Сатышев, Антон Сергеевич

**Обоснование рационального радиуса закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента для разрушения снежно-ледяных образований**

Специальность 05.05.04 —

<<Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины>>

Диссертация на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Красноярск — 2017

# Введение

Для выполнения программы <<Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года>> утвержденной постановлением правительства (*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“>>*, n.d.) необходимо реализовать стратегию (*Стратегия развития арктической зоны российской федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года : Утв. президентом рф 08.02.13 пр-232*, n.d.). Согласно которой предусмотрена интеграция Арктической зоны с основными районами России по средствам:

* формирования опорной сети автомобильных дорого и современных транспортно-логистических узлов;
* развития, реконструкции и модернизации аэропортовой сети.

Общая же протяжённость российской сети автомобильных дорог общего пользования оценивается в 1 480 816,7 км, в том числе 51 891,2 км федерального значения, что на 16 % больше в сравнении с 2012 годом (“Протяженность автомобильных дорог общего пользования по субъектам российской федерации за 2015 год” 2016). 70 % из них расположено в зонах, где длительность зимнего периода превышает 140 дней в году.

Содержание дорог различного назначения, аэродромов и вертолетных площадок в Арктической зоне и зонах с холодным климатом, с увеличением протяженности, грузонапряжённости и интенсивности движения, с каждым годом становится все более трудоемким и ресурсоемким. Наиболее сложным, затратным и ответственным является зимнее содержание автомобильных дорог, аэродромов и вертолетных площадок.

Среди основных задач зимнего содержания автомобильных дорог можно выделить механический метод удаление снежно-ледяных образований (СЛО) с помощью отвальных (плужных), щёточных, шнекороторных, фрезерно-роторных и других рабочих органов дорожных машин. Однако, в случае формирования прочных снежно-ледяных образований (ПСЛО) качественная очистка рабочими органами, перечисленными выше, затрудняется или становится невозможной.

Из всего выше перечисленного можно заключить, что потребуется разработка и внедрение современных высокоэффективных рабочих органов дорожных машин для зимнего содержания, адаптированных к использованию в арктических условиях.

Для повышения эффективности и снижения энергоемкости при удалении ПСЛО предложено применение дискового режущего инструмента (Ганжа, Безбородов, Желукевич, et al. 2012; Ганжа et al. 2015; Ганжа, Безбородов, Малышева, et al. 2012). С применением дискового режущего инструмента встает вопрос создания высокоэффективных рабочих органов, для проектирование которых необходимо заранее знать нагрузочные параметры, величина которых зависит от множества факторов. Например, таких как: скорость резания, геометрические параметры инструмента, температура окружающей среды, степени износа режущей кромки.

Дисковый режущий инструмент получил широкое освещение в области горнодобывающей промышленности, а именно широко применяется в проходческих комбайнах при разработке горных пород. Существует множество работ (Барон 1973; Барон, Глатман, and Загорский 1969; Желукевич 2012; Фомичев et al. 1968) , рассматривающих влияние различных факторов на силу сопротивления резанию. Однако, в этих работах рассматривается резание грунтов и горных пород и не уделено внимание ПСЛО и льду (как частному случаю ПСЛО). В работах (Ганжа 2011) рассматривается влияние некоторых факторов на силу сопротивления ПСЛО резанию. Влияние же степени износа режущей кромки на силу сопротивления ПСЛО резанию изучено недостаточно. Поэтому поиск новых методов расчета и обоснование рабочих параметров, учитывающих степень износа режущей кромки дискового инструмента является актуальной задачей.

Исследованиями процессов взаимодействия дискового режущего инструмента с горными породами, мерзлыми и не мерзлыми грунтами занимались ученые: Л.И. Барон, Л.Б. Глатман, С.Л. Загорский, А.Н. Зеленин, Г.Г. Воскресенский, А.П. Куляшов, В.М. Козин, Р.Б. Желукевич и др.

