

ПОДБОР ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ФЛОТАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ ЧАСТИЦ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА

Одной из ключевых проблем в области рециклинга полимеров является разделение смесей полимерных отходов из-за схожести физических свойств компонентов. Существует много методов разделения. Выбор метода зависит от типа полимера, доступности технологий и экономических соображений. Пенная флотация выделяется среди других методов своей высокой эффективностью и экономичностью, что делает ее предпочтительным выбором во многих случаях [1–3].

Пенная флотация представляет собой процесс обработки смеси пластмасс раствором, содержащим поверхностно-активные вещества ПАВ [4,5]. Наличие ПАВ может менять гидрофильные и гидрофобные свойства определенных видов полимеров. В водной среде пузырьки газа приводят к образованию пены, способной поднимать гидрофобные частицы пластмасс на поверхность, за счет чего и происходит разделение смеси пластмасс на компоненты.

Процесс пенной флотации смесей пластмасс зависит от многих факторов которые влияют на эффективность разделения. Одним из ключевых факторов является природа и концентрация ПАВ [6].

В рамках выполненных исследований использовались частицы двух типов пластмасс, форма которых близка к цилиндрической: полиэтилентерефталата (ПЭТФ), соответствующего стандарту ГОСТ Р 51695-2000, и полифениленсульфида (ПФС), отвечающего техническим условиям ТУ 2224-001-86535236-2016. Размер частиц составлял от 3 до 4 мм, диаметр – от 2 до 3 мм. Плотность материалов составляла 1390 ± 10 кг/м³ для полиэтилентерефталата и 1370 ± 10 кг/м³ для полифениленсульфида, что способствовало созданию стандартизированных и однородных условий для экспериментов.

В состав используемых ПАВ входили полисорбат 80 и лаурет-3 сульфосукцинат натрия. Лаурет-3 сульфосукцинат натрия (Setasin 103, производства компании «Zschimmer&Schwarz», Италия) является анионным поверхностно-активным веществом и представляет собой прозрачную бесцветную жидкость с вязкостью примерно 220 мПа·с при температуре 25°C, с химической формулой – C₁₂H₂₅SO₄Na. Полисор-

бат 80 (ТВИН 80, произведенный компанией «АиС», Россия) – неионогенное ПАВ, которое обладает консистенцией вязкой маслянистой жидкости светло-желтого цвета и вязкостью около 450 мПа·с при 25°С. Химическая формула вещества – $C_{64}H_{124}O_{26}$.

Эксперименты проводились с использованием установки, работающей в периодическом режиме и пневматической аэрацией рабочего раствора. Флотационная колонна, изготовленная из прозрачного оргстекла, заполнялась раствором (ПАВ). Для равномерного распределения пузырьков воздуха по поперечному сечению аппарата в его нижней части установлен аэратор. Расход воздуха регулировался помощью вентиля и ротаметра. Смесь пластмасс загружалась через ячейковый питатель, расположенный в верхней части колонны. Для отвода пенного концентрата методом слива предусмотрена постоянная циркуляция рабочего раствора. Пенный продукт поступал по сливному желобу в сепаратор, где происходило разделение твердой фракции концентрата и рабочего раствора. После завершения эксперимента осевшие частицы пластмасс извлекались после опустошения колонны.

Полученные твердые фракции концентрата и остатка промывались водой и высушивались. Для определения доли каждого типа пластмасс в концентрате и остатке проводилась ручная сортировка по цвету и взвешивание.

Поверхность частиц ПЭТФ проявляла гидрофобные свойства, что приводило к образованию комплексов «пузырек – частица» при подаче воздуха. Эти комплексы всплывали в концентрат. В то же время поверхность частиц ПСФ проявляла гидрофильные свойства, что приводило к смачиванию частиц рабочим раствором и их оседанию на дно колонны под действием силы тяжести.

На основании полученных экспериментальных данных рассчитывали степень извлечения флотированного компонента и чистоту его концентрата по формулам:

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

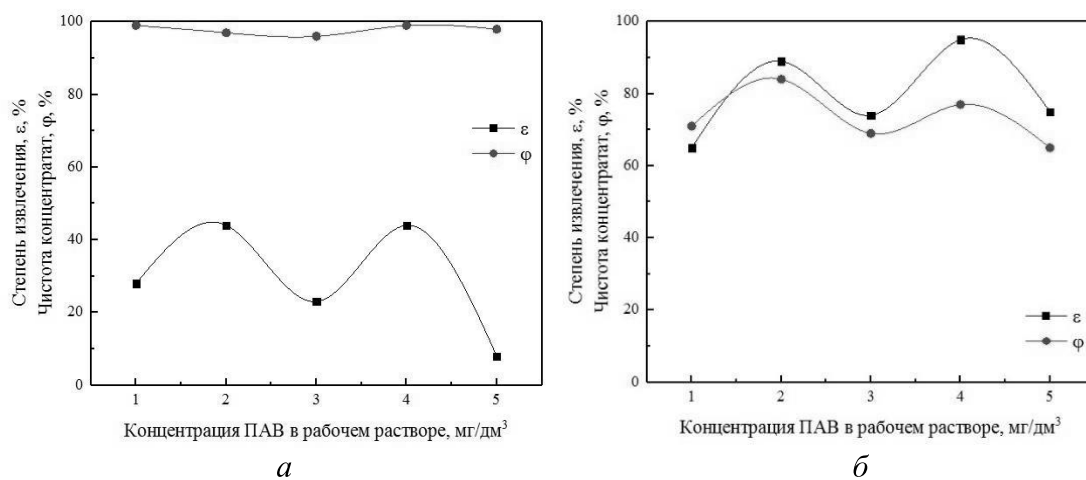
где $m_{\text{конц}}$ – масса ПЭТФ компонента в концентрате, кг; $m_{\text{исх}}$ – масса ПЭТФ компонента, поданного на флотацию, кг; $m_{\text{к}}$ – масса концентрата, кг.

