

ДОРОЖНЫЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.8.004.67

В.А. Ганжа, Ю.Н. Безбородов, П.В. Ковалевич, А.А.Рябинин

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА СИЛОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА ДИСКОВЫМ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Наиболее ответственным и сложным этапом сезонной эксплуатации автомобильных дорог является зимнее содержание покрытий. Основные показатели качества различных дорожных покрытий - коэффициент сцепления, ровность, чистота и др. [1] оказывают решающее влияние на уровень безопасности дорожного движения, аварийности на автомобильных дорогах, качество обслуживания пассажиров и травматизм участников дорожного движения.

Значительную трудоемкость работ зимнего содержания автомобильных дорог составляют мероприятия по предотвращению и устраниению снежно-ледяных и гололедных образований, которые в настоящее время выполняются химико-механическим, тепловым, комбинированным и фрикционным методами. Данные методы оперативны и высокоэффективны, но имеют ряд существенных недостатков, как то: необходимость приобретения и содержания специальных машин для распределения жидких или гранулированных антигололедных реагентов (AGR), большой сезонный расход AGR и их высокая стоимость, строительство и содержание складских помещений, вредное влияние AGR на покрытия, и окружающую среду и др.

Механический способ зимнего содержания дорог, являющийся более экономичным и экологически чистым, широко используется при очистке покрытий от свежевыпавшего и уплотненного снега посредством использования на спецмашинах отвальных (плужных), щеточных, шнекороторных, фрезерно-роторных и др. рабочих органов. Однако при разрушении прочных снежно-ледяных и гололедных образований значительной толщины использование механического способа ограничено в силу конструктивной неприспособленности рабочих органов существующих спецмашин к данному виду работ.

Область применения механического способа может быть расширена путем создания высокоэффективного рабочего оборудования для разрушения прочных снежно-ледяных образований, оснащенного режущим инструментом в виде заостренных дисковых резцов (рис.1) [2].

Дисковый резец типа «А» представляет собой вращающийся на оси диск с односторонним не-

прерывным клиновым ободом, перекатывающийся при работе по поверхности забоя и внедряющийся в нее под воздействием усилия подачи. Дисковый резец типа «Б» имеет симметричный двухсторонний клиновой обод и разрушает массив забоя, будучи ориентированным под прямым углом к его поверхности.

Инструмент такого типа широко применяется в проходческих комбайнах при разработке горных пород [3, 4], а также в рабочих органах буровых, землеройных машин и на бульдозерных рыхлительных агрегатах [5] при разработке мерзлых грунтов. Однако, конструктивные параметры такого инструмента и режимы его работы, обеспечивающие эффективное разрушение указанных сред не могут быть использованы при разработке устройств разрушающих прочные снежно-ледяные образования без дополнительных исследований, так как физико-механические свойства горных пород и мерзлых грунтов существенно отличаются от физико-механических свойств льда.

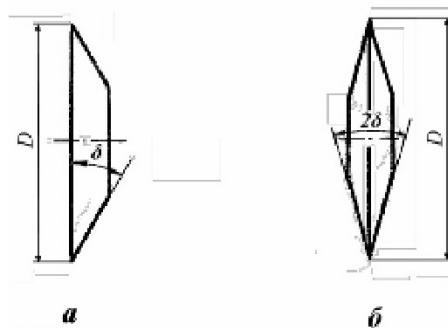


Рис. 1. Типы дискового инструмента: а – тип «А»; б – тип «Б»

При создании оснащенного дисковым инструментом высокоэффективного оборудования для разрушения прочных снежно-ледяных образований важнейшим вопросом является зависимость усилий, возникающих на рабочем органе от геометрических параметров режущего инструмента, углов его установки, скорости перемещения оси, несущей дисковый резец, скорости подачи рабоче-

го органа на забой, параметров среза, физико-механических свойств разрушаемой среды, и т. д.

Изучение влияния каждого из перечисленных факторов на силовые и энергетические показатели процесса механического разрушения прочных снежно-ледяных образований дисковым режущим инструментом является сложным многоэтапным процессом, требующим последовательного выполнения большого объема исследовательских работ.

