

4. Dash S., Rakesh K.S., Das A., Shubhra B. Synthesis of $MgAl_2O_4$ spinel by thermal plasma and its synergetic structural study // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Vol. 726. – С.108–113.
5. Лямина Г.В., Илела А.Э., Качаев А.А., Амантай Д., Колосов П.В., Чепрасова М.Ю. Получение нанопорошков оксида алюминия и циркония из растворов их солей методом распылительной сушки // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 33, № 2. – С. 119–124.

Шэн Юйсы (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

*Научные руководители: Филипас Александр Александрович, к.т.н., доцент,
Кучман Алена Владимировна, ст. преподаватель*

ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ НА МИКРОФОТОГРАФИЯХ ЭМУЛЬСИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ, ОСНОВАННОЙ НА НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ, И КЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА

Аннотация: Целью данной работы является сравнение эффективности классических и нейросетевых методов обнаружения и анализа капель на микрофотографиях эмульсий для последующего применения в автоматизированных системах оценки устойчивости эмульсий в нефтехимии и пищевой промышленности. Рассматриваются метод распознавания объектов на основе морфологии и модель обнаружения объектов YOLO. Делается вывод о возможности использования моделей нейронных сетей для автоматического анализа микрофотографий эмульсий.

Ключевые слова: микрофотографии промышленной эмульсии, классические методы, методы обнаружения изображений, ультразвуковая деэмульсация.

Введение

Синтез и разрушение эмульсий – это важнейшая проблема в ряде отраслей промышленности, включая пищевую, сельскохозяйственную, нефтеперерабатывающую и фармацевтическую. Стабильность эмульсии представляет собой способность эмульсии сохранять свои свойства с течением времени, тогда как нестабильность эмульсии указывает на физические или химические изменения свойств эмульсии [1]. Достижение длительной стабильности эмульсии или быстрого ее разделения является сложной задачей и зависит от различных факторов, особенно от размера, формы и пространственного распределения капель. В нашем исследовании рассматривается воздействие акустических колебаний на дисперсный состав, при этом генерируется большое количество микрофотогра-

фий с изображением капель эмульсии, из которых необходимо получить статистические данные для проведения количественного анализа результатов воздействия ультразвука в широком диапазоне частот. Для решения проблемы обработки полученных данных была поставлена задача использования методов обнаружения изображений для автоматизации подсчета количества и размеров. В данной работе рассматриваются два метода, используемые для обнаружения объектов на изображениях, – распознавание объектов на основе морфологии и модель обнаружения объектов YOLO.

Получение экспериментальных данных

Микрофотографии были сделаны в результате эксперимента по анализу воздействия акустических колебаний ультразвуковой частоты на водомасляную эмульсию. Эмульсия помещалась в тонкую трубку диаметром 1 мм, трубка располагалась на предметном столике микроскопа. На трубку была направлена ультразвуковая ячейка, соединенная с генератором сигналов (рис. 1). В результате проведения экспериментов было получено большое количество образцов микрофотографий для анализа.



Рис. 1. Схема эксперимента по ультразвуковой деэмульсации

Для сравнения методов обнаружения капель было выбрано две микрофотографии: с водомасляной эмульсией до воздействия ультразвука и после десятиминутного воздействия с частотой 1 МГц. Эталонные данные о размерах капель были получены с помощью ручной разметки (рис. 2).

