

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

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 тем что их прочность значительно выше **Цифры** и существующие рабочие органы или не приспособленных для их разрушения или делают это мало эффективно. Для повышения эффективности 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 радиусом закругления рабочей кромки.

Цель работы: преследует выявление 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 проводимых в Сибирском Федеральном Университете.

Методы исследования: При решении поставленной задачи применен комплексный подход, включающий: научный анализ и обобщение опыта проведенных ранее исследований; экспериментальные лабораторные исследования процесса резания льда полноразмерными дисковыми режущими инструментами с различным радиусом закругления рабочей кромки; математическую и статистическую обработку результатов эксперимента.

Результаты: Были получены графические зависимости переходных процессов резания льда с различным радиусом закругления рабочей кромки и шагом резания. Проанализированы полученные зависимости и сделаны выводы о корректности проведения эксперимента. А также получены данные для дальнейшего анализа и построения математической модели процесса резания льда учитывающей влияние радиуса закругления рабочей кромки, дискового режущего инструмента и шага резания.

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

1 Обработка результатов эксперимента

После проведения экспериментальных исследований влияния радиуса закругления рабочей кромки и шага резания на составляющие силы, возникающей на дисковом инструменте, при механическом разрушении льда, получен набор файлов с записью значений напряжений снятых с АЦП. Каждый файл соответствует своему сочетанию исследуемых параметров R и t . структура файла приведена на рисунке 1. Дальнейшее их использование предполагает обработку и оценку корректности методами математики и статистики, такими как:

- отброс грубых ошибок;
- фильтрация;
- сглаживание;
- отброс постоянной составляющей;
- усреднение значений повторных экспериментов.

Block 1					1
Started:	13.05.2016	11:54:23			2
Interval:	10	ms			3
Samples:	439				4
Time,s	Ch1,V	Ch2,V	Ch3,V		5
0,0	0,02	-0,0075	0,0025		6
0,01	0,0175	-0,0075	0,0025		7
0,02	0,0175	-0,0075	0,0025		8
0,03	0,02	-0,0075	0,0025		
0,04	0,02	-0,0075	0,0025		
0,05	0,02	-0,01	0,0025		
0,06	0,0225	-0,0075	0,0025		
0,07	0,02	-0,0075	0,0025		
0,08	0,0125	-0,0075	0,0025		
0,09	0,0175	-0,0075	0,0025		

1 — Название блока данных; 2 — Дата и время начала измерений; 3 — Интервал между измерениями в миллисекундах; 4 — Количество сохранённых измерений; 5 — Отсчёт времени в секундах; 6, 7, 8 — Значение напряжения на чувствительном элементе в вольтах для первого, второго и третьего канала соответственно

Рис. 1. Пример структуры файла хранения данных

1.1 Алгоритм отброса грубых ошибок

Для улучшения точности оценки переходного процесса и снижения влияния всевозможных внешних факторов целесообразно применить к полученному набору точек (сигналу) алгоритм отброса грубых ошибок [6]. Суть алгоритма заключается в использовании метода максимального относительного отклонения:

$$\tau = \frac{|x_i - \bar{x}|}{\sigma_x}, \quad (1)$$

где x_i — крайний (наибольший или наименьший) элемент сигнала; \bar{x} — среднее значение сигнала; σ_x — СКО сигнал.

Сравнивая τ с критическим значением $\tau_{(p,n)}$, рассчитанным по формуле 2, можно сделать вывод является ли наблюдение грубой погрешностью или нет.

$$\tau_{(p,n)} = \frac{t_{(p,n-2)} \cdot \sqrt{n-1}}{\sqrt{n-2 + |t_{(p,n-2)}|^2}} \quad (2)$$

где $t_{(p,n-2)}$ — критическое значение распределения Стьюдента при доверительной вероятности $q = 1 - p$; n — количество наблюдений в сигнале переходного процесса.

Таким образом имеем алгоритм отброса грубых ошибок представленный на рисунке 2.