К первому этапу работ данного направления можно отнести теоретические и экспериментальные исследования процесса взаимодействия дискового режущего инструмента со льдом, проведенные в Сибирском федеральном университете (СФУ) в рамках работы [2]. Основной целью исследований являлось определение рациональных, с позиции минимизации энергозатрат, параметров дискового режущего инструмента и оценки влияния этих параметров, а также физико-механических свойств льда и параметров среза на силовые показатели процесса резания льда таким инструментом.

В качестве режущего инструмента использовался заостренный дисковый резец типа «A» (рис. 1a) диаметром $D = 0,2$ м и углом заострения δ , изменявшимся в диапазоне от 15° до 60° с интервалом 15° . Резание ледового массива осуществлялось на глубину $h = 60$ мм. Шаг резания t (толщина срезаемой стружки), составил: 10, 20, 30 и 40 мм, а угол γ установки резца относительно плоскости резания (задний угол) составил 5° . Прочность льда на сжатие $\sigma_{cyc} = 1,8 \div 2,3$ МПа при температуре в диапазоне от минус 2 до минус 6°C .

Исследованиями установлено, что наименьшие усилия резания льда в полублокированном режиме, а также, наименьшая энергоемкость процесса, обеспечиваются при использовании дисковых резцов типа «A» с углом заострения $\delta = 30^\circ$ [2].

При постановке эксперимента скорость движения оси вращения резца (скорость резания) устанавливалась постоянной и составляла 0,51 м/с. Это условие на данном этапе исследовательской работы считалось достаточным, так как, значение скорости резания выбиралось в диапазоне от 0,1 до 1,5 м/с. Известно, что изменение скорости резания в указанном диапазоне значений не оказывает существенного влияния на значения составляющих усилия резания [3]. Однако отсутствие сведений о степени влияния скорости резания на силовые показатели процесса разрушения льда дисковым инструментом ограничивает возможность выбора рациональных с точки зрения минимизации энергозатрат и повышения производительности режимов работы оборудования, оснащенного таким инструментом.

С целью определения рациональных значений скорости резания, при которых обеспечивается наиболее эффективное разрушение прочных

снежно-ледяных образований дисковым инструментом и оценки влияния этого параметра, а также физико-механических свойств льда и параметров среза на силовые показатели процесса резания льда таким инструментом в СФУ проведены экспериментальные исследования, которые могут быть отнесены ко второму этапу работ по изучению процесса взаимодействия дискового режущего инструмента со льдом при его механическом разрушении.

Условия проведения эксперимента выбирались максимально приближенными к условиям первого этапа исследований. Так температура окружающего воздуха при испытаниях находилась в диапазоне от минус 2 до минус 6°C , что соответствует условиям наиболее вероятного льдообразования на дорожных и аэродромных покрытиях. Прочность льда на сжатие при той же температуре $\sigma_{cyc} = 1,8 \div 2,3$ МПа.

В качестве режущего инструмента принят заостренный дисковый резец типа «A» (рис. 1a). Такая форма инструмента допускает расположение его в пространстве под различными углами, по отношению к поверхности разрабатываемого массива.

Диаметр дискового резца, использовавшегося в работе, $D = 0,2$ м. При таком диаметре исключается громоздкость конструкции и необходимость установки массивных опор, несущих дисковые резцы на исполнительном органе, обеспечивается необходимая глубина резания.

Угол заострения резца $\delta = 30^\circ$. Дисковыми резцами с таким углом заострения обеспечивается разрушение льда с наименьшей энергоемкостью процесса [2].

Значение заднего угла: $\gamma = 5^\circ$. Установкой дискового резца даже со столь малым значением заднего угла обеспечивается существенное уменьшение площади трения большого основания резца об массив разрушаемого материала.

Резание осуществлялось на глубину $h = 60$ мм. Данное значение соответствует допустимой толщине стружки, срезаемой отвальными рабочими органами, оснащенными системами автоматизированного управления.

