

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНЫХ МАШИН

Сатышев Антон Сергеевич, старший преподаватель, satushev@gmail.com¹,
Ганжа Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент, vladimirganzha@yandex.ru¹

¹Институт нефти и газа «Сибирский Федеральный Университет», 660041, г. Красноярск, Свободный проспект, 82 ст. 6

Аннотация

Актуальность работы. Для выполнения программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» утвержденной постановлением правительства [1] необходимо реализовать стратегию [2]. Согласно которой предусмотрена интеграция Арктической зоны с основными районами России посредством: освоения и разработки месторождений углеводородов, цветных и драгоценных металлов; формирования современных транспортно-логистических узлов и опорной сети автомобильных дорог; развития, реконструкции и модернизации аэропортовой сети.

Это повлечет за собой необходимость содержания, вновь построенных и реконструированных, автомобильных дорог и аэродромов в зимний период. Длительность которого в некоторых районах превышает 140 дней в году. Самые сложные и ответственные мероприятия по содержанию дорожных покрытий, различного назначения, направлены на разрушение и удаление снежно-ледяных образований (СЛО). Известны несколько способов борьбы со СЛО: химико-механический; фрикционный; тепловой; механический. Последний способ позволяет разрушать и удалять СЛО с дорожных покрытий не нанося вреда окружающей среде, а также: экономить на химических реагентах, топливе; сохранять целостность дорожного полотна. Это закрепляет за механическим способом первенство в разработке и проектировании новых рабочих органов дорожных машин.

Однако, существует ниша в которой данный способ является мало эффективным, а именно удаление прочных снежно-ледяных образований (ПСЛО). Это обусловлено их физико-механическими свойствами: плотность $\rho = 0,6 \div 0,9 \text{ г/см}^3$; предел прочности на сжатие $\sigma = 2,5 \div 2,8 \text{ МПа}$; толщина слоя $h \leq 100 \text{ мм}$; температура исследуемой среды $-2^\circ\text{C} \div -10^\circ\text{C}$. Существующие рабочие органы или не приспособленные для их разрушения или делают это мало эффективно. Для повышения производительности и снижения энергоемкости при удалении ПСЛО предложено применение дискового режущего инструмента [3 – 5]. Однако, с применением дискового режущего инструмента встает вопрос создания высокоэффективных рабочих органов, на стадии проектирования которых необходимо знать силовые параметры, величина которых зависит от множества факторов. Например, таких, как: скорость резания; геометрические параметры инструмента; температура окружающей среды и разрушаемого материала; степени износа, обусловленная величиной радиуса закругления рабочей кромки.

Цель работы: подготовка инструментальной базы для выявления зависимости силовых параметров, а именно силы сопротивления резанию прочных снежно-ледяных образований, от таких факторов как радиус закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента и шаг резания. Работа является продолжением серии экспериментальных исследований процессов взаимодействия дискового режущего инструмента с ПСЛО, в течении ряда лет, проводимых в Сибирском Федеральном Университете.

Методы исследования: При решении поставленной задачи применен комплексный подход, включающий: научный анализ и обобщение опыта проведенных ранее исследований; тарирование измерительного преобразователя на специальном стенде; математическую и статистическую обработку результатов тарирования.

Результаты: Были получены тарифовочные коэффициенты преобразования напряжения с измерительного преобразователя в значение силы для каждой составляющей. Сделаны выводы о корректности подбора материала тезометрического элемента и правильности наклейки тезорезисторов. Подтверждена гипотеза о исключении взаимного влияния измеряемых составляющих друг на друга.

The urgency of the discussed issue. To implement the government program «Socio-economic development of the Arctic zone of the Russian Federation for the period until 2020» approved by government decision [1] need to implement the strategy [2]. According to which the integration of the Arctic zone with the main regions of Russia is envisaged through: the exploitation of hydrocarbons, non-ferrous and precious metals; the formation of modern transport-logistics nodes and the core network of roads; development, reconstruction and modernization of the airport network.

This will require the maintenance, newly built and reconstructed roads and airfields during winter. The duration of which in some areas is more than 140 days a year. The most complex and important arrangements for the maintenance of road surfaces, for various purposes, aimed at the destruction of and removal of snow-ice formations (SIF). There are several ways of dealing with the SIF: chemical-mechanical; frictional; heat; mechanical. The latter method allows you to destroy and remove SIF from pavements without causing harm to the environment and to save on chemical reagents, fuel; to maintain the integrity of the roadway. It establishes mechanically the leader in the development and design of new workers on road cars.

