

Қ.ҚҰЛАЖАНОВ АТЫНДАҒЫ
ҚАЗАҚ ТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ
БИЗНЕС УНИВЕРСИТЕТІ



КАЗАХСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГИИ И БИЗНЕСА ИМЕ-
НИ К.КУЛАЖАНОВА

K.KULAZHANOV KAZAKH UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY AND BUSINESS

«ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН ЖАСАН- ДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ДӘУІРІНДЕГІ ПӘНАРАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ БАҒЫТ- ТАРЫ»

атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференция-
сының ғылыми мақалалар

ЖИНАҒЫ

СБОРНИК

научных статей международной научно-практической
конференции

«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МЕЖДИС- ЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭПОХУ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННО- ГО ИНТЕЛЛЕКТА»

PROCEEDINGS

of the International Scientific and Practical Conference

«PROMISING DIRECTIONS OF INTERDISCIPLINARY RESEARCH IN THE ERA OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE»

Астана, 2026



УДК 001.89:004.8
ББК 72.4+32.813
Ц42

Под общей редакцией доктора технических наук Байболовой Л.К.

Редакционная коллегия:

Редакционная коллегия: Айбульдинов Е.К. – PhD, Хастаева А.Ж. – PhD, Омаркожаева А.Н. – к.э.н., Нуртай Ж. Т. – PhD, Байжанова Ж. Б. – к.т.н., Жунусова А. А. – PhD., Акишев К.М. – к.т.н., Абдукаримова А.А. – PhD, Абдильдинова Н.Е. – PhD, Бекбусинова Г.К. – к.э.н., Канафиева К.К. – к.п.н., Оразов А.Ж. – к.т.н., Магауянов Д. А. – PhD.

Перспективные направления междисциплинарных исследований в эпоху цифровых технологий и искусственного интеллекта // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. – Астана: Издательство КазУТБ имени К.Кулажанова. 2026. – 1172 с.

ISBN 978-601-263-670-3

Сборник подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Перспективные направления междисциплинарных исследований в эпоху цифровых технологий и искусственного интеллекта». Материалы конференции посвящены актуальным вопросам современного научно-технологического развития, включая процессы в инженерной и перерабатывающей отраслях, инновации в химической инженерии и экологическую безопасность, применение искусственного интеллекта и развитие информационных технологий в условиях цифровой трансформации экономики. Особое внимание уделено развитию человеческого капитала и цифровой грамотности, современным технологиям в промышленности и дизайне, трансформации туризма и образования, роли языка в глобальном диалоге, а также современным тенденциям в сфере финансов и бухгалтерского учета.

УДК 001.89:004.8
ББК 72.4+32.813

ISBN 978-601-263-670-3



© Издательство КазУТБ имени К.Кулажанова, 2026

набухтату байқалды ($\Delta m \approx +12\%$), бұл оның аморфты аймақтарына еріткіш молекулаларының сіңуін көрсетсе, ПЭТ үшін мұндай әсер болмады. Еріткішті буландырғаннан кейінгі қалдық массаның жоғалуы (ПЭВП үшін $-0,55\%$) полимер құрылымындағы керімсіз өзгерістердің (қоспалардың шығуы, тығыздалу) белгісі болып табылады.