Шаг резания t (толщина срезаемой стружки), составил: 10, 20, 30, 40, 50 и 60 мм. При этом соблюдалось условие $t \leq h$, так как предполагается что резцами, размещаемыми на рабочих органах, будет обеспечиваться разрушение льда по полублокированной схеме, требующей меньших затрат энергии. В случае, когда ширина резания превышает его глубину, имеет место более энергоемкая блокированная схема резания.

Исследования по резанию льда проводились на лабораторном стенде [2, 6], схема которого представлена на рис. 2. Чувствительным элементом стенда является тензометрическая головка 6, представляющая собой полуя балку с размещенными на ней тензометрическими датчиками со-

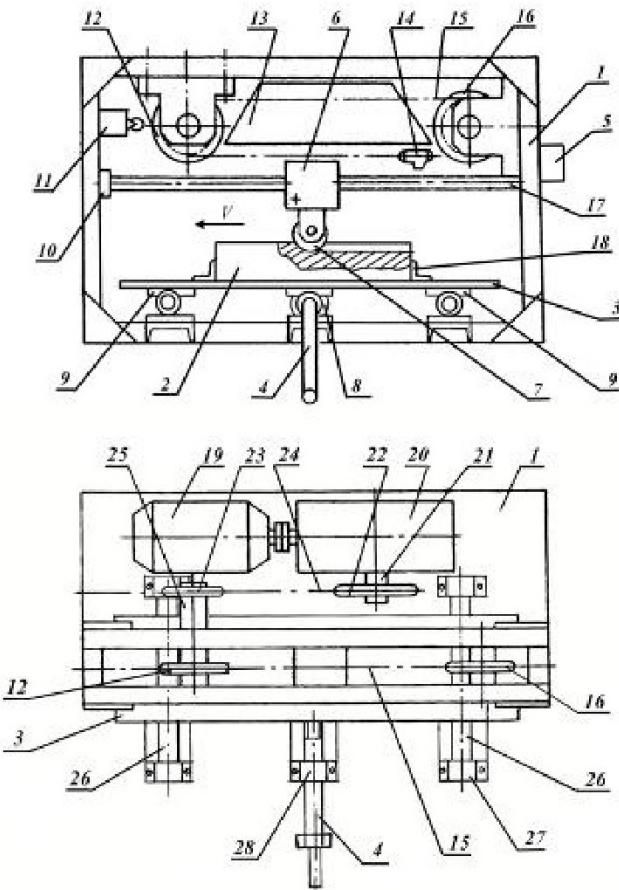


Рис. 2. Схема лабораторного стенда: 1 – опорная рама; 2 – ледяной блок; 3 – несущая плита; 4 – поворотная рукоятка; 5 – кнопочная станция; 6 – тензометрическая головка; 7 – режущий инструмент; 8 – ходовой механизм; 9 – опоры несущей плиты; 10 – демпферы; 11 – конечный выключатель; 12, 16 – звездочки тяговой цепи; 13 – шина; 14 – захват; 15 – тяговая цепь привода; 17 – направляющие тензометрической головки; 18 – упоры; 19 – электрический двигатель; 20 – редуктор; 21 – выходной вал редуктора; 22 – приводная звездочка; 23 – звездочка ведущего вала цепной передачи; 24 – цепь; 25 – ведущий вал цепной передачи; 26 – направляющие механизма поперечной подачи образца; 27 – опоры направляющих механизма поперечной подачи; 28 – опора поворотной рукоятки; V – направление движения тензометрической головки

противления, при помощи которых определялись горизонтальная, вертикальная и боковая составляющие усилия резания. Для автоматической записи, хранения и обработки значений этих составляющих использовался информационно-измерительный комплекс, включающий персональный компьютер с монитором, плату аналого-цифрового преобразователя (АЦП) L-154, программы *Power Graph*, предназначенную для регистрации, обработки и хранения аналоговых сигналов, записанных с помощью АЦП, а также, тензометрический усилитель УТ1-10.

