

УДК 541.64:678.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ ПОЛИЭТИЛЕНА И ПОЛИПРОПИЛЕНА РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

Доценко И.Н., магистрант гр. ХПмоз-251, I курс

Научный руководитель: Теряева Т.Н., д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева,
г. Кемерово

На протяжении последних лет ситуация с производством полимеров в России демонстрирует сложную динамику. В досанкционный период с 2017 по 2022 годы наблюдался стабильный рост объема производства. В условиях санкций отрасль столкнулась с рядом вызовов, включая ограничение доступа к технологиям, оборудованию, сырью и добавкам [1]. Давление внешних ограничений, несмотря на очевидные препятствия, привело к ряду позитивных изменений, одним из которых стал рост технологической независимости: активное развитие получила разработка собственных решений, как технико-производственных, так и в части получения новых материалов [2].

Согласно проведенному анализу внутреннего рынка, лидирующие позиции по объемам производства занимают полиолефины, сохранившие высокие объемы и рост даже в условиях санкционного давления [3]. Их востребованность обусловлена универсальностью технологических свойств, простотой переработки и получения изделий, низкой стоимостью и применимостью в различных отраслях промышленности. Однако, несмотря на очевидные преимущества, для ряда полиолефинов остается ограниченным их использование в области высоких термических и механических нагрузок [4], что становится основой для исследования различных модификаций с целью улучшения эксплуатационных характеристик.

В таких условиях перспективным является исследование возможности получения смесей на основе как первичных, так и вторичных полиолефинов [5,6]. Изучение данного направления является важной задачей, поскольку позволяет найти решение проблемы ограниченности технологических и эксплуатационных характеристик отдельных видов полимеров. Разработка смесей также способствует повышению эффективности переработки вторичного сырья и снижению материалоемкости, что делает данное направление значимым в условиях роста требований к устойчивому развитию и ресурсосбережению.

Идейной основой нашей работы послужил интерес к исследованию совместного влияния двух самых распространенных полиолефинов – полиэтилена (ПЭ) и полипропилена (ПП) при получении смесей различного состава. Целью является разработка материала с улучшенными свойствами за счет взаимодополнения качеств исходных полимеров, таких, например, как гибкость, эластичность и морозостойкость ПЭ и высокая теплостойкость и прочность ПП.

Первым этапом стало получение смесей ПЭ и ПП и определение влияния компонентного состава на изменение технологических свойств полученных образцов. Результаты представлены в настоящей работе.

Объектами исследования являлись смеси при соотношении компонентов 80ПЭ:20ПП (%), 70ПЭ:30ПП (%) и 60ПЭ:40ПП (%). Получение образцов производилось в две стадии: смешение полимерных гранул в горизонтальном барабанном смесителе в течение 30 минут и плавление и гомогенизация на одношнековом экструдере при следующих параметрах: температура цилиндра = 190 °С, частота вращения шнека = 20 об/мин. После получения экструдат подвергался воздушному охлаждению и грануляции.

Перечень полученных технологических характеристик и методы их определения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень определяемых технологических характеристик

№	Технологическая характеристика	Обозначение	Метод определения
1	2	3	4
1	Насыпная плотность	ρ_n	ГОСТ 15139-69
2	Удельный объем	$V_{уд}$	ГОСТ 15139-69
3	Истинная плотность	$\rho_{и}$	ГОСТ 15139-69
4	Показатель текучести расплава	ПТР	ГОСТ 11645-2021
5	Температура плавления	$t_{пл}$	ГОСТ 21553-76
6	Температура каплепадения	t_k	ГОСТ 21553-76

С целью сопоставления результатов со свойствами первичных полимеров и установления динамики изменений проводилось определение характеристик как смесей, так и исходных компонентов. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследований технологических характеристик

№	Объект исследования	ρ_n , г/см ³	$V_{уд}$, см ³	$\rho_{и}$, г/см ³	ПТР, г/10мин	$t_{пл}$, °С	t_k , °С
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ПЭ100:ПП0	0,5677	1,7615	0,913	0,293	115,67	184,33
2	ПЭ80:ПП20	0,5965	1,6764	0,900	0,313	119,33	187,33
3	ПЭ70:ПП30	0,5625	1,7777	0,940	0,824	120,67	186,00
4	ПЭ60:ПП40	0,5667	1,7333	0,943	1,135	121,67	191,33
5	ПЭ0:ПП100	0,5732	1,7446	0,907	0,376	125,33	191,33

Такие параметры, как насыпная плотность и удельный объем имеют второстепенное значение, поскольку характеризуют преимущественно внешнее состояние материала (степень укладки, пористость, форму) и не несут в себе информацию о совместимости полимеров и изменении технологических характеристик. Первостепенное значение имеют показатели, непосредственно связанные со структурой и межфазным взаимодействием компонентов: истинная плотность, ПТР и температуры плавления и каплепадения.

Представленные в таблице 2 значения температур плавления и каплепадения имеют линейный характер изменения и не превышают показателей исходных полимеров. При уменьшении доли ПЭ температуры увеличиваются и близятся к более термостойкому полимеру в смеси (ПП).