Қорытынды: Зерттелген полимерлердің тұрақтылығы ортаның агрессивтілігіне қатты тәуелді. ПЭТ қышқыл-негіз әсерге сезімтал, ал полиэтилен - жоғары тығыздылы органикалық еріткіштерге. Бұл материалдарды таңдау және оларды қолдану мерзімін болжау кезінде пайдаланылатын ортаның табиғатын міндетті түрде ескеру қажет екенін көрсетеді. Экологиялық жағдайда (теңіз суы) екі полимердің де механикалық әсерсіз ыдырауы өте баяу жүреді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых // Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям, Москва 2017, с.158-176
2. Odian, G. Principles of Polymerization. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2004. 812 p.
3. Young, R.J., Lovell, P.A. Introduction to Polymers. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 688 p.
4. Гаевский В.В., Куренков В.Ф. Деструкция и стабилизация полимеров в технологических и эксплуатационных процессах. М.: Химия, 2015. 320 с.
5. Қалиев Н.С., Молдабаева Г.Ж., Жұмабаева А.Т. Полиэтилентерефталат негізіндегі талшықтардың құрылымы мен қасиеттері. Химия және химиялық технология сериясы. ҚазҰТУ хабаршысы. - 2018. - №1. - Б. 78-84.
6. Сәденова А.Б., Исаева Л.М. Қазақстандағы полимерлік қалдықтарды қайта өңдеудің кейбір мәселелері: ПЭТ қаптамалар мысалында. Экология және өнеркәсіп сериясы. - Алматы: ҚазҰУ хабаршысы, 2020. - Т. 60, №4. - Б. 45-53.
7. Смағұлов, Е.Б., Жүнісбекова, А.К. (2020). Қалалық қатты қалдықтардың морфологиялық құрамын зерттеу (Нұр-Сұлтан мысалында). «Экология және табиғат пайдалану» ғылыми журналы, №3(45). – Б. 56-62.
8. Бабаев В.Н. Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города: уч. пособие / В.Н. Бабаев, Н.П. Горох, И.В. Коринько и др. – Харьков: ХНАГХ, 2004.– 375 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОНЛАЙН-КОНТРОЛЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КУСКОВОЙ РУДЫ

¹ К. Акишев, зав.кафедрой «КИиА», к.т.н., ассоц. профессор

² А. Зейнуллин, кафедра «ХХТ», д.т.н., профессор

³ А. Подвалов, директор, к.г.н.

⁴ Е. Айбульдинов, проректор по науке и инновациям, доктор PhD, ассоц. профессор

⁵ А. Нурмаганбетов, руководитель департамента исследований и разработок, к.т.н., ассоц. профессор

⁶ М. Оспанова, к.ф.м.н., ответственный редактор Вестник Казутб

⁷ М. Чагай, административный директор

⁸ М. Айтиева, директор проектного офиса

⁹ С. Хусаинова, администратор проектов

^{1,2,4,6} 2. Астана, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Республика Казахстан

^{3,5,7,8,9} 2.Астана, TOO AG Tech, Республика Казахстан

Онлайн-контроль химического состава кусковой руды является ключевым элементом современных систем предварительного обогащения и технологического мониторинга. При

переработке руд с высокой неоднородностью по минеральному составу традиционные лабораторные методы анализа не обеспечивают необходимой оперативности, что приводит к запаздывающим управленческим решениям и снижению эффективности технологических процессов [1-2].

Сенсорные методы контроля, основанные на регистрации спектров вторичного рентгеновского излучения, позволяют получать информацию о составе материала непосредственно в потоке. Однако интенсивности характеристических линий элементов существенно зависят от гранулометрии, плотности, формы кусков и минеральной матрицы, что требует применения специальных методов математической обработки спектров для повышения достоверности аналитических оценок.

Современные системы онлайн-анализа руды используют комплексные методы обработки спектральной информации, включающие фильтрацию шумов, адаптивное выделение аналитических окон и нормирование интенсивностей. Широкое распространение получили методы сглаживания и цифровой фильтрации, позволяющие повысить отношение сигнал/шум при работе в условиях промышленной вибрации и электромагнитных помех [3-4].

Дополнительным направлением является использование многомерных признаков, формируемых на основе нескольких энергетических каналов, а также переход от линейных регрессионных моделей к алгоритмам машинного обучения для оценки содержания элементов и классификации кусков руды [5-6].

Математическая обработка спектров включает последовательное выполнение следующих операций.

1. Фильтрация шумов спектра. Для подавления высокочастотных помех применяется сглаживание скользящим средним ф-ла 1:

$$S_{f(E_i)} = \left(\frac{1}{2k+1} \right) * \sum_{j=i-k}^{i+k} S(E_j) \quad (1)$$

где $S(E_j)$ — исходная интенсивность спектра при энергии E_j , k — ширина окна сглаживания.