Для проведения испытаний на лабораторном стенде использовались ледяные блоки 2, размерами 260x300x510мм., закреплявшиеся на несущей плате 3 стенда. Вращением рукоятки 4 механизма поперечной подачи устанавливался шаг резания *t* (толщина срезаемой стружки). При включении привода кнопочной станцией 5, крутящий момент от электрического двигателя 19 через редуктор 20

и выходной вал 21 редуктора, приводную звездочку 22 цепью 24 передается звездочеке 23, закрепленной на валу 25 цепной передачи. На другом конце вала 25 закреплена звездочка 12, передающая крутящий момент посредством тяговой цепи 15 звездочеке 16. Захватом 14, установленным на одном из звеньев тяговой цепи 15 тензометрическая головка 6 с закрепленным на ней режущим инструментом 7 перемещается из крайнего правого положения в крайнее левое, совершая рез.

Резание ледяных блоков осуществлялось на различных скоростных режимах. При этом на каждом из этих режимов производилось последовательное изменение шага резания во всем исследуемом диапазоне его значений. Скорость резания при испытаниях составила 0,5; 0,9; 1,3; 1,9; и 2,2 м/с. В рамках данной работы это условие можно считать достаточным, так как известно, что наиболее эффективная и качественная очистка дорожных покрытий от прочных снежно-ледяных



Рис. 3. Звездочки к приводным роликовым цепям, использовавшиеся при постановке эксперимента

образований или уплотненного снега отвальными рабочими органами спецмашин, например, автогрейдеров, обеспечивается в диапазоне рабочих скоростей $1,7 \div 2,8 \text{ м/с}$ ($6 \div 10 \text{ км/ч}$) [7].

Изменение значений скорости резания осуществлялось установкой на лабораторный стенд в качестве приводной звездочки 22 и звездочки 23 ведущего вала цепной передачи, звездочек с различным числом зубьев (рис. 3) в различных комбинациях.

На основе статистически обработанных результатов всех испытаний, предусмотренных программой эксперимента, построены графики зависимости составляющих усилия резания от скорости резания и шага резания при разрушении льда дисковым инструментом, выполнен расчет энергоемкости процесса резания ледяного массива дисковым резцом для различных значений скорости резания и шага резания в соответствии с выражением (1), построены графики зависимости энергоемкости исследуемого процесса от скорости резания.

$$E = 0.000272 \frac{P_r}{S_{CP}} \cdot \kappa B m \cdot \chi / m^3, \quad (1)$$

где P_r – значение горизонтальной составляющей усилия резания, кН;

S_{CP} – площадь среза, определяемая следующим выражением:

$$S_{CP} = h \cdot t, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где h – глубина резания, м; t – шаг резания, м

Важным этапом экспериментальных исследований являлся анализ характера изменения величины горизонтальной P_r составляющей усилия резания в зависимости от скорости резания льда дисковым резцом и параметров среза, так как значения P_r определяют величину удельной энергоемкости процесса резания льда дисковым режущим инструментом.

Графики зависимости горизонтальной P_r составляющей усилия резания от скорости V резания

льда дисковым резцом при полублокированном резании в исследуемом диапазоне шага t резания представлены на рис. 4.

При анализе данных графиков необходимо учитывать такой параметр как производительность, значения которого изменяются пропорционально изменению скорости резания, что следует из выражения (3)

$$\Pi_p = 3600 F_p V_p, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3)$$

где Π_p – теоретическая (расчетная) производительность машины непрерывного действия, $\text{м}^3/\text{ч}$;

F_p – расчетное поперечное сечение срезаемой стружки, м^2 ;

V_p – расчетная скорость резания, м/сек

Результаты анализа графиков свидетельствуют о том, что наиболее благоприятные (по сочетанию параметров усилие – производительность) условия разрушения льда дисковым инструментом обеспечиваются при резании со скоростью 1,3 м/с с шагом 10, 20, 30 и 40 мм, при резании со скоростью 2,2 м/с с шагом 50 мм, а также, при скорости резания 1,9 м/с с шагом 60 мм.