Имеет смысл ввести три группы наблюдений, удовлетворяющих следующим условиям:

- $\tau \leq \tau_{(5\%, n)}$ нельзя отсеивать.
- $\tau_{(5\%, n)} < \tau < \tau_{(0,1\%, n)}$ можно отсеять, если в пользу этой процедуры имеются и другие соображения.
- $\tau > \tau_{(0,1\%, n)}$ отсеиваются всегда.

Приведем объяснение работы каждого блока в вербальном виде:

1. Из наблюдаемых значений выбирается максимальное и минимальное значение сигнала по модулю, далее значение сравниваются и выбирается наибольшее.
2. Рассчитывается τ по формуле 1.
3. Вычисляются критические точки $\tau_{(0,1\%, n)}$ и $\tau_{(5\%, n)}$ по формуле 2.
4. Проверяется условие $\tau > \tau_{(0,1\%, n)}$ если выполняется переходим к пункту 5, иначе к 6.
5. Исключаем наблюдение из массива точек и переходим к пункту 1.
6. Проверяем условие $\tau \leq \tau_{(5\%, n)}$ если выполняется переходим к пункту 9, иначе к 7.
7. Анализируем другие факторы способные указать на допущение грубой ошибки.
8. Принимаем решение отбрасывать или нет. Если отбрасываем переходим к пункту 5, иначе к 9.
9. Выход из алгоритма. Оставшиеся наблюдения и есть полезный сигнал.

1.2 Сглаживание сигнала

Для более наглядной читаемости и устранения влияния высокочастотных помех, предлагается применение цифрового фильтра «Скользящая средняя». Этот способ является наиболее простым в реализации и даёт хорошие результаты при правильном подборе апертюры. Скользящее среднее (moving average **МА**) вычисляется по формуле:

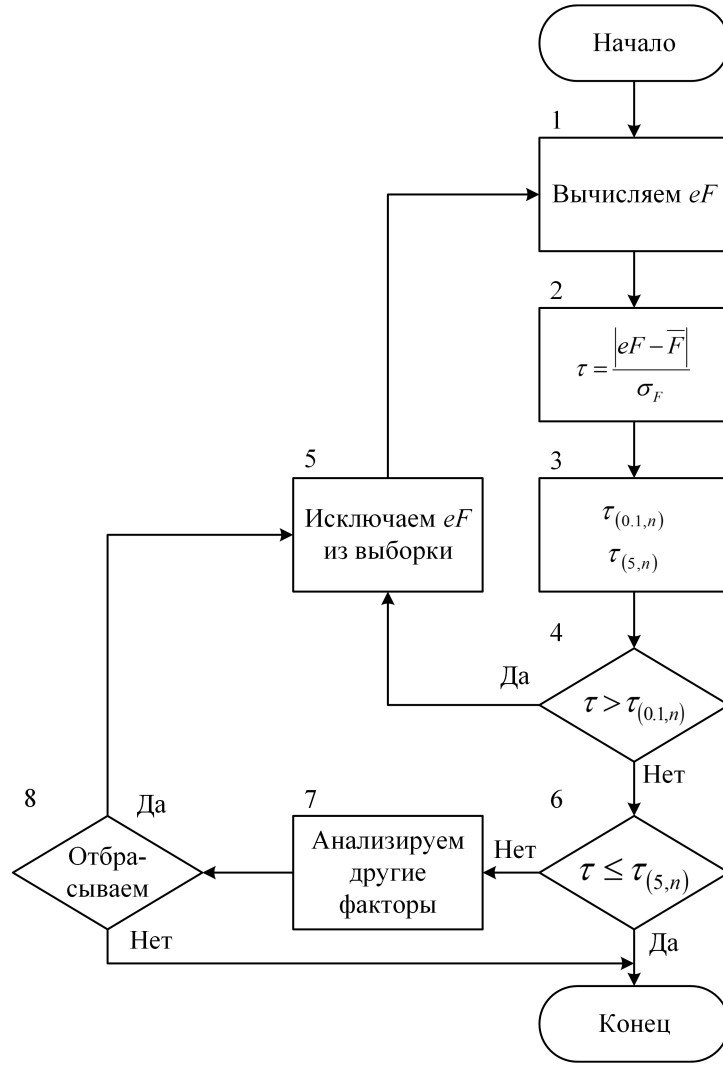


Рис. 2. Алгоритм отброса грубых ошибок

$$\begin{aligned}
 MA_t &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (b_i \cdot p_{t-i}) = \\
 &= b_0 \cdot p_t + b_1 \cdot p_{t-1} + \dots + b_i \cdot p_{t-i} + \dots + b_{n-2} \cdot p_{t-n-2} + b_{n-1} \cdot p_{t-n-1},
 \end{aligned} \tag{3}$$