However, there is a niche in which this method is not very effective, namely the removal of persistent snow-ice formations (PSIF). This is due to their physico-mechanical properties: density $\rho = 0,6 \div 0,9 \text{ g/sm}^3$; the limit of compressive strength $\sigma = 2,5 \div 2,8 \text{ MPa}$; the thickness of the layer $h \leq 100 \text{ mm}$; the temperature of the test medium $-2^\circ\text{C} \div -10^\circ\text{C}$. Existing working bodies or are not adapted to their destruction, or make it not effective. To improve performance and reduce energy consumption when you remove PSIF proposed the use of disk cutting tool [3 – 5]. However, with the use of disk cutting tool, the problem of creation of highly effective working bodies, at the design stage need to know about force parameters, the value of which depends on many factors. Such as: cutting speed; the geometrical parameters of the instrument; ambient temperature and destructible material; value of the radius of curvature of the working edge.

The main aim of the study: preparation of the instrumental base for determining the dependence of the force parameters, namely force of resistance to cutting persistent snow-ice formations on factors such as the radius of curvature of the working edge of the disk cutting tool and the step of cutting. The work is a continuation of a series of experimental researches of processes of interaction of disc cutting tools with PSIF, for a number of years, held in Siberian Federal University.

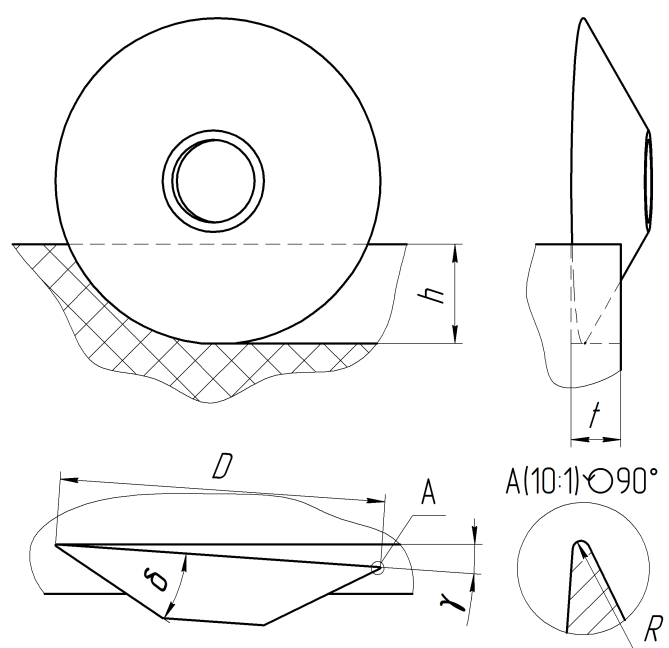
The methods used in the study: When solving the problem we used a comprehensive approach including: scientific analysis and generalization of the experience of earlier studies; calibration of the measuring transducer on a special test bench; mathematical and statistical processing of the results of the calibration.

The results: The calibration coefficients of the voltage conversion from the measuring transducer to the value of the force for each component were obtained. Conclusions are made about the correctness of the selection of the material of the tezometric element and the correctness of the paste on of the tezo-resistors. The hypothesis on exclusion of mutual influence of measured components against each other is confirmed.

Ключевые слова: снежно-ледяные образования, дисковый режущий инструмент, силовые параметры, радиус закругления, лёд, радиус закругления рабочей кромки.

1 Условия проведения эксперимента

Для более объективного изучения процесса взаимодействия дискового инструмента с ПСЛО предлагается контролировать три составляющие силы резания: горизонтальную, боковую и вертикальную. Контроль этих составляющих непосредственно на рабочем органе мало эффективен, так как: требует больших трудозатрат и дорогостоящего оборудования (датчики силы, оснастка для их монтажа); невозможно изолировать влияние температуры окружающей среды, влажности, теплозапаса дорожного полотна и других факторов друг на друга; постоянно меняются физико-механические свойства ПСЛО (прочность, плотность, наличие абразивного материала). Поэтому, опираясь на результаты работ по резанию мерзлых грунтов различными инструментами [6 – 9], целесообразно исследовать процесс взаимодействия полноразмерного дискового режущего инструмента (см. рисунок 1) с различным радиусом закругления рабочей кромки с разрушаемым массивом путем стендовых испытаний в лабораторных условиях.