Фильтрация спектров вторичного излучения направлена на подавление высокочастотных шумов, возникающих из-за статистической природы регистрации фотонов, вибраций оборудования и электромагнитных помех в промышленной среде. Без предварительной фильтрации интенсивности характеристических линий элементов могут существенно колебаться даже при постоянном химическом составе, что приводит к ошибкам при интегрировании пиков и снижает точность оценки состава. Применение сглаживания скользящим средним или медианной фильтрации позволяет сохранить форму спектральных пиков и одновременно уменьшить случайные флуктуации сигнала. Практический эффект выражается в повышении отношения сигнал/шум и снижении дисперсии аналитических признаков, что уменьшает число ошибочных решений при онлайн-контроле [4].

2. Интегрирование интенсивности в аналитических окнах ф-ла 2:

$$I_x = \sum_{E \in \Omega_x} S_{f(E)} \quad (2)$$

где Ω_x — энергетическое окно характеристической линии элемента x .

Интегрирование интенсивности в заданных энергетических окнах применяется для количественной оценки вклада характеристических линий элементов в спектре. Использование площади пика вместо одиночного канала снижает влияние шумов и небольших энергетических сдвигов. Энергетические окна выбираются так, чтобы максимально охватывать полезный пик и минимизировать вклад фона. В результате улучшается линейность градуировочных зависимостей и повышается воспроизводимость измерений, что критично для устойчивой работы систем сортировки и мониторинга качества рудопотока.

3. Формирование нормированного аналитического признака ф-ла 3:

$$H = \frac{I(\text{Cu})}{I(\text{Ns})} \quad (3)$$

где $I(\text{Cu})$ — интегральная интенсивность линии меди, $I(\text{Ns})$ — интенсивность рассеянного излучения.

Абсолютные интенсивности спектральных линий зависят не только от содержания элемента, но и от плотности, толщины слоя и формы кусков руды. Для компенсации этих факторов применяется нормирование на сигнал рассеянного излучения, отражающий общее взаимодействие излучения с матрицей материала. Нормированный признак $H = \frac{I(\text{Cu})}{I(\text{Ns})}$ демонстрирует существенно меньший разброс при одинаковом химическом составе.

Эффект нормирования количественно оценивается через дисперсию параметров до и после компенсации матричных эффектов ф-ла 4-5:

$$\sigma_{\text{raw}}^2 = \left(\frac{1}{n-1} \right) * \sum (I_i - I_{\cdot})^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{norm}}^2 = \left(\frac{1}{n-1} \right) * \sum (H_i - H_{\cdot})^2 \quad (5)$$

где σ_{raw}^2 — дисперсия исходных интенсивностей, σ_{norm}^2 — дисперсия нормированного признака. Уменьшение σ_{norm}^2 по сравнению с σ_{raw}^2 подтверждает устойчивость аналитического признака.

4. Градуировочная зависимость для оценки содержания меди ф-ла 6:

$$C_{\text{Cu}} = a * H + b \quad (6)$$

где a и b — коэффициенты линейной регрессии, определяемые по контрольным пробам.

Для перехода от аналитического параметра к концентрации используется градуировочная зависимость $C = a * H + b$; Качество аппроксимации оценивается коэффициентом детерминации ф-ла 7:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum (C_i - \hat{C}_i)^2}{\sum (C_i - C_{\cdot})^2} \right] \quad (7)$$

где C_i — лабораторно определенное содержание, $\hat{C}_i$ — значение по модели, $C_{\cdot}$ — среднее значение. Значения R^2 , близкие к 1, свидетельствуют о высокой достоверности онлайн-оценки состава.

5. Критерий принятия решения при сортировке:

- если $H \geq H_0 \rightarrow$ кусок относится к концентрату,
- если $H < H_0 \rightarrow$ кусок относится к хвостам, где H_0 — порог сортировки, выбираемый по максимуму технологической эффективности.