где MA_t — значение скользящего среднего в точке t ; n — количество значений исходной функции для расчёта скользящего среднего (апертура); p_{t-i} — значение исходной функции в точке $t - i$; b_i — вектор весовых коэффициентов.

Обычно для фильтров скользящего среднего применяется равномерное распределение весов. Например, если $n = 4$, то $b = [\frac{1}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{1}{4} \ \frac{1}{4}]$. Такой фильтр будет называться простым скользящим средним (simple moving average SMA). В данной работе предлагается выбирать весовые коэффициенты для МА путём оценки автокорреляционной функции от требуемого сигнала. На рисунке 3 построена автокорреляционная функция и ее доверительные интервалы $[-0.09623 \ 0.09623]$. Предлагается за весовые коэффициенты взять первые значения автокорреляционной функции, до пересечения её и «верхней» доверительной границы.

Такой алгоритм обусловлен включением в окно скользящего среднего только «тесно» связанных между собой значений целевой функции, и в тоже время применяет веса к включённым значениям согласно их влиянию.

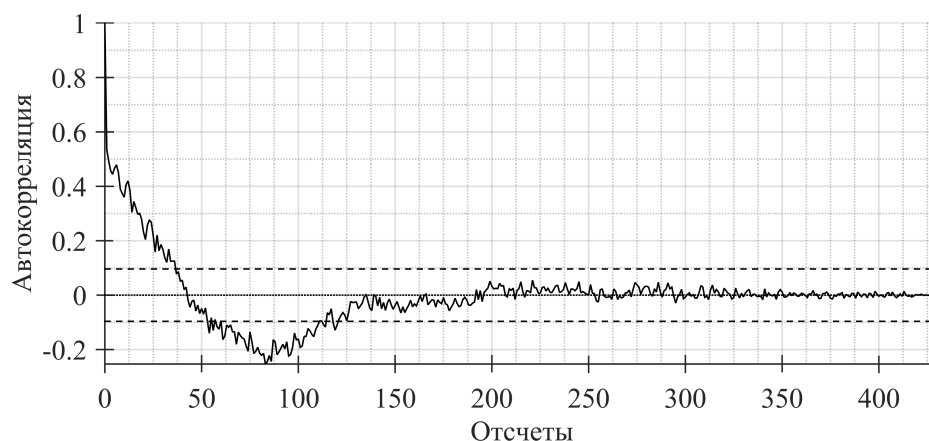
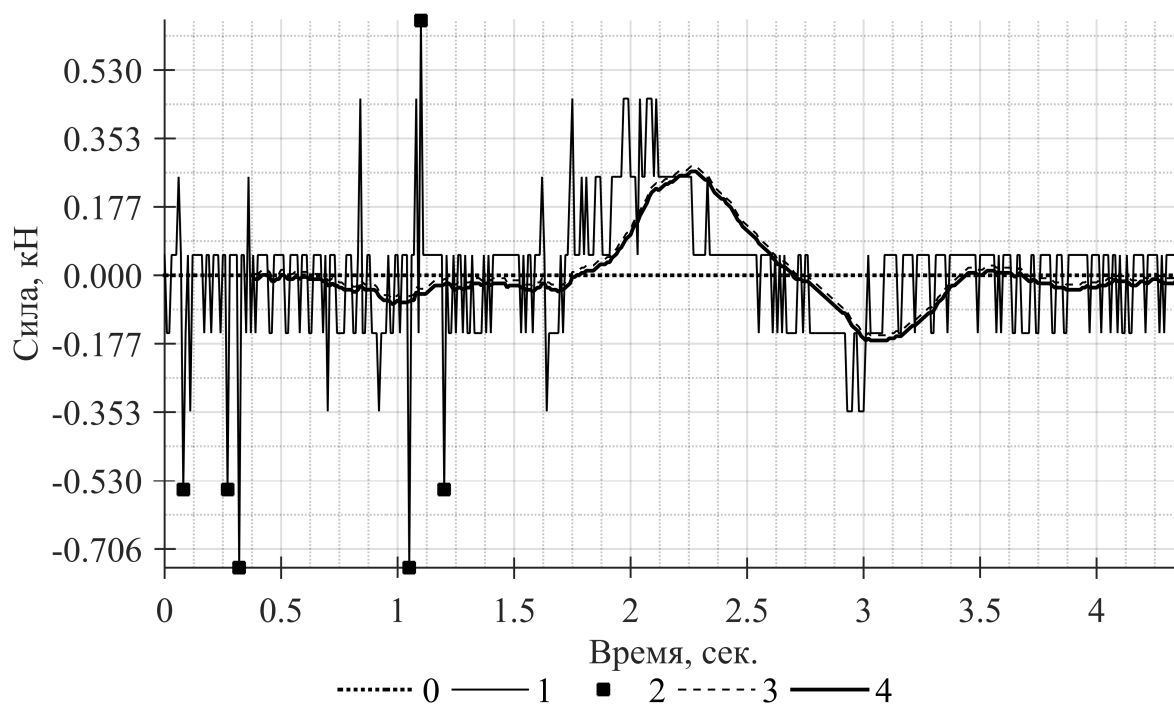