Влияние концентрации Setasin 103 на эффективность флотационного разделения исследуемой смеси пластмасс представлено на

рис. 1а. Исследования проводились при расходе воздуха $3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, температуре рабочего расхода 13°C , процентное соотношение ПЭТФ : ПФС составляло 50 : 50.

Анализируя рис. 1а, можно сделать вывод о том, что процесс флотационного разделения демонстрирует нестабильные значения эффективности процесса, которые не превышают отметку в 50%.

На рис. 1б представлено исследование влияния концентрации ТВИН 80 на эффективность флотационного разделения. Условия экспериментов те же: процентное соотношение компонентов смеси 50: 50, расход воздуха $3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, температура рабочего расхода 13°C .



а – при различных концентрациях Setasin 103 в рабочем растворе;
б – при различных концентрациях ТВИН 80 в рабочем растворе

Рисунок 1 – Зависимости степени извлечения ПЭТФ и чистоты концентрата

Исследования показывают, что степень извлечения достигает 94%. Тем не менее, частицы ПФС демонстрируют слабые гидрофобные характеристики, что приводит к их частичному всплыванию в концентрат. В результате, чистота получаемого концентрата составляет от 70 до 80%.

Нами было сделано предположение, что комбинирование двух типов ПАВ может улучшить процесс флотации за счет синергетического эффекта, который может возникнуть при их взаимодействии. Это может привести к более высокой эффективности разделения за счет лучшего контроля над гидрофобностью частиц и стабилизации пены.

На рис. 2 представлены зависимости степени извлечения ПЭТФ и чистоты концентрата от концентрации ПАВ в рабочем растворе, полученные при расходе воздуха $3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и температуре рабочего раствора 13°C .

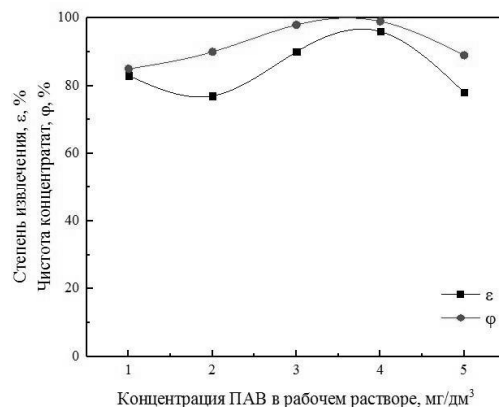


Рисунок 2 – Зависимости степени извлечения ПЭТФ и чистоты концентрата от концентрации ПАВ и соотношения его компонентов в рабочем растворе

Комбинирование ПАВ, таких как Setasin 103 и ТВИН 80, действительно привело к улучшению процесса флотационного разделения исследуемой смеси ПЭТФ и ПФС. Для условий нашего эксперимента, концентрация 2,5 мг/дм³ Setasin и 5,0 мг/дм³ ТВИН 80 позволила достичь эффективности более 95%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э. Исследование факторов, влияющих на процесс флотационного разделения смеси полибутилентерефталата и акрилонитрилбутадиенстирола // Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2023. № 2. С. 35-41.
2. Изучение влияния концентрации поверхностно-активных веществ на процесс флотационного разделения измельченных пластмасс / А. Э. Левданский [и др.] // Вестник КазННТУ. – 2019. – №6. – С. 893-900.
3. Moro K., Dechie D.A. The Use of Froth Flotation for Selective Separation of Plastic Wastes from Soil // European Journal of Engineering and Technology Research. – 2021. – Vol. 6, no 4. – P. 135–138.
4. Kokkılıc O., Mohammadi-Jam S., Chu P., Marion C., Yang Y., Waters K.E. Separation of plastic wastes using froth flotation - An overview // Advances in Colloid and Interface Science. – 2022. – Vol. 308. – P. 102769.
5. Fagkaew P., Chawaloeshonsiya N., Bun S., Painmanakul P. Improving the separation of PS and ABS plastics using modified induced air flotation with a mixing device // Recycling. – 2022. – Vol. 7, no 4. – P. 44.
6. Nagy M., Skvarla J., Sisol M. A possibility of using the flotation process to separate plastics // Annals of faculty engineering Hunedoara – international journal of engineering. – 2011. – Vol. 3. – P. 275–278.