Эффективность предварительного обогащения при сортировке оценивается с учетом извлечения металла и выхода продуктов. В инженерной практике применяется показатель технологической эффективности ф-ла 8:

$$\eta = \frac{\gamma_k * \beta_k - \gamma_p * \beta_p}{\beta_p} * 100\% \quad (8)$$

где γ_k — выход концентратного продукта, β_k — содержание металла в концентрате, γ_p и β_p — выход и содержание металла в питании. Рост η характеризует снижение переработки пустой породы и повышение селективности разделения.

Применение совокупности рассмотренных методов математической обработки спектров позволяет сформировать устойчивые аналитические признаки, обеспечивающие надежную оценку состава и повышение эффективности онлайн-контроля кусковой руды.

Предлагаемый подход включает последовательную обработку спектров вторичного излучения: предварительную фильтрацию, выделение характеристических линий, нормиро-

вание на сигнал рассеянного излучения и построение градуировочных зависимостей.

На графике рис. 1 показан типичный спектр вторичного излучения кусковой руды, содержащий выраженные пики характеристических линий меди и сопутствующих элементов на фоне рассеянного излучения. Видно, что полезная информация сосредоточена в ограниченных энергетических интервалах, что позволяет выделять аналитические окна для последующей обработки. Наличие шумовой составляющей и фонового сигнала обосновывает необходимость применения фильтрации и нормирования интенсивностей при онлайн-контроле химического состава.

СПЕКТР ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИМИ ПИКАМИ

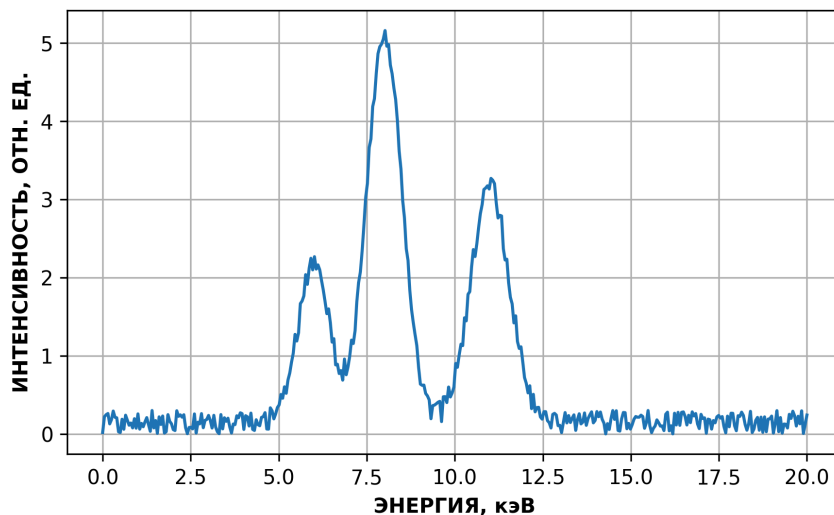


Рисунок 1 — Пример спектра вторичного излучения с выделенными характеристическими пиками

ФИЛЬТРАЦИЯ И ШУМОПОДАВЛЕНИЕ СПЕКТРА

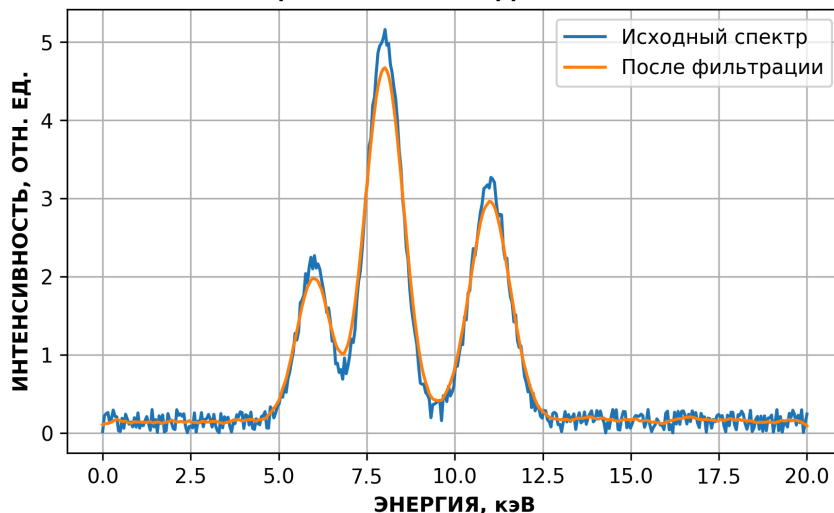


Рисунок 2 — Сравнение исходного и отфильтрованного спектра.

