



ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
В ПРОЦЕССЕ ПОМОЛА ЗЕРНА

Х. Ш. Шарифов

“Бухарский Государственный Технический Университет”

Ш. Н Еркинов

Бухарский Государственный Технический Университет

Бухара, Узбекистан

shahbozerkinov7@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются методы и подходы к повышению точности информационно-измерительных систем, используемых для анализа вибрационных свойств в процессе помола зерна. Уделено внимание разработке алгоритмов обработки сигналов, таких как фильтрация, спектральный анализ и адаптивные методы, позволяющие минимизировать погрешности, вызванные шумами и динамическими характеристиками оборудования. Приводятся результаты исследований, направленных на оптимизацию измерительных систем для мониторинга технологических процессов и диагностики неисправностей. Полученные выводы и предложенные решения имеют практическую ценность для повышения эффективности зерноперерабатывающего оборудования и улучшения качества продукции.

Введение. В современных зерноперерабатывающих предприятиях точность информационно-измерительных систем (ИИС), используемых для анализа вибрационных свойств в процессе помола зерна, играет ключевую роль в обеспечении качества продукции и эффективности технологических процессов. Повышение точности таких систем требует разработки и внедрения эффективных методов обработки сигналов, способных минимизировать погрешности, вызванные шумами и динамическими характеристиками оборудования. В данной статье рассматриваются современные подходы к улучшению точности ИИС, включая фильтрацию, спектральный анализ и адаптивные методы обработки сигналов.

Качество муки, сформированное на предприятии, напрямую влияет на характеристики хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий. Достижение высокой точности и оперативности в оценке качества продуктов переработки зерна возможно благодаря повышению уровня автоматизации и роботизации производственных процессов. Информационные технологии и интеллектуальные системы проникли в большинство отраслей техники и промышленности. Внедрение роботизированных технологий в различных секторах промышленности происходит с



разной скоростью. Современные предприятия зерноперерабатывающей отрасли достигли высокой степени автоматизации производства.

Внедрение автоматизированных систем позволяет повысить точность и оперативность оценки технологических свойств пшеницы, что, в свою очередь, способствует улучшению качества конечной продукции, такой как хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия.

Использование информационных технологий для анализа вибрационных свойств в процессе помола зерна позволяет минимизировать погрешности, вызванные шумами и динамическими характеристиками оборудования. Это достигается за счет разработки алгоритмов обработки сигналов, таких как фильтрация, спектральный анализ и адаптивные методы.

Таким образом, интеграция информационных технологий и интеллектуальных систем в процессы зернопереработки способствует повышению эффективности производства и улучшению качества продукции.

Материалы и методы. Одним из ключевых направлений повышения точности информационно-измерительных систем, используемых для анализа вибрационных свойств в процессе помола зерна, является разработка и внедрение современных методов обработки сигналов [1]. К таким методам относятся:

1. **Фильтрация сигналов:** Применение цифровых фильтров позволяет эффективно устранять шумы, присутствующие в измеряемых вибрационных сигналах. Особое внимание уделяется выбору оптимальных параметров фильтров для сохранения информативной составляющей сигнала.

2. **Спектральный анализ:** Анализ частотных характеристик вибрационных сигналов предоставляет возможность выявления специфических особенностей процесса помола, что способствует более точной диагностике состояния оборудования и качества помола.

3. **Адаптивные методы обработки:** Использование адаптивных алгоритмов позволяет системе подстраиваться под изменяющиеся условия работы, обеспечивая устойчивость и точность измерений в реальном времени.

Фильтрация вибрационных сигналов является ключевым этапом в обработке данных, направленным на устранение нежелательных шумов и выделение информативных компонентов сигнала. Существует несколько методов фильтрации, каждый из которых обладает своими особенностями и применяется в зависимости от характера сигнала и поставленных задач. Фильтр Баттерворта используется для устранения нежелательных шумов в сигнале, обеспечивая плавный и предсказуемый частотный отклик. Для этого фильтра характерна монотонная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) без пульсаций, что делает его особенно полезным для обработки сигналов, где требуется минимальное искажение. Процесс устранения шума начинается с анализа частотного спектра сигнала. Необходимо определить диапазон частот полезного сигнала и частотный диапазон, в котором преобладает шум [2].