Отдельного внимания заслуживает динамика изменения истинной плотности и ПТР при увеличении содержания ПЭ в смеси.

Графически зависимость истинной плотности от содержания ПЭ отражена на рисунке 1.

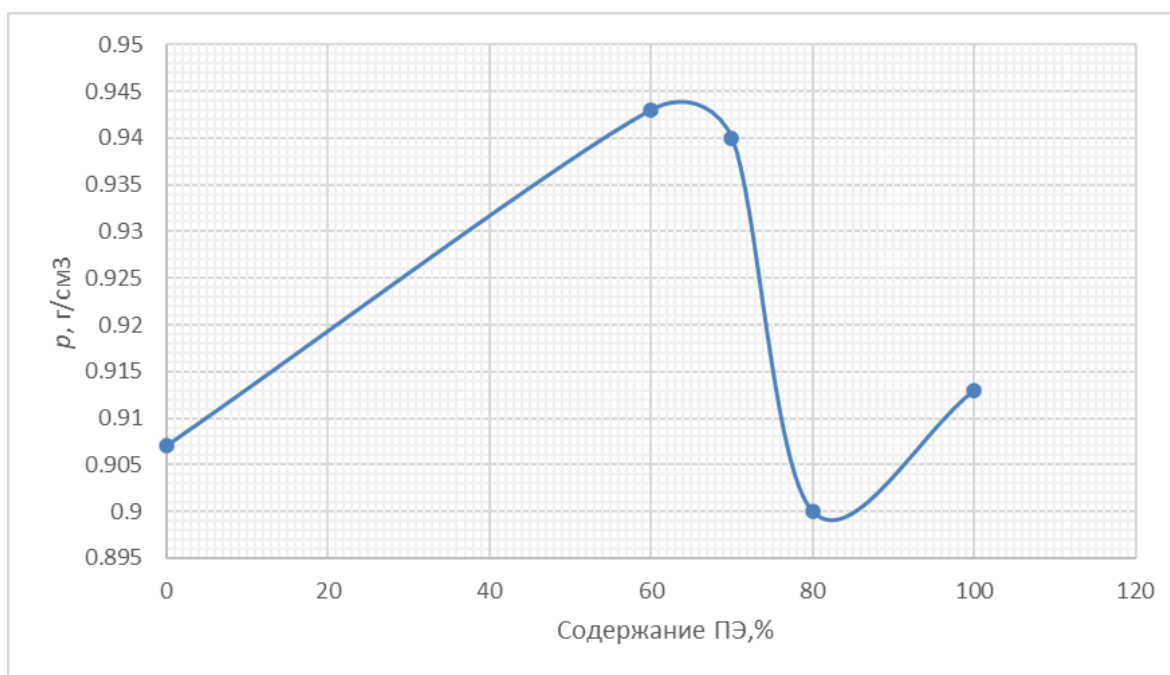


Рисунок 1 – Зависимость истинной плотности от содержания ПЭ в смеси

Максимальное значение зафиксировано при содержании ПЭ 60% – 0,943 г/см³, значительно (более чем на четверть) превышающее показатели, установленные для исходных полимеров. В границах содержания ПЭ 60-70% плотность сохраняется на близком к максимальному значению уровне, демонстрируя незначительное снижение. Однако при дальнейшем увеличении содержания ПЭ до 80 % происходит резкое снижение плотности до 0,900 г/см³, опускаясь ниже наименьшего показателя исходных компонентов (0,907 г/см³ для ПП). Таким образом, кривая имеет выраженный максимум при 60% и минимум при 80%.

Зависимость ПТР от содержания ПЭ также носит нелинейный характер. Максимум достигается при содержании ПЭ 60% (1,135 г/10 мин). В интервале 60-70% начинается снижение ПТР, которое затем становится более резким при переходе к 80% – значение достигает 0,313 г/10 мин. В отличие от плотности, снижение в области 70-80% для ПТР не приводит к значениям ниже исходных полимеров – показатель остается в пределах диапазона. При этом снижение ПТР выражено более резко, чем плотности.

Графически зависимость ПТР от содержания ПЭ отражена на рисунке 2.