График рис. 3 иллюстрирует эффект сглаживания спектральных данных при применении цифровой фильтрации. После обработки существенно снижается уровень высокочастотных флуктуаций, при этом форма характеристических пиков сохраняется. Это обеспечивает более устойчивое интегрирование интенсивностей в аналитических окнах и повышает отношение сигнал/шум. Фильтрация снижает разброс измерений и улучшает воспроизводимость аналитических параметров в условиях промышленного онлайн-анализа. На первом этапе выполняется сглаживание спектра с использованием скользящего среднего или медианной фильтрации, что позволяет подавить высокочастотный шум без искажения

формы спектральных пиков.

После фильтрации выполняется интегрирование интенсивности в аналитических окнах, соответствующих характеристическим линиям меди и фоновым областям спектра. Для компенсации матричных эффектов используется нормированный параметр $H = \frac{I(\text{Cu})}{I(\text{Ns})}$, где $I(\text{Ns})$ характеризует рассеянное излучение и общую плотность материала.

На рис. 3 показана линейная корреляция между нормированным аналитическим параметром H и фактическим содержанием меди, определённым по контрольным пробам. Линейный характер зависимости в рабочем диапазоне концентраций подтверждает возможность использования параметра H для экспресс-оценки состава руды в режиме реального времени. Градуировочная зависимость используется для перевода спектральных признаков в количественные показатели содержания металла.

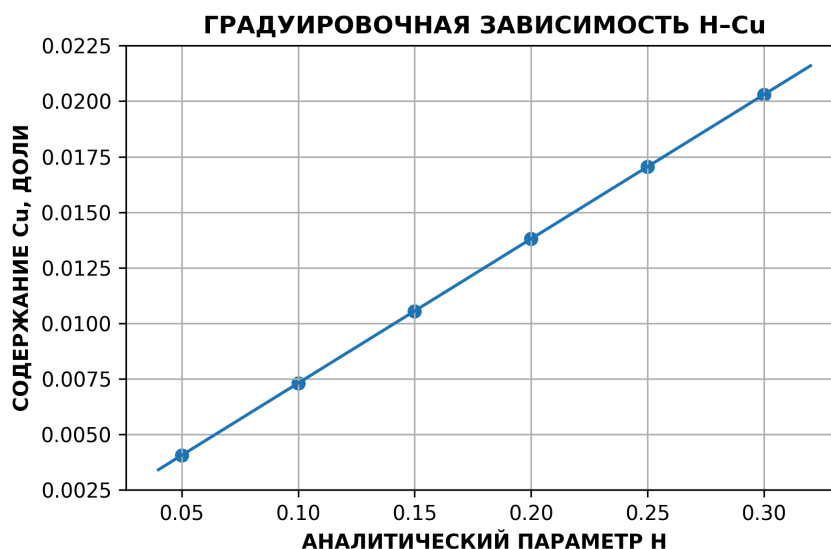


Рисунок 3 — Градуировочная зависимость аналитического параметра H от содержания меди

Линейный характер зависимости позволяет использовать параметр H для экспресс-оценки содержания меди в режиме реального времени и формирования устойчивых порогов сортировки.

