Статья поступила в редакцию: 21.09.2026
Статья принята к публикации: 26.09.2026
Статья опубликована: 07.10.2026

УДК 678.743.22

DOI: 10.32743/UniChem.2026.148.10.23448

Влияние моностеарата глицерина на текучесть расплава композиций ПВХ с термически модифицированным рисовым крахмалом

Мухиддинов Баходир Фахриддинович
д-р хим. наук, проф.
кафедры Химическая технология Навоийский государственный горно-технологический университет
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: hayot.istamov.job@gmail.com

Истамов Хаёт Йулчиевич
канд. техн. наук, ст. преп
кафедры Химическая технология, Навоийский государственный горно-технологический университет
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: hayot.istamov.job@gmail.com

Effect of glycerol monostearate on melt flow of PVC composites with thermally modified rice starch

Muhiddinov Bahodir
D.Sc. (Chemistry), Professor
Department of Chemical Technology, Navoi State Mining and Technological University
Republic of Uzbekistan, Navoi

Istamov Hayot
PhD, Senior Lecturer
Department of Chemical Technology, Navoi State Mining and Technological University
Republic of Uzbekistan, Navoi

Аннотация

В работе исследована количественная оценка изменения показателя текучести расплава (ПТР) и эффективной вязкости композиций пластифицированного поливинилхлорида с термически модифицированным рисовым крахмалом (ТМРК) при введении компатибилизатора моностеарата глицерина (ГМС). Сопоставлены рецептуры ПВХ, пластифицированного 30 мас. % диоктилфталата, с 5–30 мас. % крахмала без добавки и серии с 5–55 мас. % крахмала при содержании 5 мас. % моностеарата глицерина.

Библиографическое описание: Мухиддинов Б.Ф., Истамов Х.Й. Влияние моностеарата глицерина на текучесть расплава композиций ПВХ с термически модифицированным рисовым крахмалом // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 10(148). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23448

Композиции готовили смешением в расплаве на экструдере при 150–175 °C. Показатель текучести расплава определяли на пластометре ИИРТ-5М по ГОСТ 11645-73 при температуре 150 °C и нагрузке 21,6 кг. Установлено, что показатель текучести расплава закономерно снижается с увеличением содержания ТМРК вследствие повышения вязкости дисперсной системы. Однако в сопоставимых по содержанию крахмала рецептурах введение ГМС увеличивало показатель в 2,22–2,64 раза. При 20 мас. % крахмала получены значения 10,09 и 25,53 г/10 мин (с ГМС), при 30 мас. % — 7,97 и 17,96 г/10 мин соответственно. В серии с добавкой повышение содержания крахмала от 5 до 55 мас. % снижало показатель с 41,03 до 6,30 г/10 мин. Таким образом, технологическая добавка частично компенсирует падение текучести при наполнении, расширяя технологическое окно экструзии и литья. Практическая значимость результатов заключается в обосновании рецептур для переработки биоразлагаемых композитов в расплаве.

Abstract

The aim of this study is to quantify the changes in the melt flow index (MFI) and effective viscosity of plasticized polyvinyl chloride composites containing thermally modified rice starch (TMRS) upon the addition of glycerol monostearate (GMS) as a compatibilizer. Formulations of PVC plasticized with 30 wt.% dioctyl phthalate containing 5–30 wt.% starch without the additive and a series with 5–55 wt.% starch containing 5 wt.% glycerol monostearate were compared. Composites were prepared by melt mixing in an extruder at 150–175 °C. The melt flow index was determined using an IIRT-5M plastometer according to GOST 11645-73 at 150 °C and a load of 21.6 kg. It was established that the melt flow index naturally decreases with an increase in TMRS content due to an increase in the viscosity of the dispersed system. However, in formulations with comparable starch content, the introduction of GMS increased the MFI by a factor of 2.22–2.64. At 20 wt.% starch, values of 10.09 and 25.53 g/10 min (with GMS) were obtained, and at 30 wt.% — 7.97 and 17.96 g/10 min, respectively. In the series with the additive, increasing the starch content from 5 to 55 wt.% reduced the rate from 41.03 to 6.30 g/10 min. Thus, the processing additive partially compensates for the decrease in flow caused by filling, expanding the technological window for extrusion and molding. The practical significance of the results lies in the justification of formulations for the melt processing of biodegradable composites.

Ключевые слова: поливинилхлорид, рисовый крахмал, моностеарат глицерина, текучесть расплава, экструзия, технологическая добавка.

Keywords: polyvinyl chloride, rice starch, glycerol monostearate, melt mass-flow rate, extrusion, processing additive.

