

3. Lyon, D. (2018). Liquid surveillance: Power, mobility, and vision in the neo-liberal age. John Wiley & Sons;
4. O'Neil, C. (2016). Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy. Crown.

УДК 622.765.4

А.А. Ковалева, А.Э. Левданский

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ ЧАСТИЦ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА

Аннотация. В данной работе рассмотрен флотационный метод разделения смеси пластмасс полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и полифениленсульфида (ПФС). Установлено, что комбинированное применение ПАВ позволяет достичь синергетического эффекта, обеспечивающего высокую степень извлечения ПЭТФ (до 95 %) и чистоту концентрата (до 98 %).

A.A Kovaleva, A.E. Levдansky
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

HIGHLY EFFECTIVE METHOD FOR SEPARATING A MIXTURE OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE AND POLYPHENYLENE SULPHIDE PARTICLES

Abstract. In this paper, we consider a flotation method for separating a mixture of plastics from polyethylene terephthalate (PET) and polyphenylene sulfide (PFS). It has been found that the combined use of surfactants can achieve a synergistic effect, providing a high degree of PET extraction (up to 95%) and concentrate purity (up to 98%).

В условиях стремительного роста объемов пластиковых отходов эффективная переработка и сортировка различных видов пластмасс становится одной из ключевых задач современной экологии и промышленности. Одним из перспективных методов разделения смесей пластмасс является флотация – физико-химический процесс, основанный на различии в поверхностных свойствах материалов.

Способ позволяет разделять пластмассы с близкими плотностями, благодаря возможности тонкой настройки параметров среды и использования реагентов.

Цель исследования заключалась в подборе параметров для флотационного разделения смеси пластмасс, состоящей из полиэтилентерефталата и полифениленсульфида.

В рамках эксперимента были использованы гранулы двух типов полимеров: полиэтилентерефталат (ПЭТФ), соответствующий требованиям ГОСТ Р 51695-2000 [1], и полифениленсульфид (ПФС), произведённый согласно ТУ 2224-001-86535236-2016 [2]. Частицы имели форму, близкую к цилиндрической, с размерами от 3 до 4 мм по высоте и от 2 до 3 мм в диаметре. Плотность ПЭТФ составляла 1390 ± 10 кг/м³, а ПФС — 1370 ± 10 кг/м³.

В качестве поверхностно-активных веществ использовали лаурет-3 сульфосукцинат натрия (анионное ПАВ) и полисорбат 80 (нейлоногенное ПАВ).

Лабораторные испытания проводили на экспериментальной установке, работающей в периодическом режиме с применением пневматической аэрации рабочего раствора [3].

Завершение процесса разделения смеси определялось по визуальному отсутствию частиц пластмасс в объеме рабочего раствора. Эффективность флотационного разделения смеси частиц пластмасс полиэтилентерефталата и полифениленсульфида оценивали путем определения количества каждого типа пластмасс в концентрате и остатке.

Поверхность частиц ПЭТФ демонстрировала гидрофобные свойства по отношению к рабочему раствору, что способствовало формированию комплексов «частица – пузырек» в процессе аэрации. Данные комплексы обладали пониженнной эффективной плотностью относительно среды, благодаря чему поднимались на поверхность раствора под действием выталкивающей силы Архимеда. В противоположность этому, частицы ПФС отличались гидрофильной поверхностью, обеспечивающей их полное смачивание и, как следствие, осаждение на дно колонны под влиянием силы тяжести.

На основании полученных экспериментальных данных рассчитывали степень извлечения флотируемого компонента и чистоту его концентрата по формулам [3]

$$\varepsilon = \frac{m_{\text{конц}}}{m_{\text{исх}}} \cdot 100\%,$$

$$\beta = \frac{m_{\text{конц}}}{m_k} \cdot 100\%.$$

где $m_{\text{конц}}$ – масса ПЭТФ компонента в концентрате, кг; $m_{\text{исх}}$ – масса ПЭТФ компонента, поданного на флотацию, кг; m_k – масса концентрата, кг.