**Целью** данной работы является обоснование рационального, с точки зрения минимизации энергозатрат и повышения производительности, радиуса закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента,

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Разработать метод и комплекс средств контроля силы сопротивления резанию дисковым инструментом ПСЛО, учитывающий влияние радиуса закругления рабочей кромки и шага резания.
2. Исследовать влияния радиуса закругления рабочей кромки и шага резания на силы, возникающие на дисковом режущем инструменте при механическом разрушении прочных СЛО.
3. Разработать методику обоснования рационального радиуса закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента входящего в состав сменного рабочего органа дорожных машин.

**Научная новизна:**

1. Впервые получен метод контроля силы сопротивления резанию дисковым инструментом при разрушения прочных СЛО, включающий комплексную оценку влияния радиуса закругления рабочей кромки и шага.
2. Было выполнено оригинальное исследование силы сопротивления льда резанию дисковым инструментом с различным радиусом закругления рабочей кромки при различных шагах резания.
3. Впервые получена математическая модель: учитывающая влияние радиуса закругления рабочей кромки и шага резания на процесс взаимодействия дискового режущего инструмента со снежно-ледяными образованиями; позволяющая определять горизонтальную, боковую и вертикальную составляющие силы резания, возникающие на дисковом режущем инструменте.
4. Впервые получена методика обоснования рационального радиуса закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента, входящего в состав сменных рабочих органов дорожных машин, позволяющая: увеличить производительность; снизить энергоемкости

**Практическая значимость.** Разработанные математическая модель и методика, позволяют оценивать влияние радиуса закругления рабочей кромки и шага резания на силу сопротивления резанию, определять нагрузочные параметры и энергоэффективность процесса разрушения ПСЛО.

**Mетодология и методы исследования.** Решение поставленных задач осуществлялось с использованием комплексного подхода, включающего анализ существующего опыта по созданию методов контроля нагрузочных параметров при разрушении мерзлых и не мерзлых грунтов, горных пород и снежно-ледяных образований различным режущим инструментом. Экспериментальные лабораторные исследования процесса резания льда проводились полноразмерным дисковым режущим инструментом. При выполнении работы применялись: поверенные стандартные и специально разработанные автором приборы; теория планирования и обработки результатов экспериментальных исследований; методы математической статистики и регрессионного анализа.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Метод и комплекс средств контроля силы сопротивления резанию дисковым инструментом при разрушения ПСЛО, включающий комплексную оценку влияния радиуса закругления рабочей кромки и шага.
2. Результаты экспериментальных исследований влияния радиуса закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента и шага резания на силу сопротивления резанию при механическом разрушении ПСЛО.
3. Методика обоснования рационального радиуса закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента, входящего в состав сменных рабочих органов дорожных машин.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивается достаточным объемом проведенных экспериментальных исследований, использованием средств контроля прошедших поверку, сходимостью теоретических и экспериментальных данных. Результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

**Апробация работы.** Основные результаты работы представлены на:

**Личный вклад.** Автор принимал активное участие в разработке комплекса средств контроля нагрузочных параметров дискового режущего инструмента для разрушения ПСЛО. Автором лично разработан метод контроля силы сопротивления учитывающий влияние радиуса закругления рабочей кромки дискового режущего инструмента и шага резания. Проведены исследования, согласно с разработанным методом, их статистическая и математическая обработка.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и двух приложений. Полный объём диссертации составляет , включая и . Список литературы содержит .

Первая глава - с.

Вторая глава - с.

Третья глава - с.

Четвертая глава - с.

# Состояние вопроса. Цель и задачи исследования

## Обзор влияния изнашивания режущей кромки дискового режущего инструмента на силу сопротивления резанию

#1#2 ^#1/ \_#2 На силовые показатели процесса разрушения дисковым режущим инструментом, кроме геометрических параметров , скорости резания и температурных режимов , также влияет и степень износа режущей кромки инструмента. В предлагается использовать классификацию по типу износа:

1. с сохранением формоустойчивости (изменение только радиуса закругления режущей кромки);
2. с потерей формоустойчивости (изменение радиуса закругления и деформация (изгиб) режущей кромки).