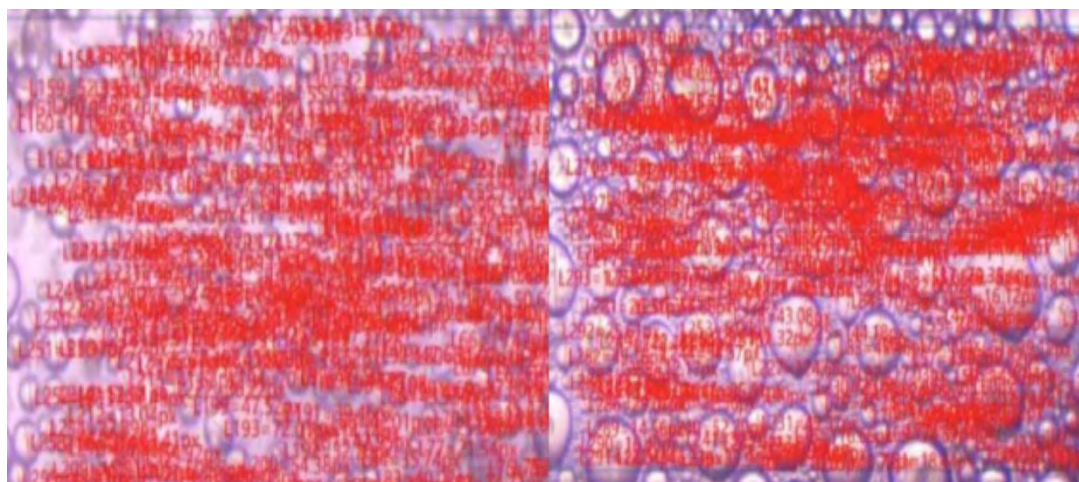


Рис. 2. Разметка капель в ручном режиме

Процесс ручной обработки данных требует больших временных затрат, поэтому были внедрены методы обнаружения, которые можно разделить на две категории: классические методы и методы, основанные на использовании нейронных сетей.

Распознавание объектов на основе морфологии

Работа алгоритма заключается в использовании традиционных методов обработки изображений для обнаружения круглых объектов в изображении. Сначала изображение преобразуется в grayscale и применяется гауссово размытие для уменьшения шума и сглаживания изображения [2]. Затем используется адаптивная пороговая обработка и фиксированное пороговое разделение для усиления информации о границах, что делает объекты более отчетливыми. Далее с помощью морфологических операций, таких как дилатация и эрозия, усиливаются контуры объектов и удаляются мелкие шумовые области. Затем с помощью функции `cv2.findContours()` обнаруживаются контуры изображения и по круглоте контуров отбираются потенциальные круглые объекты. Чтобы избежать повторного обнаружения, используется пороговое значение расстояния между центрами кругов для удаления перекрывающихся кругов. В завершение для каждого обнаруженного круга с помощью функции `cv2.minEnclosingCircle()` вычисляются его центр и радиус и на изображении рисуется круг, обозначающий найденный объект. Весь процесс включает в себя серию операций обработки изображений, сочетающий морфологический и контурный анализ, что позволяет точно обнаруживать и помечать круглые структуры на изображении [3]. Результаты обработки представлены на рисунке 3.

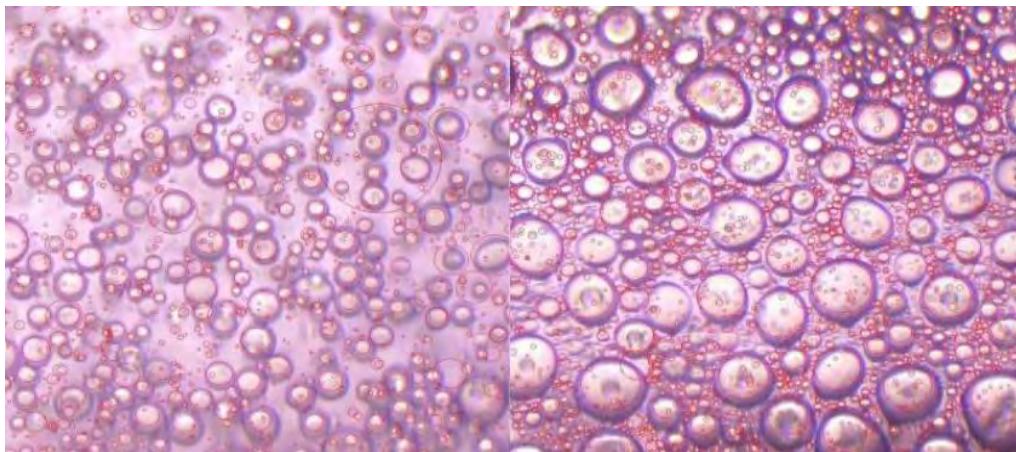


Рис. 3. Автоматический подсчет размеров капель с помощью классических методов

Модель обнаружения объектов YOLO

Концепция разработки основана на использовании модели обнаружения объектов, обученной на собственных весах, для автоматического распознавания и разметки целей на изображениях. Сначала программа просматривает все изображения в указанной папке и загружает их для последующей обработки. Модель выполняет вывод на основе предварительно обученных весов, распознает объекты и возвращает координаты их граничных рамок. Затем код преобразует обнаруженные граничные рамки в круговые объекты, вычисляя центр и приблизительный радиус каждого объекта, а также выполняет преобразование в заданную единицу измерения [4]. После этого все полученные результаты сохраняются в файл Excel, а аннотированные изображения сохраняются на диск. Весь процесс использует возможности глубокого обучения для автоматического обнаружения и сохранения данных об объектах на изображении, что особенно полезно для пакетной обработки изображений, содержащих круглые или приближенно круглые объекты, таких как анализ клеток и частиц [5]. Результаты обработки представлены на рисунке 4.