На основании результатов расчета удельных затрат энергии на резание льда дисковым резцом диаметром $D = 0,2 \text{ м}$ при различных значениях скорости V резания во всем рассматриваемом диапазоне шага t резания построены графические зависимости энергоемкости исследуемого процесса от скорости резания (рис. 5).

Анализ полученных графиков показал, что разрушение льда дисковым инструментом при малых затратах энергии и с высокой производительностью обеспечивается при резании льда со скоростью 1,3 м/с и шагом 10, 20, 30 и 40 мм, при резании со скоростью 2,2 м/с с шагом 50 мм, а также, при скорости резания 1,9 м/с с шагом 60 мм, т. е. на тех же скоростных режимах, при которых обеспечиваются позитивные по сочетанию параметров усилие – производительность условия разрушения льда дисковым инструментом (рис. 4).

Повышение значений удельной энергоемкости

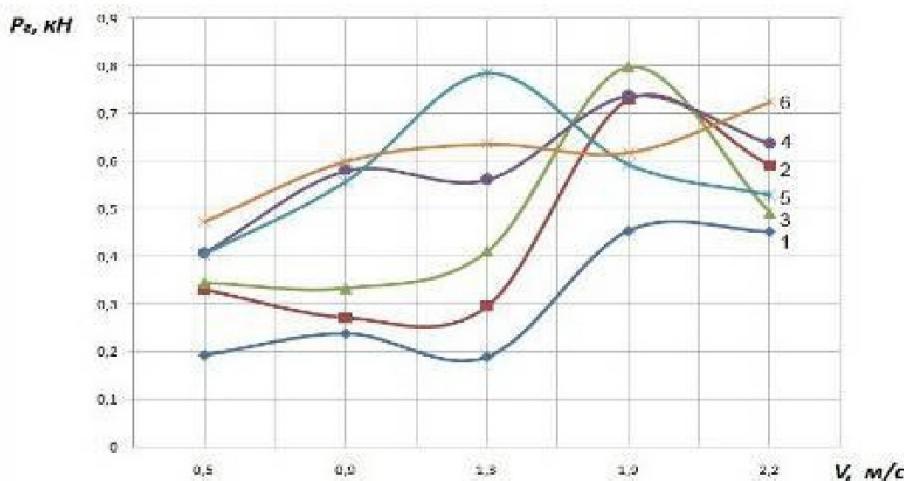


Рис. 4. Зависимость горизонтальной составляющей усилия резания от скорости резания: 1 – шаг резания 10 мм; 2 – шаг резания 20 мм; 3 – шаг резания 30 мм; 4 – шаг резания 40 мм; 5 – шаг резания 50 мм; 6 – шаг резания 60 мм

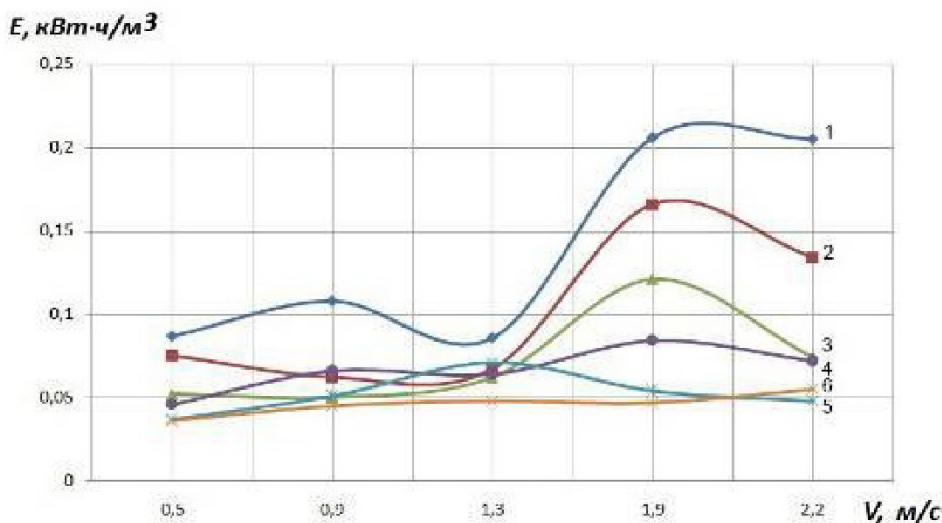


Рис. 5. Зависимость удельной энергоемкости процесса резания от скорости резания: 1 – шаг резания 10 мм; 2 – шаг резания 20 мм; 3 – шаг резания 30 мм; 4 – шаг резания 40 мм; 5 – шаг резания 50 мм; 6 – шаг резания 60 мм