Второй класс износа характеризуется либо нарушением технических требований изготовления резца (термообработка), либо авариными режимами работы (заклинивание). Поэтому вторым классом характера износа можно пренебречь. Отсюда следует что износ дискового режущего инструмента характеризуется радиусом закругления режущей кромки. Так при увеличении радиуса закругления рабочей кромки с 1,5 до 4,5 мм, т.е. в 3 раза, сила сопротивления резанию увеличивалась в среднем в 2 раза. Такое увеличение наблюдалось на песчаниках выше средней крепости ($p\_{k} = 100\div110\ \slantfrac{\text{кГ}}{\text{мм}^{2}}$) Лед ($12\div76\ \slantfrac{\text{кГ}}{\text{мм}^{2}}$)

Также следует отметить эффект самозатачивания режущей кромки дискового инструмента. Эффект наблюдается только для резцов из однородного материала и не зависит от свойств разрушаемой породы. Радиус самозатачивания в среднем равен 1,3 мм.

## Анализ методов контроля

## Анализ методов контроля силы сопротивления резанию рабочих органов строительно-дорожных и уборочных машин при взаимодействии с разрушаемой средой

Наиболее распространённым методом контроля силовых параметров рабочих органов строительно-дорожных и уборочных машин при взаимодействии с разрушаемой средой является динамометрический метод. Он заключается в измерении деформации, вызываемою прикладываемым усилием, в упругом элементе. Существует несколько способов измерения деформации: механический, гидравлический, электрический.

Методы контроля силовых параметров

Самым простым является механический способ так как представляет из себя прибор со шкалой либо автоматический самописец. Однако применение этого способа не целесообразно, так как имеются многочисленные недостатки, такие как: громоздкость чувствительного элемента, необходимость постоянной поверки и тарировки, не высокая точность из-за механического способа передачи информации, сложность считывания информации и т.д.

Гидравлический способ имеет в основном узко специализированное применение и не подходит для контроля силовых параметров рабочих органов из-за дороговизны и сложности конструкции.

Самым подходящим способом контроля является электрический. Он обеспечивает преобразование деформаций в электрический сигнал, который легко обрабатывать записывать и хранить. Так же одним из важнейших достоинств метода является малый размер чувствительных элементов, позволяющий устанавливать их в труднодоступных местах.

Электрический способ контроля силовых параметров обычно классифицирую в зависимости от используемых чувствительных элементов см. рисунок . Наиболее распространёнными являются тензорезистивные чувствительные элементы, так как:

* обеспечивают достаточно высокую точность преобразования деформаций в электрический сигнал;
* наилучшим образом удовлетворяют критерию стоимость эффективность;
* могут использоваться при действии статических и динамических нагрузок;
* имеют линейную характеристику выходного сигнала .

[htbp]

Сравнение способов измерения усилия

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  | Электрический | Механический | Гидравлический |
| Стоимость |  |  |  |
| Габаритные размеры |  |  |  |
| Запись измерений |  |  |  |
| Хранение измерений |  |  |  |
| Обработка измерений |  |  |  |
| Точность |  |  |  |
| Сложность конструкции |  |  |  |

[ht]

## Основные выводы и задачи исследований

Целью диссертационной работы является разработка метода контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных образований разрушению и обоснование параметров режима работы дискового режущего инструмента в зависимости от его износа.