В табл. 1 представлены основные этапы обработки спектральных данных и их влияние на достоверность оценки химического состава кусковой руды. Фильтрация шумов направлена на повышение отношения сигнал/шум и снижение случайных колебаний интенсивностей, что обеспечивает стабильность аналитических параметров при работе в промышленной среде. Интегрирование интенсивности в аналитических энергетических окнах позволяет учитывать всю площадь характеристических пиков, снижая влияние энергетических смещений и статистических флуктуаций. Нормирование на сигнал рассеянного излучения компенсирует матричные эффекты, связанные с плотностью и формой кусков, что существенно уменьшает разброс значений аналитического признака при одинаковом химическом составе. Градуировка обеспечивает количественную связь между спектральным параметром и фактическим содержанием металла, позволяя использовать результаты онлайн-контроля для мониторинга качества рудопотока. Адаптивный выбор порогов повышает селективность сортировки и снижает потери полезного компонента, что в совокупности повышает технологическую эффективность предварительного обогащения.

Таблица 1 — Влияние этапов обработки спектра на точность оценки состава

Этап обработки	Эффект	Результат
Фильтрация шумов	Повышение S/N	Стабильность интенсивностей
Нормирование на фон	Компенсация матрицы	Снижение разброса данных

Этап обработки	Эффект	Результат
Градуировка	Связь с %Cu	Онлайн-оценка состава
Адаптивные пороги	Учет изменчивости	Повышение селективности

Применение математической обработки спектров вторичного излучения позволяет существенно повысить точность онлайн-контроля состава руды и снизить влияние матричных факторов. Это обеспечивает более корректное принятие решений при сортировке, уменьшение потерь полезного компонента и стабилизацию качества питания обоганительных переделов.

Повышение достоверности аналитических данных также создает предпосылки для более эффективного использования сенсорной сортировки в качестве инструмента предварительного обогащения, что в конечном итоге приводит к снижению энергозатрат на измельчение и улучшению экономических показателей переработки.

Математическая обработка спектров вторичного излучения является ключевым элементом систем онлайн-контроля химического состава кусковой руды. Использование фильтрации, нормированных аналитических признаков и градуировочных зависимостей позволяет получать устойчивые оценки содержания металла в потоке. Предложенные методы могут быть использованы при проектировании и модернизации систем сенсорного контроля и сортировки руды.

Статья подготовлена по результатам исследований в рамках ПЦФ BR28713037 «Разработка программно-аппаратного комплекса на базе технологий искусственного интеллекта для управления процессом флотации на горно-обоганительных предприятиях».

Список использованной литературы

1. Robben, C. & Wotruba, H. Sensor-Based Ore Sorting Technology in Mining — Past, Present and Future. *Minerals*, Vol. 9, No. 9, p. 523, 2019, DOI: 10.3390/min9090523. Обзор развития технологий сенсорной сортировки и их внедрения в промышленности.
2. Peukert, D., Xu, C. & Dowd, P. A Review of Sensor-Based Sorting in Mineral Processing: The Potential Benefits of Sensor Fusion. *Minerals*, Vol. 12, No. 11, 1364, 2022. DOI: 10.3390/min12111364. Анализ современных направлений сенсорной сортировки и преимуществ объединения данных от нескольких сенсоров.
3. Santos, E. G. et al. Techniques of Pre-Concentration by Sensor-Based Sorting with Focus on Sulfides. *Minerals*, Vol. 15, No. 4, 350, 2025. Обзор техник предварительного обогащения и ролей сенсорной сортировки, включая перспективы интеграции с флотацией и экологические аспекты.
4. Nadolski, S. Evaluation of Bulk and Particle Sensor-Based Sorting Using XRF: A ROC Analysis. *Minerals Engineering*, Vol. 146, Article 106130, 2020. DOI: 10.1016/j.mineng.2019.106130. Применение ROC-анализа для оценки эффективности сортировки с использованием X-ray флуоресцентного анализа.
5. Duan, B. et al. Application of Microwave Imaging in Sensor-Based Ore Sorting. *Minerals Engineering*, Vol. 202, Article 108303, 2023. DOI: 10.1016/j.mineng.2023.108303. Исследование нового сенсорного метода (микроволновое изображение) для выделения полезных компонентов.
6. Shatwell, D. G. Real-Time Ore Sorting Using Color and Texture Analysis. Elsevier (PDF), 2023. Применение алгоритмов обработки изображений и машинного обучения для онлайн-сортировки по цвету и текстуре.