R — радиус закругления рабочей кромки; t — шаг резания; D — диаметр дискового резца; δ — угол заострения; h — глубина резания; γ — задний угол.

Рис. 1. Схема взаимодействия дискового режущего инструмента с разрушаемым массивом

При проведении экспериментальных исследований использовались дисковые резцы с различным радиусом закругления рабочей кромки $R = [0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5]$ мм. Данный диапазон значений обусловлен результатами исследованиями изнашивания режущей кромки проведенными в работе [7]. Скорость резания: $0,51 \text{ м/с}$ ($1,84 \text{ км/ч}$). Температура окружающего воздуха: $-2^\circ\text{C} \div -7^\circ\text{C}$. Остальные параметры дискового режущего инструмента приняты следующими: диаметр: $D = 200$ мм.; угол заострения: $\delta = 30^\circ$; глубина резания: $h = 60$ мм.; шаг резания: $t = [10; 20; 30; 40; 50]$ мм.; задний угол: $\gamma = 3^\circ \div 5^\circ$; материал: термообработанная сталь 40ХН (HRC 52 – 54) [10]. Для проведения эксперимента использовался механизированный лабораторный стенд описанный в работе [11] конструкция которого защищена патентом на изобретение № 2429459 [12]. Для фиксации и записи информации применен измерительный комплекс описанный в статье [13].

2 Тензометрический измерительный элемент

Тензометрическая балка представляет собой тонкостенную цилиндр (рисунок 2) с прямоугольным основанием, служащим креплением к лабораторному стенду. Изделие

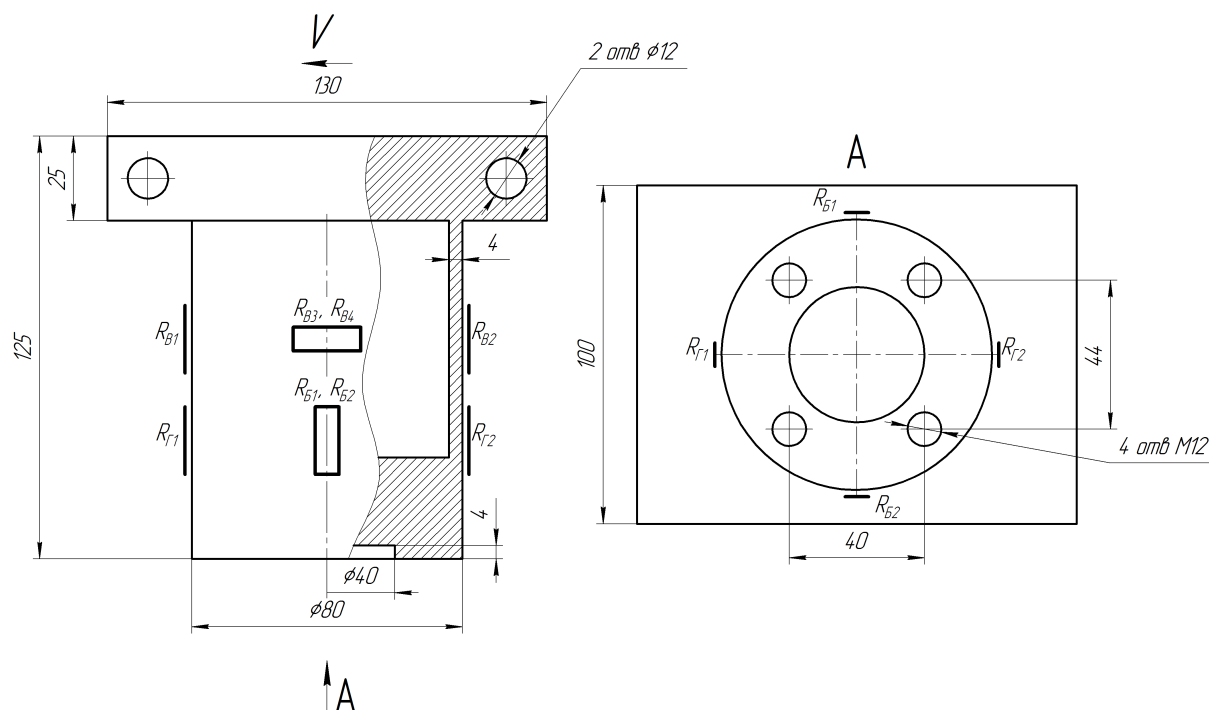


Рис. 2. Чертеж тензометрического измерительного элемента

выполнено из стали марки 55C2 [10]. При приложении усилий к такой балке происходит её упругая деформация, на которую реагируют наклеенные на неё тензорезистивные элементы (2ФКПА 20 200 ГВ) путем изменения своего сопротивления. На рисунке 2 приведена схема наклейки чувствительных элементов.