Главными задачами проведенного комплекса научных исследований и технических разработок являются:

* разработать комплекс средств контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных образований разрушению, возникающей в процессе взаимодействия дискового режущего инструмента с ними;
* исследовать влияние износа дискового режущего инструмента на силу сопротивления прочных снежно-ледяных образований разрушению;
* разработать математическую модель, позволяющую вычислить силу сопротивления прочных снежно-ледяных образований разрушению в зависимости от степени износа дискового режущего инструмента и шага резания;
* разработать метод контроля силы сопротивления прочных снежно-ледяных образований разрушению с целью минимизации энергоемкости процесса разрушения еще на стадии проектирования рабочих органов;
* разработать практические рекомендации по подбору радиуса закругления режущей кромки дискового режущего инструмента при проектировании рабочих органов спецмашин использующих такой инструмент.

# Описание эксперимента

Для модернизации существующих и создания новых рабочих органов предлагается использовать дисковый режущий инструмент, что позволяет снизить энергоёмкость и увеличить производительность. Основным контролируемым параметром, при оснащении рабочих органов уборочных машин дисковыми резцами, является сила сопротивления прочных СЛО резанию. Для более объективного изучения процесса взаимодействия дискового инструмента с прочными СЛО предлагается контролировать три составляющие силы резания: горизонтальную, боковую и вертикальную. Контроль составляющих непосредственно на рабочем органе требует больших трудозатрат, так как физические свойства (прочность, плотность, наличие абразивного материала) прочных СЛО на дорожных покрытиях постоянно меняются и зависят от: температуры окружающей среды, влажности, теплозапаса дорожного полотна и других фактором , и дорогостоящего оборудования (датчики силы, оснастка для их монтажа). Опираясь на опыт работ по резанию мерзлых грунтов различными инструментами , целесообразно исследовать в лабораторных условиях одиночный полноразмерный дисковый резец.

Целью проведения экспериментальных лабораторных исследований является выявления рационального радиуса закругления рабочей кромки дискового резца, а также оценки влияния шага резания, совместно с радиусом закругления рабочей кромки, на силовые показатели процесса разрушения прочных СЛО дисковым режущим инструментом.

## Условия проведения эксперимента

При проведении экспериментальных исследований использовались дисковые резцы с различным радиусом закругления рабочей кромки. Радиусы закругления составляли мм. Остальные параметры приняты следующие:

* диаметр дискового резца мм.;
* величина заострения дискового резца ;
* глубина резания мм.;
* шаг резания мм.;
* задний угол ;
* температура окружающего воздуха 2 7 С;
* скорость резания $0,51\ \slantfrac{\text{м}}{\text{м}}$ ($1,84\ \slantfrac{\text{км}}{\text{ч}}$).

Применение таких параметров обуславливается раннее выполненными работами по данной тематике. На рисунке приведено направление действия составляющих силы сопротивления резанию и способ установки дискового инструмента относительно разрушаемого массива.

[htbp] Схема взаимодействия дискового резца с разрушаемым массивом "— шаг резания; "— направление перемещения резца; "— боковая составляющая силы сопротивления резанию; "— горизонтальна составляющая силы сопротивления резанию; "— диаметр дискового резца; "— угол заострения дискового резца; "— глубина резания; "— вертикальная составляющая силы сопротивления резанию; "— угол установки дискового резца (задний угол).

## Планирование эксперимента

Имеется набор из пяти дисковых резцов с радиусом закругления рабочей кромки соответствующим следующему ряду: мм. Принимаем глубину резания мм (Максимально допустимая высота снежно-ледяных образований), шаг резания принимается равным следующему ряду: мм.

Имеем 2 фактора с одинаковым количеством уровней, первый фактор () 5 уровней, второй фактор () 5 уровней. Для нахождения связи выше описанных факторов с горизонтальной, боковой и вертикальной составляющими силы резания запишем следующие уравнения:

Данная формулировка соответствует математической формулировки задачи регрессионного анализа. Для проведения регрессионного анализа необходимо проведение эксперимента со всевозможными сочетаниями факторов.