На основе этих данных выбирается тип фильтра Баттерворта [3]. Для подавления высокочастотного шума используется низкочастотный фильтр, который пропускает частоты ниже заданной частоты среза, подавляя все частоты выше. Если шум находится в низкочастотной области, применяется высокочастотный фильтр, пропускающий частоты выше заданной. Для более сложных задач применяются полосовые или режекторные фильтры. Задаются параметры фильтра: частота среза для разделения полезного сигнала и шума, допустимая неравномерность в полосе пропускания (обычно не более 1 дБ) и уровень затухания в полосе подавления (например, 20 или 30 дБ). Эти параметры определяют характеристики фильтра, такие как порядок и коэффициенты передаточной функции. После этого фильтр может быть реализован в аналоговой или цифровой форме. В аналоговом виде фильтр строится на основе резисторов, конденсаторов и операционных усилителей.

В цифровом виде фильтр реализуется с использованием алгоритмов обработки сигналов, например, в MATLAB, Python или других средах программирования.

При цифровой реализации сигнал сначала дискретизируется, затем к нему применяется фильтр с рассчитанными коэффициентами [4].

Типы фильтров Баттерворта.

ФНЧ (Фильтр Низких частот): пропускает низкие частоты до ω_p подавляя частоты выше ω_s .

ФВЧ (Фильтр Высоких частот): пропускает частоты выше ω_p подавляя низкие частоты.

Полосовой фильтр: пропускает частоты в заданном диапазоне.

Режекторный фильтр: подавляет частоты в определенном диапазоне.

Результаты исследований. Одним из часто используемых методов является двунаправленная фильтрация (например, функция `filtfilt` в MATLAB), которая обеспечивает минимальные фазовые искажения. Фильтр Баттерворта подходит для широкого спектра задач, включая обработку аудиосигналов, удаление шума в медицинских данных, подавление сетевых помех и улучшение качества изображений [5]. Его основные преимущества включают простоту настройки, стабильность и универсальность.

Фильтра Баттерворта описывается выражением:

$$|H(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon_p^2 F_N^2(\omega)}, \quad (1)$$

где: ε_p — параметр, связанный с допустимой неравномерностью (R_p) в полосе пропускания:

$$\varepsilon_p = \sqrt{10^{R_p/10} - 1}, \quad (2)$$

$F_N(\omega)$ — аппроксимирующий полином Баттерворта порядка N :

$$F_N(\omega) = \omega^{2N}. \quad (3)$$

ω_p нормирована до 1 (в теории).

Порядок фильтра (N)



$$N = \frac{\ln(\varepsilon_s/\varepsilon_p)}{\ln(\omega_s/\omega_p)}, \quad (4)$$

Порядок фильтра определяется формулой:

где: ε_s — параметр, связанный с затуханием в полосе подавления (R_s):

$$\varepsilon_s = \sqrt{10^{R_s/10} - 1}. \quad (5)$$

Полюса фильтра Баттерворта

Полюса нормированного фильтра Баттерворта расположены на единичной окружности в левой полуплоскости и определяются формулой:

$$p_k = \exp(j \frac{\pi(2k+N-1)}{2N}), k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (6)$$

где: N — порядок фильтра;

Полюса равномерно распределены по окружности, обеспечивая стабильность системы.

Исходные данные:

$R_p=1$ дБР - допустимая неравномерность в полосе пропускания;

$R_s=20$ дБР - затухание в полосе задерживания;

$\omega_p=1$ рад - частота среза полосы пропускания;

$\omega_s=4$ рад - частота начала полосы подавления.