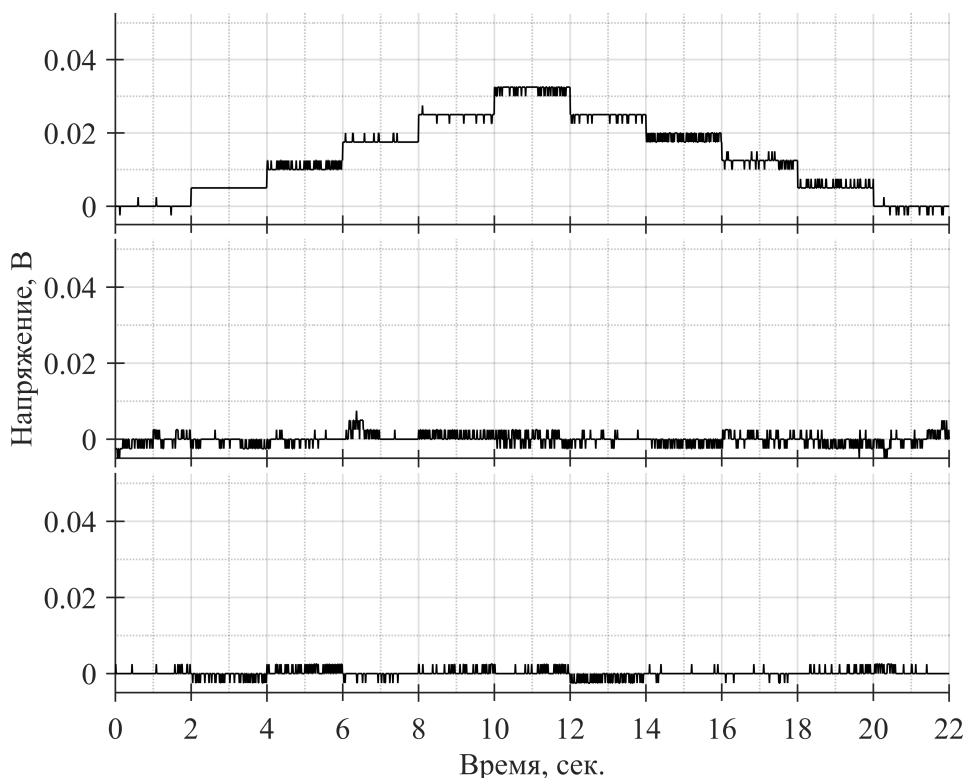
Для измерения горизонтальной составляющей приложенного усилия используется полумостовая схема включения, с избирательной чувствительностью, тензорезистор R_{T1} включён в первое плечо измерительного моста, а R_{T2} – в четвёртое. Такая схема позволяет обеспечить избирательную чувствительность тензометрического моста к деформации изгиба, возникающей в следствии действия горизонтальной составляющей приложенного усилия, и не чувствительна к деформации растяжения-сжатия, возникающей в следствии действия вертикальной составляющей. Для боковой составляющей используется схема включения тензорезисторов аналогичная приведённой выше. Тензорезистор R_{B1} включён в первое плечо измерительного моста, а R_{B2} – в четвёртое. Для измерения вертикальной составляющей, диаметрально расположенные тензорезисторы R_{B1} и R_{B2} необходимо включить в одно плечо полумоста. Во второе плечо включаются компенсационные тензорезисторы R_{B3} и R_{B4} , обеспечивающие также термокомпенсацию. Все схемы включения обеспечивают термокомпенсацию и компенсацию сопротивления соединительных проводов.

3 Тарирование тензометрического звена

Для тарирования тензометрического звена, описанного выше, применялся стенд, конструкция которого защищена патентом на изобретение № 2500983 [14], позволяющий закреплять звено в различных пространственных положения и соответственно создавать требуемый вектор нагрузки. Тарирование производилось с помощью: одного измеритель-

ного прибора — динамометра растяжения ДПУ-5-2 5033 второго класса точности; талрепа и вспомогательной оснастки для крепежа тензометрического звена.