Число всех возможных состояний системы:

rfrjqyj ntncnskdjf dkfjlsdj sdfkj

Из формулы рассчитаем минимальное количество экспериментов равное 30. Однако, мы не можем считать влияние других, не учитываемых, факторов незначительным. Поэтому количество опытов при каждой комбинации факторов предварительно принимаем 5. Необходимое же число опытов устанавливается статистическим путем.

Коэффициент допустимого отклонения KДОП примем 12 %, для получения надежности экспериментальных результатов. Коэффициент вариации расчитывается же по формуле:

Величину среднего квадратичного отклонения вычислим по формуле:

Для уточнения числа опытов при каждой комбинации факторов следует предварительно провести 20 опытов при неизменных параметрах режима резания:

* глубина резания мм;
* шаг резания мм;
* скорость резания м/с;
* радиусом закругления рабочей кромки мм.

## Механизированный лабораторный стенд

[htbp] Схема лабораторного стенда

1 "— опорная рама; 2 "— тензометрическая головка; 3 "— режущий инструмент; 4 - образец льда; 5 "— упоры; 6 "— электрический двигатель; 7 "— редуктор; 8 "— выходной вал редуктора; 9 "— приводная звездочка; 10 "— ведущий вал цепной передачи; 11 "— цепь; 12, 13 "— звездочки тяговой цепи; 14 "— тяговая цепь привода; 15 "— захват; 16 "— направляющие тензометрической головки; 17 "— шина; 18 "— нижняя балка рамы; 19 "— несущая плита; 20 "— подшипники скольжения; 21 "— направляющие механизма поперечной подачи образца; 22 "— опоры; 23 "— ходовой механизм; 24 "— поворотная рукоятка; 25 "— опора поворотной рукоятки, 26 "— конечный выключатель; 27 "— кнопочная станция; 28 "— демпферы.

Стенд содержит опорную раму 1 сварной конструкции, на которой смонтированы две цилиндрические направляющие 16, по которым перемещается тензометрическое звено 2 с закрепленным на нем режущим инструментом 3. На нижней балке 18 опорной рамы 1 стенда смонтирован механизм поперечной подачи образца 4 льда, включающий несущую плиту 19, к нижней поверхности которой, основанием вверх, прикреплены четыре подшипника скольжения 20, которые попарно сопряжены с двумя параллельными цилиндрическими направляющими 21, с возможностью продольного перемещения по ним. Концы направляющих 21 жестко закреплены в опорах 22, смонтированных на нижней балке 18 опорной рамы 1 стенда. В средней части несущей плиты 19, на ее нижней поверхности, установлен ходовой механизм 23, выполненный в виде втулки, на внутренней поверхности которой выполнена ходовая резьба.

С резьбой ходового механизма взаимодействует резьбовая часть поворотной рукоятки 24, цилиндрическая часть которой установлена в опоре 25 нижней части опорной рамы 1, с возможностью вращения в ней и без передвижения в осевом направлении. Образец льда 4 устанавливается на верхней поверхности несущей плиты 19 и жестко фиксируется упорами 5.

[h] Внешний вид стенда для исследования процесса резания льда

Привод тензометрической головки 2 включает электрический двигатель 6, червячный редуктор 7 с выходным валом 8, на котором закреплена звездочка 9 связанная со звездочкой ведущего вала 10 цепью 11, ведущую и ведомую звездочки 12, 13 тяговой цепи 14 привода. На одном из звеньев цепи 14 закреплен захват 15, при помощи которого, осуществляется перемещение тензометрической головки 2, по направляющим 16. Для предотвращения прогиба тяговой цепи 14 на опорной раме 1 установлена шина 17.

Управление электродвигателем 6 привода тензометрической головки 2 стенда осуществляется кнопочной станцией 27. Для автоматического отключения двигателя от электрической сети после проведения реза, на левой вертикальной опоре стенда установлен конечный выключатель 26. Окончательная остановка тензометрической головки в крайнем левом положении при резании на большой глубине, производится демпферами 28. Регулировка глубины резания, осуществляется с помощью калиброванных прокладок (на рисунках не показаны) и установкой режущего инструмента различной геометрической формы.