Рис. 3. Автокорреляционная функция с доверительным интервалом

2 Заключение



1 — сигнал полученный с АЦП «сырой»; 2 — отброшенные точки в результате работы алгоритма отброса грубых ошибок; 3 — результат скользящего среднего; 4 — результат отброса постоянной составляющей.

Рис. 4. Переходный процесса разрушения льда

Анализируя работу описанных алгоритмов, по рисунку 4 можно видеть отброшенные пиковые выбросы сигнала 2, рассчитанные с помощью алгоритма отброса грубых ошибок. Такие выбросы могут свидетельствовать о кратковременных скачках напряжения в питающей сети, обусловленных работой силового оборудования, такого как трехфазный двигатель привода лабораторного стенда, холодильная установка.

Так же на графике представлен сглаженный сигнал переходного процесса резания льда 3, полученный путем применения алгоритма скользящего среднего с адаптивным окном сглаживания. Как видно график 3 имеет некоторое смещение по временной оси, которое обусловлено размером окна сглаживания. Смещение не является критичны, так

как расположено в начале временной оси, в тот момент времени когда, происходит движение резца в свободной состоянии (до момента внедрения в ледяной массив). Так же на графике 3 явно видны отрицательные значения сигнала. Отрицательные значения на временном промежутке от 0,375 до 1,75 секунд объясняются наличием упругих элементов в тензометрическом звене и не нулевыми моментами инерции кронштейна и дискового режущего инструмента. Отрицательные значения на промежутке времени с 2,75 по 3,5 секунд имеют тот же характер, однако, обусловлены резкой остановкой тензометрической головки вместе с оснасткой и инструментом.

График 4 мало отличается от графика 3, однако, это сигнал имеющий нулевую постоянную составляющую. Столь малые отличия объясняются хорошей подстройкой переменного резистора в мостовой схеме включения тензометрических резисторов. Однако, такая подстройка не редко может производиться не точно или вообще не производится. Поэтому для получения результирующего сигнала используется алгоритм отброса постоянной составляющей. А именно, перевод сигнала в частотную область и вычисления амплитуды нулевой частоты.

Таким образом полученные данные становятся более читаемыми и пригодными к дальнейшему анализу, который подразумевает под собой построении математической модели взаимодействия дискового режущего инструмента с ПСЛО, которая будет учитывать такие параметры как радиус закругления рабочей кромки и шаг резания.

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. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул : Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд. — М. : Высш. шк., 1988. — 239 с.