Введение

Текучесть крахмалсодержащих композиций зависит от состава и взаимодействия компонентов. При экструзии эти факторы определяют условия формования и качество конечных изделий. Для многофазных систем существенна термодинамическая совместимость полимера и наполнителя. В частности, несовместимость полярного крахмала с менее полярными или гидрофобными полимерами требует применения специальных совместителей для снижения межфазного натяжения.

Исследования ПВХ с модифицированным рисовым крахмалом ранее были посвящены оценке деструкции, биоразложения и водопоглощения. Однако для промышленного выпуска биоразлагаемых материалов на основе термопластов критически важно учитывать их перерабатываемость. Определение показателя текучести расплава (ПТР) дает воспроизводимую количественную оценку перерабатываемости, связывая состав композиций и режимы переработки с качеством изделий. Цель работы — сопоставить ПТР и эффективную вязкость композиций ПВХ (ДОФ) при варьировании содержания ТМРК без добавки и с 5 мас. % моностеарата глицерина.

Объекты и методы исследования

Использовали ПВХ-ДОФ-30 с 30 мас. % диоктилфталата — ПВХ (ДОФ). Рисовый крахмал РК-1 подвергали термообработке при 180 ± 2 °С в течение 30 ± 1 мин (ТМРК). В качестве технологической добавки и компатибилизатора применяли моностеарат глицерина (ГМС) марки GMS-40 с 38–42 % моноэфира.

Его содержание S в парных рецептурах составляло 5, 10, 15, 20 и 30 мас. %. В серии «–Р» без ГМС доля матрицы равнялась (100 − S) %, в серии «–РК» с 5 мас. % ГМС — (95−S) %. Для серии «–РК» дополнительно исследовались составы с 40, 45, 50 и 55 мас. % ТМРК. Контроль ПВХ-К представлял собой исходную матрицу.

ПВХ-ДОФ-30 сушили при 80 ± 2 °С в течение 4 часов, крахмал — при 105 ± 2 °С до постоянной массы. После предварительного смешения композиции перерабатывали на одношнековом экструдере ЭШ-40 при 50 ± 5 об/мин. Температуры зон загрузки, гомогенизации и головки составляли 150 ± 5, 170 ± 5 и 175 ± 2 °С. Экструдат охлаждали и гранулировали.

Показатель текучести расплава (ПТР) определяли на экструзионном пластометре ИИРТ-5М по методике ГОСТ 11645-73 при 150 °С и нагрузке 21,6 кг. Изменение текучести оценивали отношением ПТР серии «–РК» к ПТР серии «–Р» при одинаковом содержании наполнителя. Эффективная вязкость расплава также анализировалась как производная от ПТР.

Результаты и обсуждение

ПТР контрольного ПВХ (ДОФ) находился в диапазоне 30,22–31,20 г/10 мин, а эффективная вязкость составляла порядка 4400 Па·с. В обеих сериях увеличение содержания ТМРК сопровождалось закономерным снижением текучести. Это обусловлено увеличением вязкости расплава из-за присутствия жесткой дисперсной фазы, усиления структурной сетки межчастичных взаимодействий и межфазного трения, однако при одинаковом S значения серии «–РК» были выше (табл. 1, рис. 1, «–Р» — без ГМС; «–РК» — с 5 мас. % ГМС. Прочерк означает отсутствие данных для сопоставления).

Таблица 1.

ПТР композиций при 150 °C и 21,6 кг

ТМРК, мас.%	Серия –Р, г/10 мин	Серия –РК, г/10 мин
5	18,46	41,03
10	14,28	36,25
15	12,02	31,75
20	10,09	25,53
30	7,97	17,96
40	—	13,58
45	—	10,84
50	—	8,42
55	—	6,30