## Аппаратно-программный измерительный комплекс

Для контроля составляющих силы сопротивления прочных СЛО резанию необходимо спроектировать измерительный комплекс. Наиболее широкое распространение, для измерения различных сил резания, получил тензометрический метод контроля . Он заключает в себе простоту и дешевизну измерений без потери точности измерений. Задача контроля силы сопротивления прочных СЛО резанию сводится к контролю электрического сопротивления чувствительных элементов.

[htbp] Структурная схема измерительного комплекса для контроля силы сопротивления резанию

На рисунке приведена структурная схема аппаратной составляющей измерительного комплекса, которая состоит из тензометрического звена, прецизионного тензометрического усилителя УТ1-10 и компьютера с установленной платой АЦП L-154. Все элементы комплекса соединены экранированным, заземлённым кабелем.

### Тензометрическое звено

Чувствительным элементом комплекса является тензорезистор КФ5П1-20-200-А-12-С5. Имеющий следующие технические характеристики:

* номинальное электрическое сопротивление "— Ом;
* ток питания "— мА;
* диапазон измеряемых деформаций "— ;
* коэффициент тензочувствительности "— ;
* рабочая область температур "— от 70 до 200 С.

Тензорезистор наклеены на тензометрическое звено, представляющее собой круглую бобышку с тонкими стенками расположенную на прямоугольной плите, служащей для крепления его к лабораторному стенду. Изделие выполняется из стали марки 55С2. Такая конструкция обеспечивает наилучший уровень деформации тензорезисторов одновременно для всех составляющих силы сопротивления прочных СЛО резанию.

[htbp] Тензометрического звено

А "— схема наклейки тензорезисторов; Б "— общий вид тензометрического звена;  
1 "— тензометрическая головка; 2 "— крепёж дискового режущего инструмента.

На рисунке приведён общий вид тензометрического звена (Б) с установленным на него кронштейном (2) для крепления режущего инструмента. Тензометрической звено в сборе с дисковым инструментом устанавливается на лабораторный стенд описанный в .

Также на рисунке приведена схема наклейки тензорезисторов (А). Для измерения горизонтальной составляющей силы резания используется полу мостовая схема включения, с избирательной чувствительностью, тензорезистор включён в первое плечо измерительного моста, а – в четвёртое. Такая схема позволяет обеспечить избирательную чувствительность тензометрического моста к деформации изгиба (не чувствительна к деформации растяжения-сжатия), возникающей в следствии действия горизонтальной составляющей силы резания. Для боковой составляющей используется схема включения тензорезисторов аналогичная приведённой выше. Тензорезистор включён в первое плечо измерительного моста, а – в четвёртое. Для измерения вертикальной составляющей, диаметрально расположенные тензорезисторы и необходимо включить в одно плечо полумоста. Во второе плечо включаются компенсационные тензорезисторы и , обеспечивающие также термокомпенсацию. Все схемы включения обеспечивают термокомпенсацию и компенсацию сопротивления соединительных проводов.

### Тензометрический усилитель

Прецизионный тензометрический усилитель УТ1-10 имеет в основе прецизионный операционный усилитель (ОУ) 140УД17, двух полярный источник питания, калибровочные резисторы, стрелочные приборы указателя нулевого сигнала. ОУ имеет следующие характеристики:

* максимальное выходное напряжение "— В;
* напряжение смещения нуля "— мкВ;
* ток потребления "— мА;
* коэффициент усиления напряжения – ;
* напряжение питания "— В
* температура окружающей среды "— 1070 С.;

Включение ОУ по дифференциальной схеме обеспечат исключительную чувствительность к изменению сопротивления, что в свою очередь повышает чувствительно всей системы к малому изменению нагрузки.