Оценка влияния типа поверхностно-активного вещества (ПАВ) и его концентрации в рабочем растворе на эффективность флотационного разделения пластмасс проводилась при установленном расходе воздуха $3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ и температуре среды 13°C .

Результаты исследования влияния концентрации лаурет-3 сульфосукцината натрия на эффективность флотационного разделения смеси пластмасс показали нестабильность достигнутых показателей. Во всех проведённых экспериментах степень извлечения ПЭТФ не превышала 50 %, что свидетельствует о недостаточной селективности данного поверхностно-активного вещества в системе ПЭТФ : ПФС. Эти данные указывают на ограниченную эффективность выбранного реагента для обеспечения требуемого уровня разделения компонентов смеси.

Применение полисорбата 80 в качестве ПАВ оказывает выраженное положительное влияние на эффективность флотационного извлечения полиэтилентерефталата из смеси с полифениленсульфидом. В данных условиях степень извлечения ПЭТФ достигала 94 %, что свидетельствует о высокой активности реагента. Однако из-за слабой гидрофобности частиц ПФС наблюдается их агломерация и последующее попадание в пенную фазу, что снижает чистоту концентрата до 70–80 %. Таким образом, несмотря на высокий уровень извлечения ПЭТФ, требуется дополнительная стадия очистки для повышения качества полученного продукта.

Мы предположи, что смешивание двух различных поверхностно-активных веществ способно вызвать синергетический эффект, способствующий повышению эффективности флотационного разделения исследуемой пластмассовой смеси по сравнению с использованием каждого реагента отдельно [4].

На рис.1 представлены зависимости степени извлечения ПЭТФ и чистоты концентрата от концентрации смеси ПАВ в рабочем растворе.

Совместное использование поверхностно-активных веществ, таких как лаурет-3 сульфосукцинат натрия и полисорбат 80, продемонстрировало положительное влияние на эффективность флотационного разделения смеси ПЭТФ и ПФС. Данный эффект объясняется способностью ПАВ модифицировать поверхностное

натяжение на границе раздела фаз, что способствует более надежному прикреплению воздушных пузырьков к частицам целевого полимера. Это, в свою очередь, обеспечивает эффективное вскрытие и отделение гранул ПЭТФ от общей массы пластмасс.