процесса резания с малыми шагами объясняется следующими причинами. Результатами эксперимента установлено, что периодичность сколов при резании льда дисковым инструментом на различных скоростных режимах непостоянна и в частности, при значениях шага 10 и 20 мм достигает максимума на скорости 1,9 м/с. Каждый скол реализуется при малых разрушающих напряжениях, но суммарное разрушающее усилие за опыт и, следовательно, среднее значение каждого ряда наблюдений оказываются достаточно высокими (рис. 4). Резание ледового массива с малым шагом осуществляется при малой площади контакта разрушенного материала с боковой поверхностью резца, что способствует увеличению удельной нагрузки, приходящейся на единицу площади боковой поверхности инструмента взаимодействующей со льдом. Следовательно, для обеспече-

ния сдвига элементарных базисных пластин кристаллов льда, приводящего к растрескиванию и разрушению ледового массива, требуются большие затраты энергии (рис. 5).

Таким образом, результатами теоретических и экспериментальных исследований определены рациональные с точки зрения минимизации энергозатрат и повышения производительности, значения скорости резания льда дисковым инструментом при различных параметрах среза.

Полученные данные позволяют устанавливать шаг дискового режущего инструмента при разработке схем его размещения на рабочих органах спецмашин, а также назначать режимные параметры работы такого оборудования, обеспечивающие наиболее эффективное разрушение прочных снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50597 – 93. Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. – Введ. 01.07.94. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 11 с.
2. Ганжа, В.А. Обоснование конструкции и основных параметров дискового режущего инструмента для разрушения снежно-ледяных образований: автореф. дис. канд. техн. наук / В.А. Ганжа; СФУ. – Красноярск, 2011. – 24 с.
3. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Разрушение тангенциальным инструментом / под ред. Л.И. Барона. – М.: Наука, 1973. 172 с.
4. Хорешок, А.А. Распределение напряжений в узлах крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / А.А. Хорешок [и др.] // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 6. – С. 34 – 40.
5. Желукевич, Р. Б. Разработка мерзлых грунтов землеройными машинами с дисковым инструментом: монография / Р.Б. Желукевич. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 196 с.
6. Шрам, В.Г. Модернизация стенда для испытания режущего инструмента рабочих органов строительных и дорожных машин / В.Г. Шрам, В.А. Ганжа, П.В. Ковалевич, И. И.С. Карпов // Вестник КузГТУ. – 2013. – №3. – С. 78 – 80.
7. Ронинсон, Э. Г. Автогрейдеры / Э. Г. Ронинсон. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1986. – 223 с.

□Авторы статьи:

Ганжа	Безбородов	Ковалевич	Рябинин
Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент каф. «Авиационные горюче-смазочные материалы» Института нефти и газа (Сибирский федеральный университет, г. Красноярск). E-mail: vladimirganza@yandex.ru	Юрий Николаевич, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы» Института нефти и газа (Сибирский федеральный университет, г. Красноярск). E-mail: LabSM@mail.ru	Павел Васильевич, доцент каф. «Топливо-обеспечение и горюче-смазочные материалы» Института нефти и газа (Сибирский федеральный университет, г. Красноярск). E-mail: Kovalevich_p@mail.ru	Александр Александрович, аспирант каф. «Топливо-обеспечение и горюче-смазочные материалы» Института нефти и газа (Сибирский федеральный университет, г. Красноярск). E-mail: S-ryabinin@mail.ru