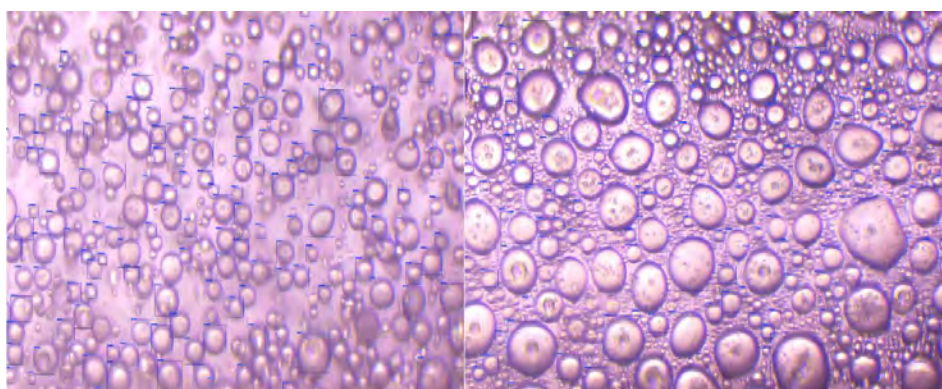


Рис. 4. Автоматический подсчет размера капель с помощью модели YOLO

Результаты

В данной статье представлено исследование по обнаружению и извлечению сферических капель на эмульсионных микрофотографиях, особенно в случаях перекрытия частиц. Для характеристики сферических капель и понимания их влияния на свойства эмульсии требуются передовые методы анализа изображений, которые позволяют учитывать изменения формы и точно количественно определять морфологические особенности.

Статистические результаты трех методов измерения размера частиц эмульсии приведены на рисунках 5, 6 и 7.



Рис. 5. Распределение капель масла в эмульсии в начале и конце при 1 МГц (Ручная маркировка)

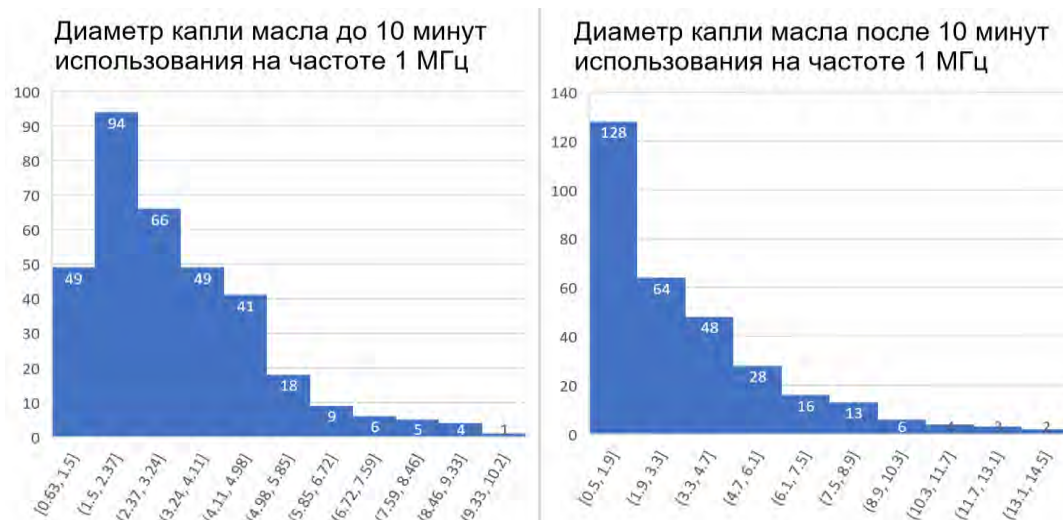


Рис. 6. Распределение капель масла в эмульсии в начале и конце при 1 МГц (Классические методы)