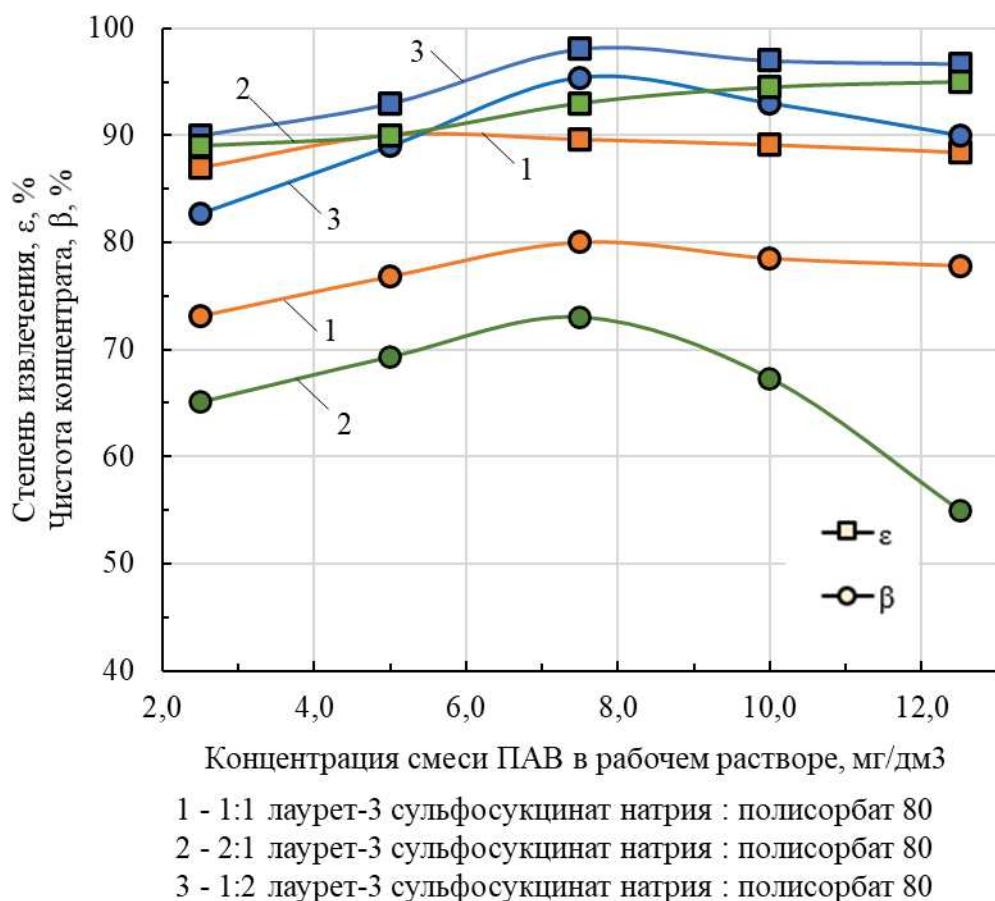


Рис. 1 - Зависимости степени извлечения ПЭТФ и чистоты концентрата от концентрации ПАВ и соотношения его компонентов в рабочем растворе

По данным, представленным на рисунке 1, видно, что при использовании лаурет-3 сульфосукцината натрия и полисорбата 80 в пропорции 2:1 и общей концентрации 8,0 мг/дм³ степень извлечения частиц ПЭТФ достигала 73%. Это значение отражает умеренную эффективность процесса, при которой часть целевого компонента остается в остатке, что может ограничивать промышленную применимость метода на данном этапе. Существенное улучшение показателей наблюдалось при изменении соотношения ПАВ на 1:2, то есть при увеличении доли полисорбата 80. При суммарной концентрации 7,5 мг/дм³ (2,5 мг/дм³ лаурет-3 сульфосукцинат натрия и 5,0 мг/дм³ полисорбат 80) степень извлечения ПЭТФ возросла до 80%. Наилучшая эффективность разделения исследуемой смеси

наблюдалась при концентрации ПАВ 2,5 мг/дм³ лаурет-3 сульфосукцинат натрия и 5,0 мг/дм³ полисорбат 80 и степень извлечения ПЭТФ достигла 95%, а чистота полученного концентрата составила 98%. Это указывает на достижение баланса между гидрофобными и гидрофильтральными свойствами разделяемых частиц, при котором флотационный процесс становится максимально селективным и эффективным.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 51695-2000.
2. ТУ 2224-001-86535236-2016.
3. Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э. Исследование факторов, влияющих на процесс флотационного разделения смеси полибутилентерефталата и акрилонитрилбутадиенстиrola. Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2023. №2 (271). С. 35–41.
4. Ковалева А.А., Кулевец П.С., Федарович Е.Г., Левданский А.Э. Способ флотационного разделения смеси частиц пластмасс полиэтилентерефталата и полифениленсульфида. Патент BY 24701, МПК В 03B 5/28, В 03D 1/004. Опубл. 15.09.2025.

УДК 172

А.И. Лойко

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

ИННОВАЦИИ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И АВТОРСКОЕ ПРАВО

Аннотация. Статья рассмотрена ситуация асимметрии в развитии технологий искусственного интеллекта и в развитии института цифрового права интеллектуальной собственности. При этом обоснован тезис о необходимости использования уже существующей регулятивной правовой базы интеллектуальной собственности, созданной в Республике Беларусь.

A.I. Loiko
Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus