Ганжа, Ю. Н. Безбородов // *Строительные и дорожные машины*. – 2011. – № 1. – С. 61.

7. Ганжа, В.А. Дисковый режущий инструмент для разрушения снежно-ледяных образований / В.А. Ганжа, Ю.Н. Безбородов, Р.Б. Желукевич, Н.Н. Малышева, П.В. Ковалевич // *Наука и техника в дорожной отрасли*. – 2012. – №2. – С. 34 – 37.

8. Ганжа, В.А. Механическое разрушение прочных снежно-ледяных образований дисковым режущим инструментом / В.А. Ганжа, Ю.Н. Безбородов, Ю.Ф. Кайзер, Н.Н. Малышева, П.В. Ковалевич // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2012. – Том 14 – №1(2). – С. 360 – 363.

9. Ковалевич, П.В. Устройство для тарировки тензоэлементов / П.В. Ковалевич, В.А. Ганжа, Ю.Н. Безбородов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2012. – №6. – С. 105–108.

10. Ганжа, В.А. Лабораторный стенд для испытания рабочих органов землеройных машин / В.А. Ганжа, П.В. Ковалевич, О.Н. Петров // *Вестник Казанского Технологического университета*. – 2013. – №1. – С. 229–231.

11. Ганжа, В.А. Стенд для проверки тензометрических элементов / В.А. Ганжа, П.В. Ковалевич, О.Н. Петров // *Вестник Казанского Технологического университета*. – 2013. – №1. – С. 232–234.

12. Шрам, В.Г. Модернизация стенда для испытания режущего инструмента рабочих органов строительных и дорожных машин / В.Г. Шрам, В.А.

Ганжа, П.В. Ковалевич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – №3. – С. 78–80.

13. Желукевич, Р.Б. Устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях / Р. Б. Желукевич, В. А. Ганжа, А.В. Лысянников [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2013. – № 4. – С. 62.

14. Ганжа В.А. Универсальные транспортно-технологические машины для сельского хозяйства / В.А. Ганжа, Ю.Ф. Кайзер, П.В. Ковалевич // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №8. – С. 137–142.

15. Ганжа В.А. Влияние скорости резания на силовые и энергетические показатели процесса разрушения льда дисковым режущим инструментом / В.А. Ганжа, Ю.Н. Безбородов, П.В. Ковалевич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – №6. – С. 105 – 110.

16. Ганжа В.А. О классификации автогрейдеров / В. А. Ганжа, Е.Г. Зеленкова. // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 2. – С. 2 – 6 .

17. Ганжа В.А. Универсальные транспортные средства / В.А. Ганжа, Ю.Н. Безбородов, П.В. Ковалевич // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 3. – С. 10 – 14.

18. Ганжа, В.А. Разрушение прочных снежно-ледяных образований / В.А. Ганжа [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2015. – №3. – Стр. 21 – 23.

19. Ганжа, В.А. об основных источниках загрязнений придорожной полосы автомобильных дорог и мерах снижения их негативного влияния на экосистему / В.А. Ганжа, [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2016. – №4. – Стр. 28 – 30.

20. Сатышев А.С. Измерительный преобразователь лабораторного стенда для испытания рабочих органов специальных машин аэродромно-технического обеспечения / А.С. Сатышев, Ю.Н. Безбородов, В.А. Ганжа // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – Т. 19. – № 3. Стр. 526 – 531.

21. Сатышев А.С. Методика обработки экспериментальных данных при контроле нагрузочных параметров разрушения снежно-ледяных образований дисковым режущим инструментом / А.С. Сатышев, В.А. Ганжа, Ю.Н. Безбородов // Системы. Методы. Технологии. – 2018. – № 3(39). Стр. 19 – 23.

Патенты

22. Пат. 2350923 Российская Федерация, МПК G 01N 3/42. Твердомер / Р. Б. Желукевич, В. Н. Подвезенный, В. А. Ганжа; заявитель и патентообладатель

тель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2007117229/28; заявл. 08.05.2007; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9.

23. Пат. 2396389 Российская Федерация, МПК E 01H 5/12. Рабочий орган для удаления снежно-ледяного наката с поверхности дорог и аэродромов / Р. Б. Желукевич, В. А. Ганжа, Ю. Н. Безбородов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2009121899/11; заявл. 08.06.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22.

24. Пат. 2429459 Российская Федерация, МПК G01M 13/00. Стенд для испытания рабочих органов землеройных машин / В. А. Ганжа, Р. Б. Желукевич, Ю. Н. Безбородов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2010116560/28; заявл. 26.04.2010; опубл. 20.09.2011, Бюл. № 26.

25. Пат. 2461809 Российская Федерация, МПК G01N 3/58. Стенд для измерения сопротивления грунтов и снежно-ледяных образований резанию / Р. Б. Желукевич, А.В. Лысянников, Ю.Ф. Кайзер, В. А. Ганжа; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2011 119 793/28; заявл. 17.05.2011; опубл. 20.09.2012, Бюл. № 26.

26. Пат. 2463407 Российская Федерация, МПК E 01H 5/12. Устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях / Р. Б. Желукевич, В. А. Ганжа, А.В. Лысянников, Ю.Ф. Кайзер, Ю.Н. Безбородов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2011 114 706/13; заявл. 14.04.2011; опубл. 10.10.2012.

27. Пат. 2487970 Российская Федерация, МПК E 01H 5/12. Рабочий орган для удаления снежно-ледяного наката с поверхности дорог и аэродромов / В.А. Ганжа, Ю.Н. Безбородов; Н.Н. Малышева, П.В. Ковалевич; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2012 109 412/13; заявл. 12.03.2012; опубл. 20.07.2013.

28. Пат. 2500983 Российская Федерация, МПК G01B7/16. Стенд для градуировки тензоэлементов / В.А. Ганжа, П.В. Ковалевич; Н.Н. Малышева, И.В. Каптюк; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2012 121 697/28; заявл. 25.05.2012; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.

29. Пат. 2550375 Российская Федерация, МПК G01N3/42. Твердомер / В.А. Ганжа; заявители и патентообладатели В.А. Ганжа, П.В. Ковалевич – № 2014 105 740/28; заявл. 17.02.2014; опубл. 10.05.2015, Бюл. № 13.