К примеру, MATLAB- расчета передаточной функции фильтра Баттерворта на основе ваших данных:

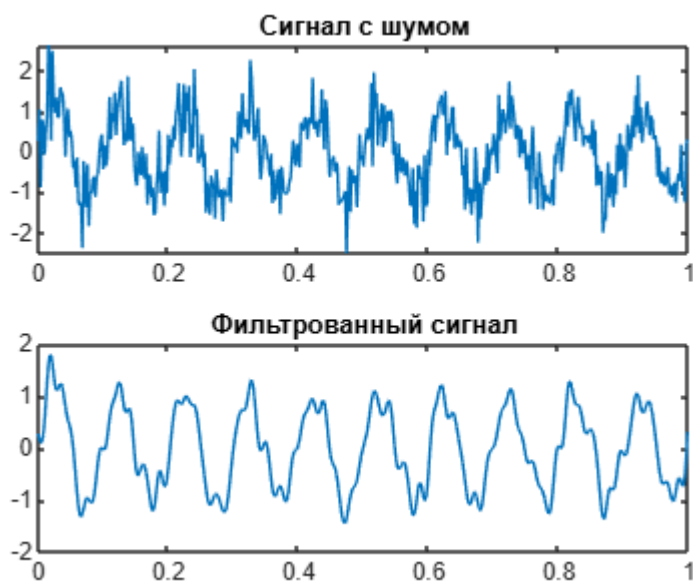


Рис 1 Графики фильтров Баттерворта

Преимущества фильтра Баттерворта. Простота реализации. Отсутствие пульсаций в полосе пропускания. Стабильность из-за расположения полюсов в левой полуплоскости.

Ограничения. Относительно медленный спад амплитуды в полосе подавления по сравнению с фильтрами Чебышева или эллиптическими. Для крутых переходов требуется более высокий порядок фильтра.



Применение

Обработка звуковых сигналов. Подавление шума в аудио- и видеосистемах. Цифровая обработка сигналов (DSP). Радиосвязь и телекоммуникации.

Для устранения нежелательных шумов с помощью фильтра Баттерворта необходимо выбрать подходящий тип фильтра (низкочастотный, высокочастотный, полосовой или режекторный) в зависимости от частотного диапазона полезного сигнала и шума. Ниже приводится теоретическое объяснение и практические рекомендации для реализации. Фильтр Баттерворта позволяет эффективно устранять нежелательные шумы в сигналах за счет плавной амплитудно-частотной характеристики. Он используется для подавления высокочастотного шума (с помощью низкочастотного фильтра), низкочастотного шума (с помощью высокочастотного фильтра) или фильтрации сигналов в определенном диапазоне (с помощью полосовых фильтров).

Цифровизация в зерноперерабатывающей промышленности включает в себя методы оценки качества зерна по различным физико-химическим показателям. Ожидается, что интеллектуальные (информационно-измерительные) системы повысят информативность гранулометрического анализа. На практике в мукомольной промышленности для классификации зерна часто используют показатели влажности, стекловидности, однако эти показатели не в полной мере характеризуют мукомольные качества различных сортов пшеницы [6,7]. Поэтому для количественной оценки прочностных свойств зерна было предложено использовать показатель твердости. Прямое измерение этого показателя с помощью твердомера трудоемко и на практике не нашло широкого применения.

Разработка системы необходимо использовать технологию компьютерного зрения для обработки изображений частиц размола с целью определения физико-химических показателей качества продукта размола. Геометрические свойства образца помола, определенные с помощью фрактурного анализа, используются для прогнозирования свойств зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Orfanidis S.J. **Introduction to Signal Processing**. Rutgers University, 2010.
2. Оппенгейм А., Шаффер Р. **Цифровая обработка сигналов**. Москва, Техносфера, 2012. 1048 с. ISBN 978-5-94836-329-5
3. Барков, А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова. - СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2004. - 152 с.
4. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьёв. - М.: Наука, 1996. - 276 с.



5. Каландаров П.И., Матъякубова П.М., Гагиева Р.Т. Сушка и контроль влажности зерна и зернистых материалов. Ташкент, 2000, 179 с.

6. Хайитов А.Н., Шарифов Х.Ш. Математическое моделирование процесса измельчения зерна. В книге: Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск, 2024. С. 104.

7. Каландаров П.И., Искандаров Б.П. Проточный влагомер для измерения влажности зерна в составе автоматизированной системы контроля влажности зерна. Измерительная техника. 2024. № 5. С. 18-25.