Нагрузка звена осуществлялась ступенчато, с шагом 500 Н, до предельного значения в 2 500 Н. Разгрузка производилась с тем же шагом до нулевого значения. На рисунке 3 приведена диаграмма переходных процессов возникающих во время тарирования. Из неё явно видно, что исключено взаимное влияние составляющих друг на друга. Используя



С веху вниз: горизонтальная, боковая, вертикальная составляющие усилия резания

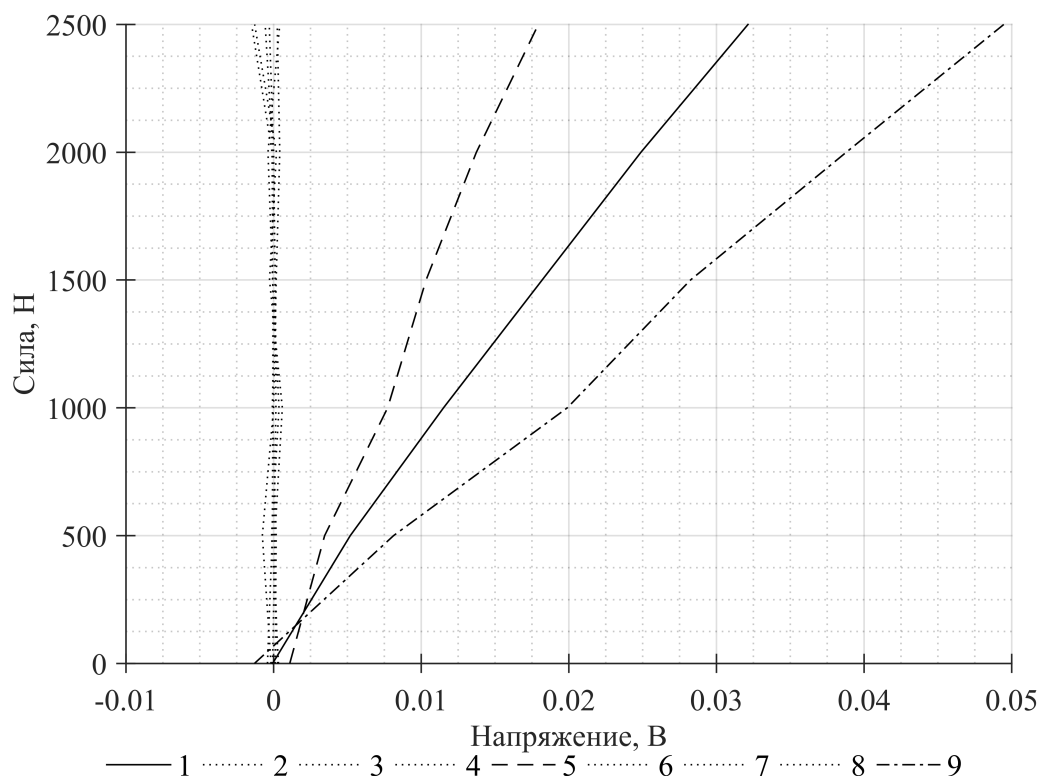
Рис. 3. Диаграмма переходных процессов при тарировании горизонтальной составляющей усилия резания

данные из диаграммы приведенной на рисунке 3 составим таблицу 1 зависимости напряжения, снимаемого с тензометрических датчиков, от прилагаемого, к тензометрическому звену, усилия.

Таблица. 1. Зависимость напряжения на каналах оцифровки от приложенной силы в процессе тарирования горизонтальной составляющей усилия резания

Сила, Н	Канал измерения		
	горизонтальный, мВ	боковой, мВ	вертикальный, мВ
0	0,0687	0,175	0,325
500	5,19	0,769	0,406
1 000	11,5	0,212	0,456
1 500	18,2	0,919	0,106
2 000	24,9	0,438	0,787
2 500	32,1	0,25	0,412

Используя табличные данные (см. таблицу 1) можно получить зависимости изображенные на рисунке 4. Из них видно что силы возникающие на тензометрическом звене имеют линейную зависимость от напряжения получаемого с тензометрических мостов.