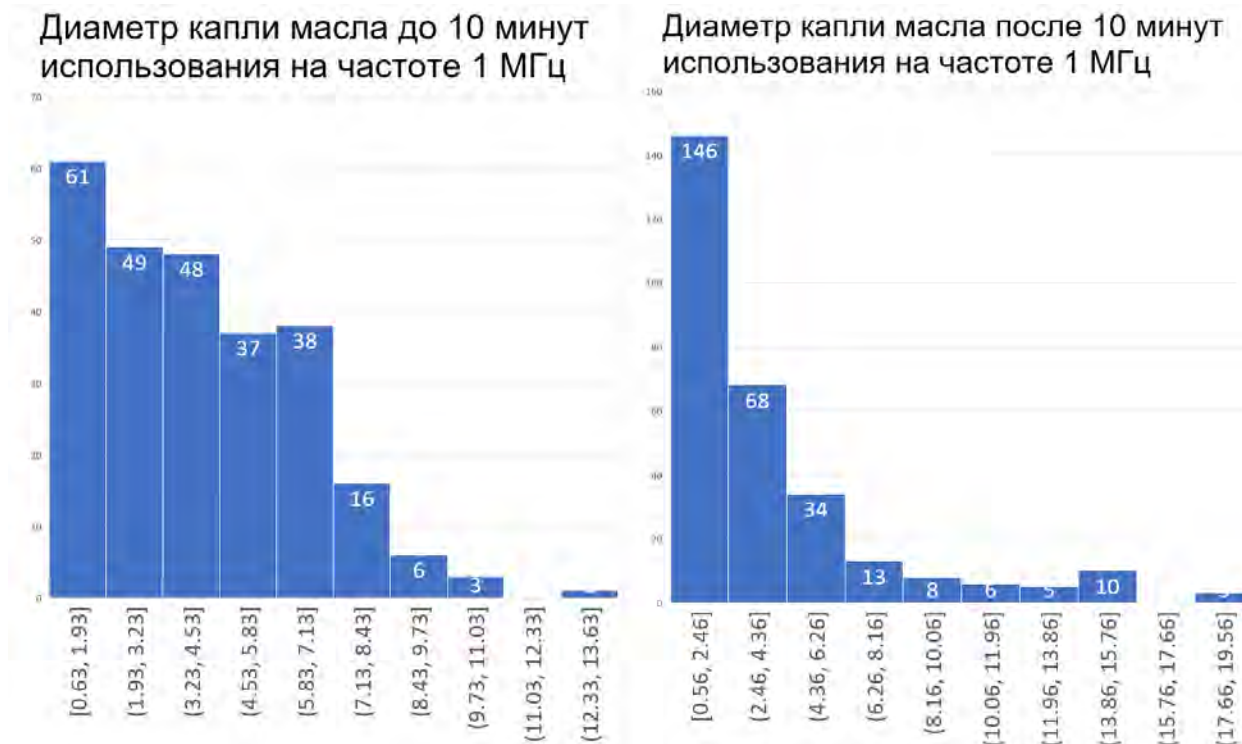


Рис. 7. Распределение капель масла в эмульсии в начале и конце при 1 МГц
(Модель обучения YOLO)

В результате проведенного исследования было выявлено, что ультразвуковое воздействие оказывает значительное влияние на процесс разрушения водомасляных эмульсий. Эксперименты показали, что оптимальной частотой для разрушения эмульсий является диапазон около 1 МГц, где достигается наибольшая эффективность за счет кавитационных эффектов и сдвиговых напряжений. При этой частоте наблюдалось максимальное увеличение числа крупных капель и эффективное разделение фаз.

Образцы микрофотографий, полученные описанным выше методом, представляют собой достаточно сложное для обработки изображение, поскольку при использовании тонкой трубки для организации проточной системы имеется достаточно узкая полоса обзора микроскопа, находящаяся на фокусном расстоянии от объектива. Помимо этого, при размещении эмульсии в трубке нижние слои капель зашумляют изображение. Если разместить эмульсию между двумя стеклами, можно получить более удачное для обработки изображение (рис. 8).