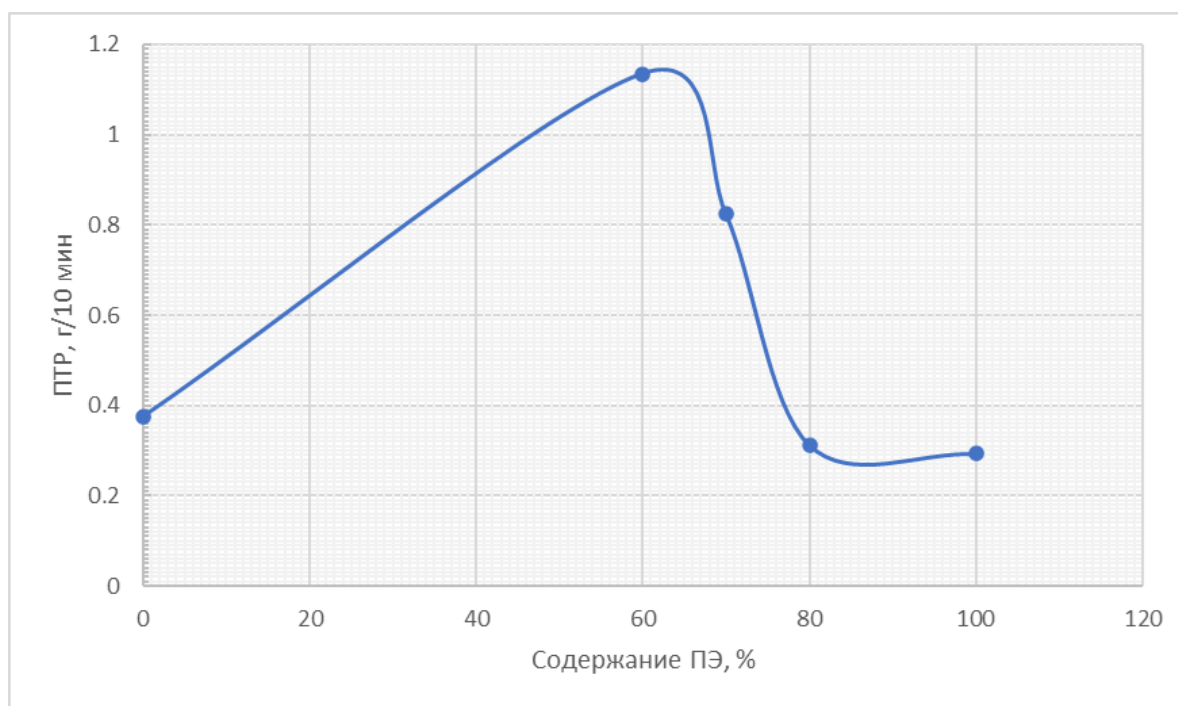


Рисунок 2 – Зависимость ПТР от содержания ПЭ в смеси

Такая динамика может быть обусловлена структурными изменениями: при смешении не образуется общая кристаллическая решётка, возможен как синергетический, так и антагонистический эффекты [5-6]. Варьирование содержания ПЭ приводит к выраженному нелинейному изменению ряда технологических характеристик, что свидетельствует о высокой чувствительности системы и возможности целенаправленного подбора состава под конкретные требования. При содержании ПЭ 60-70% достигается состояние, близкое к оптимальному с точки зрения структурной организации смеси, что указывает на наиболее эффективное сочетание компонентов, при котором реализуется наибольшая компактность структуры и благоприятные реологические характеристики, что может быть востребовано в технологиях, требующих хорошей перерабатываемости. В то же время наличие выраженного минимума в области 80% указывает на существование ограничений по составу, при которых технологические характеристики ухудшаются, вероятно, в системе начинают преобладать процессы фазового разделения.

Таким образом, смеси на основе ПЭ и ПП обладают хорошим потенциалом для разработки и применения, однако требуют дальнейшей оптимизации состава и их структуры. Целесообразно изучение механических, термических и эксплуатационных характеристик. Дополнительный интерес представляет исследование возможности получения смесей указанных составов, но уже с применением вторичного сырья.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Официальный сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 02.03.2026).

2. Зуев, В. М. Параллельный импорт и импортозамещение химикатов в условиях санкционных ограничений: проблемы, направления развития экономики отрасли / В. М. Зуев, А. Ф. Шуплецов // ПСЭРС. – 2024. – № 2 (56). – Текст : электронный. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parallelnyy-import-i-importozameschenie-himikатов-v-usloviyah-sanktsionnyh-ogranicheniy-problemy-napravleniya-razvitiya-ekonomiki> (дата обращения: 04.03.2026).

3. Демидова, Е. В. Состояние и перспективы развития российского рынка базовых (крупнотоннажных) полимеров в контексте общемировых тенденций / Е. В. Демидова // Вестник экономики, права и социологии. – 2025. – № 3. – С. 342–346.

4. de Souza, A. S. Recent Progress in Polyolefin Plastic: Polyethylene and Polypropylene Transformation and Depolymerization Techniques / A. S. de Souza, [et al.] // Molecules. – 2025. – Vol. 30, № 1. – P. 87. – Текст : электронный. – URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/30/1/87> (дата обращения: 09.03.2026).

5. Jones, H. Thermomechanical properties of virgin and recycled polypropylene—high-density polyethylene blends / H. Jones, J. McClements, D. Ray, C. S. Hindle, M. Kalloudis, V. Koutsos // Polymers. – 2023. – Vol. 15, № 21. – Art. 4200. – Текст : электронный. – URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/21/4200> (дата обращения: 09.03.2026).

6. Hao, P. Advancing the characterization of recycled polyolefin blends with a combined experimental and numerical approach to thermomechanical behavior / P. Hao, C. Siebers, K. Ragaert, F. A. Gilabert // Polymers. – 2024. – Vol. 16, № 8. – Art. 1153. – Текст : электронный. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38675072/> (дата обращения: 09.03.2026).