### Плата оцифровки сигнала

Усиленный сигнал поступает на вход платы АЦП L-154, которая обеспечивает обработку и фиксацию сигнала в удобном для анализа виде. Плата АЦП имеет следующие характеристики:

* разрядность "— бит;
* диапазон входного сигнала "— В;
* максимальная частота преобразования "— кГц;
* входное сопротивление "— МОм;

## Тарировка тензозвена

Описать как проводилась тарировка, привести тарировочные графики

## Способ записи и хранения данных

Пояснить как и для чего записывать и хранить данные

### Съем данных с платы АЦП

### Загрузка данных в MatLAB

# Обработка эксперимента

## Описание методов

Описание методов регрессионного анализа очень кратко. Описание работы программного комплекса по работе с изображением, описание программного комплекса по работе с данными

# Методика обоснования рационального радиуса рабочей кромки дискового инструмента

# Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. На основе анализа …
2. Численные исследования показали, что …
3. Математическое моделирование показало …
4. Для выполнения поставленных задач был создан …

И какая-нибудь заключающая фраза.

Последний параграф может включать благодарности. В заключение автор выражает благодарность и большую признательность научному руководителю Иванову И.И. за поддержку, помощь, обсуждение результатов и научное руководство. Также автор благодарит Сидорова А.А. и Петрова Б.Б. за помощь в работе с образцами, Рабиновича В.В. за предоставленные образцы и обсуждение результатов, Занудятину Г.Г. и авторов шаблона \*Russian-Phd-LaTeX-Dissertation-Template\* за помощь в оформлении диссертации. Автор также благодарит много разных людей и всех, кто сделал настоящую работу автора возможной.

# Список сокращений и условных обозначений

Барон, Л. И. 1973. *Разрушение горных пород проходческими комбайнами: Разрушение тангенциальными инструментами*. Москва: Наука.

Барон, Л. И., Л. Б. Глатман, and С. Л. Загорский. 1969. *Разрушение горных пород проходческими комбайнами: Разрушение шарошками*. Москва: Наука.

Ганжа, Владимир Александрович. 2011. “Обоснование конструкции и основных параметров дискового режущего инструмента для разрушения снежно-ледяных образований. Защищена 17.06.11 : Утв. ??.??.??” Красноярск: Сибирский федеральный университет.

Ганжа, Владимир Александрович, Юрий Николаевич Безбородов, Рышард Борисович Желукевич, Наталья Николаевна Малышева, and Павел Васильевич Ковалевич. 2012. “Дисковый режущий инструмент для разрушения снежно-ледяных образований.” *Наука и техника в дорожной отрасли*, no. 2. Издательство Дороги (Москва): 34a–37.

Ганжа, Владимир Александрович, Юрий Николаевич Безбородов, Павел Васильевич Ковалевич, and Иван Викторович Каптюк. 2015. “Разрушение прочных снежно-ледяных образований.” *Наука и техника в дорожной отрасли*, no. 3. Издательство Дороги (Москва).

Ганжа, Владимир Александрович, Юрий Николаевич Безбородов, Наталья Николаевна Малышева, and Павел Васильевич Ковалевич. 2012. Рабочий орган для удаления снежно-ледяного наката с поверхности дорог и аэродромов, issued March 10, 2012.

Желукевич, Рышард Борисович. 2012. *Разработка мерзлых грунтов землеройными маши нами с дисковым инструментом: Монография*. Красноярск: Сиб. федер. ун-т.

*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“>>*. n.d.

“Протяженность автомобильных дорог общего пользования по субъектам российской федерации за 2015 год.” 2016. <www.gks.ru/free_doc/new_site/business/trans-sv/t2-2.xls>.

*Стратегия развития арктической зоны российской федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года : Утв. президентом рф 08.02.13 пр-232*. n.d.

Фомичев, В. П., Л. П. Щулькин, В. Е. Касьянов, Е. Г. Белецкая, and А. С. Отченашенко. 1968. “Влияние скорости резания грунта на усилие резания.” *Строительные и дорожные машины*, no. 12: 13–15.