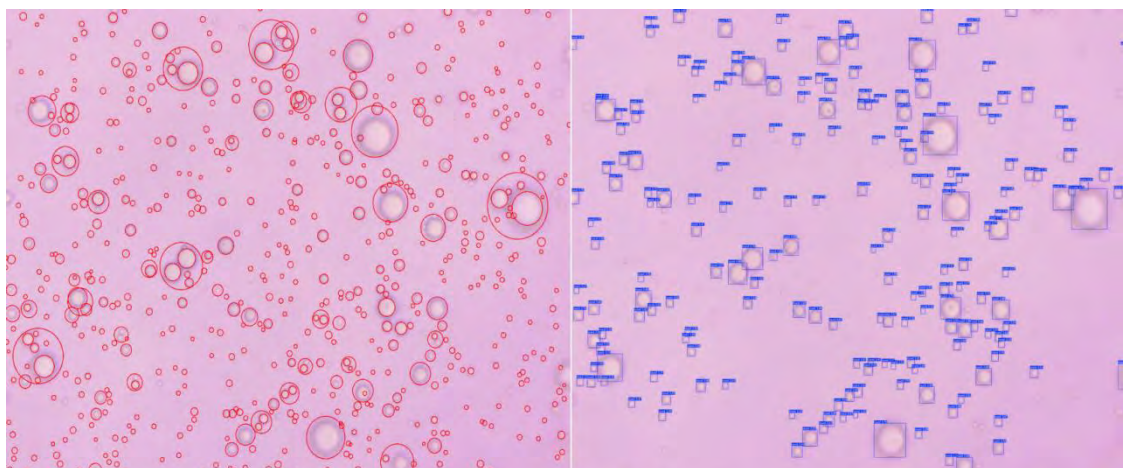


Рис. 8. Классический метод и метод обнаружения модели YOLO

В данном случае преимущество использования модели YOLO над распознаванием объектов на основе морфологии становится еще более очевидным.

Заключение

Сравнивая три метода, можно сделать следующий вывод: хотя ручная обработка данных дает хорошие результаты, она отнимает много времени и сил. Классический метод не дал хороших результатов, поскольку различная обработка изображений требует корректировки значений параметров и не может хорошо обрабатывать случайные изображения. Результаты используемой модели YOLO практически согласуются с результатами ручной обработки, что экономит время и усилия, а также позволяет хорошо обрабатывать другие сферические изображения, близкие к микронному уровню.

Результаты подтверждают возможность использования моделей нейронных сетей, таких как YOLO, для автоматического анализа микрофотографий эмульсий. Данная модель может использоваться в системе онлайн-мониторинга процесса деэмульсации в нефтехимической, пищевой и фармацевтической промышленности.

Список литературы

1. Abed S.M., Abdurahman N.H., Yunus R.M., Abdulbari H.A., Akbari S. Oil emulsions and the different recent demulsification techniques in the petroleum industry – a review // IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. – 2019. – Vol. 702 [012060]. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/702/1/012060> (дата обращения: 12.05.25).
2. Abdulredha M.M., Siti Aslina H., Luqman C.A. Overview of petroleum emulsions, formation, influence and demulsification treatment techniques // Arabian Journal of Chemistry. – 2020. – Vol. 89. – P. 3403–3428.

3. Akbari N., Biria D. Investigation of the activity of *Acinetobacter calcoaceticus* biodemulsifier to break stable water in oil emulsions // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2018. – Vol. 6. – P. 4144–4150.
4. Zolfaghari R., Fakhru'l-Razi A., Abdullah L.C., Elnashaie S.S.E.H., Pendashteh A. Demulsification techniques of water-in-oil and oil-in-water emulsions in petroleum industry // *Separation and Purification Technology*. – 2016. – Vol. 170. – P. 377–408.
5. Alammam A., Park, S.H., Williams C.J., Derby, B., Szekely G. Oil-in-water separation with graphene-based nanocomposite membranes for produced water treatment // *Journal of Membrane Science*. – 2020. – Vol. 603 [118007]. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/339792180_Oil-in-wwater_separation_with_graphenebased_nanocomposite_membranes_for_produced_water_treatment (дата обращения: 12.05.25).

Шэнь Юань¹ (Китай), Буслович Д.Г.² (Россия)

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск*

Научный руководитель: Панин Сергей Викторович^{1,2}, д.т.н., профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПФА-КОМПОЗИТОВ ПРИ ЛИНЕЙНОМ ТРИБОКОНТАКТЕ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ И СМАЗКИ

Аннотация: Исследован синергетический эффект углеродных волокон и твердосмазочных наполнителей в условиях линейного трибоконтакта ПФА-композилов при сухом трении и масляной смазке. Показано, что в условиях масляной смазки наилучшими трибологическими свойствами обладает композит ПФА/30УВ/5ПТФЭ.

Ключевые слова: полифталамид, углеродное волокно, политетрафторэтилен, трибологические свойства, масляная смазка.

Введение

ПФА – это новый тип термостойкого полиамида (ПА), который относится к классу ароматических ПА, получаемых из терефталевой или изофталевой кислоты [1]. По сравнению с ПА, ПФА обладает лучшей термостойкостью с температурой плавления 280 °С благодаря добавлению ароматических колец в молекулярную цепь ПФА. В то же время ПФА сохраняет высокий показатель текучести расплава и хорошую технологичность расплава нейлоновых материа-