1, 2, 3 — горизонтальная, боковая, вертикальная составляющие усилия резания соответственно при тарировании горизонтальной составляющей; 4, 5, 6 — аналогично при тарировании боковой составляющей; 7, 8, 9 — аналогично при тарировании вертикальной составляющей.

Рис. 4. Графики тарирования тензометрического звена

Из таблицы 1 получим тарировочные коэффициенты: $8\,0074,568 \text{ Н/В}$, $140\,953,396 \text{ Н/В}$, $51\,338,284 \text{ Н/В}$ для горизонтальной, боковой и вертикальной составляющей усилия резания соответственно.

4 Выводы

Тарирование измерительного преобразователя является одним из важнейших факторов успешности проведения экспериментальных исследований. Известно, что на его показания может оказывать влияние множество различных переменных, например: электро магнитные поля; сопротивление проводов; температура окружающей среды. Выявление таких влияний на этапе тарирования, позволяет или полностью их устранить или заложить их учет в тарировочный коэффициент, что в свою очередь сказывается на данных полученных в ходе экспериментальных исследований. Тарирование следует проводить перед каждой серией экспериментов. Также перед каждым тарированием рекомендуется проводить тренировку измерительного преобразователя, загрузка разгрузка несколько раз, без фиксации получаемых данных. Это позволяет

Корректность и аккуратность тарирования влияет на точность будущих измерений, так как все измерения будут домножены на тарировочный коэффициент. Также в процессе тарирования измерительного преобразователя могут быть выявлены сбои в его работе,

поломки. Что позволит своевременно их устранить и обеспечить целостность экспериментальных данных.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 21.04.2014 № 366 (ред. от 17.12.2014) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года”». — 36 с.
2. Стратегия развития арктической зоны российской федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года : утв. Президентом РФ 08.02.13 Пр-232. — 11 с.
3. Дисковый режущий инструмент для разрушения снежно-ледяных образований / В. А. Ганжа [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2012. — № 2. — 34а – 37.
4. Разрушение прочных снежно-ледяных образований / В. А. Ганжа [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2015. — № 3.
5. Пат. 2487970 Рос. федерация, МПК⁷ E 01 H 5/12. Рабочий орган для удаления снежно-ледяного наката с поверхности дорог и аэродромов [Текст] / В. А. Ганжа [и др.] (Рос. федерация) ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». — № 2012109412/13 ; заявл. 10.03.2012 ; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.
6. Желукевич Р. Б. Разработка мерзлых грунтов землеройными машинами с дисковым инструментом : Монография. — Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. — 196 с.
7. Барон Л. И. Разрушение горных пород проходческими комбайнами : Разрушение тангенциальными инструментами. — Москва : Наука, 1973. — 172 с.
8. Барон Л. И., Глатман Л. Б., Загорский С. Л. Разрушение горных пород проходческими комбайнами : Разрушение шарошками. — Москва : Наука, 1969. — 146 с.
9. Зеленин А. Н., Карасев Г. Н., Красильников Л. В. Лабораторный практикум по резанию грунтов : Учебное пособие для студентов инженерно-строительных и автомобильно-дорожных вузов. — М. : Высш. школа, 1969. — 310 с.
10. Феценко В. Н. СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА. Книга 1. Машины и механизмы : Учеб.-прак. пос. — М. : Инфа-Инженерия, 2016. — 400 с.
11. Модернизация стенда для испытания режущего инструмента рабочих органов строительных и дорожных машин / В. Г. Шрам [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2013. — № 3.
12. Пат. 2429459 Рос. федерация, МПК⁷ G 01 M 13/00. стенд для испытания рабочих органов землеройных машин [Текст] / В. А. Ганжа, Р. Б. Желукевич, Ю. Н. Безбородов (Рос. федерация) ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». — № 2010116560/28 ; заявл. 26.04.2010 ; опубл. 20.09.2011, Бюл. № 26.
13. Измерительный комплекс для контроля силы сопротивления снежно ледяных образований резанию дисковым инструментом / А. С. Сатышев [и др.] // Измерение, контроль, информатизация : Материалы XVII международной научно-технической конференции / под ред. Л. И. Сучковой. — Барнаул, 2016. — С. 155 – 158.

14. Пат. 2500983 Рос. федерация, МПК⁷ G 01 B 7/16. стенд для градуировки тензоэлементов [Текст] / В. А. Ганжа [и др.] (Рос. федерация) ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». — № 2012121697/28 ; заявл. 25.05.2012 ; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.