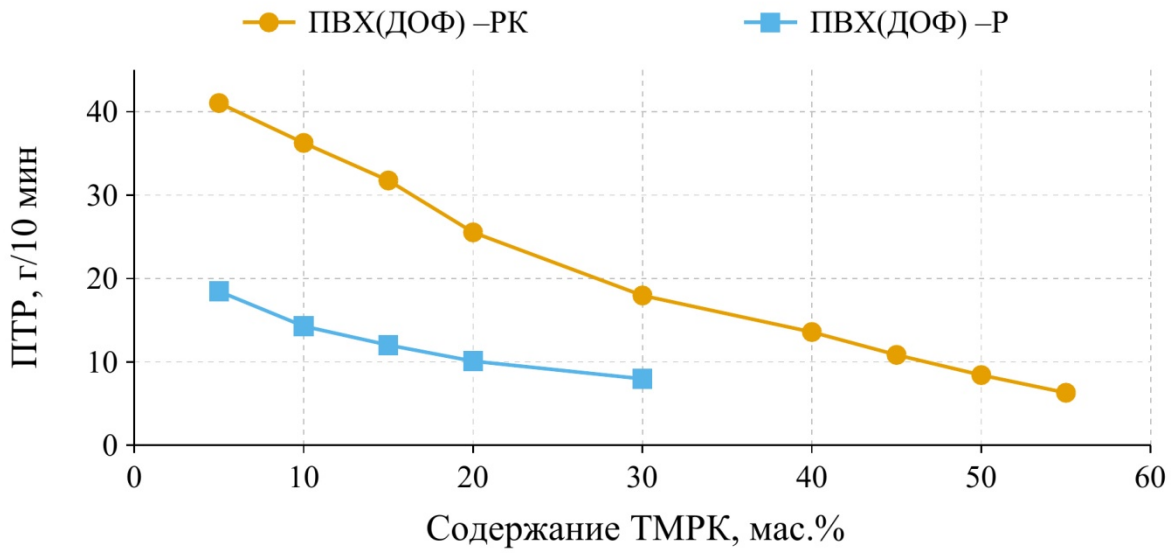


Рисунок 1. Зависимость ПТР композиций ПВХ(ДОФ) от содержания ТМРК при 150 °C и нагрузке 21,6 кг

Для S = 5, 10, 15, 20 и 30 мас. % отношения ПТР серии с ГМС к серии без него составили соответственно 2,22; 2,54; 2,64; 2,53 и 2,25. Наибольший относительный эффект получен при 15 мас. % крахмала. При 5–15 мас. % наполнителя рецептуры с ГМС имели ПТР выше контрольной ненаполненной матрицы (до 41,03 г/10 мин при 5 мас. % ТМРК), тогда как при 20 мас. % показатель снижался до 25,53 г/10 мин. Эффективная вязкость в серии с ГМС варьировалась от 3294 Па·с (5 мас. % ТМРК) до 7812 Па·с (30 мас. % ТМРК).

При повышении содержания ТМРК от 5 до 55 мас. % ПТР серии с ГМС уменьшился в 6,51 раза, достигнув 6,30 г/10 мин (эффективная вязкость 23103 Па·с). Добавка, следовательно, не устраняет полностью влияние наполнения на течение, однако частично выступает как вторичный пластификатор, проявляя синергию с диоктилфталатом. Ненулевой ПТР при 55 мас. % характеризует удовлетворительное течение в условиях испытания и доказывает принципиальную возможность переработки высоконаполненных композиций.

Эффект компатибилизации ГМС особенно заметен для композиций ПВХ (ДОФ) в области высоких содержаний S, где без компатибилизатора переработка композиций существенно затруднена. Повышение текучести связано со смазывающим действием ГМС

и изменением взаимодействий между компонентами: он улучшает смачиваемость частиц наполнителя расплавом полимера и снижает эффективную плотность межчастичных контактов.

Заключение

Введение 5 мас. % моностеарата глицерина в композиции ПВХ (ДОФ), наполненные 5–30 мас. % термически модифицированного рисового крахмала, с замещением части матрицы повышает ПТР в 2,22–2,64 раза по сравнению с немодифицированными аналогами. При дальнейшем наполнении текучесть закономерно снижается и достигает 6,30 г/10 мин при 55 мас. % крахмала. ГМС представляет собой эффективную компатибилизирующую и технологическую добавку, которая компенсирует падение текучести, расширяет технологическое окно экструзии и литья под давлением, а также стабилизирует процесс смешения и гранулирования биоразлагаемых рецептур.

Список литературы

1. ГОСТ 11645-73. Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов. – Введ. 01.01.1975.
2. Altayan M.M., Al Darouich T. Study of the properties of polyethylene/thermoplastic starch blends: determination of the critical compatibilizer concentration // Polymer Science, Series B. – 2021. – T. 63. – P. 152–160. – DOI: 10.1134/S1560090421020019.
3. Avérous L. Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: a review // Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. – 2004. – T. 44. – P. 231–274. – DOI: 10.1081/MC-200029326.
4. Istamov H., Mukhiddinov B., Toshtemirov F., Tilavova L. Investigation of the biodegradation of polyvinyl chloride using modified rice starch // E3S Web of Conferences. – 2024. – T. 548. – Art. 08008. – DOI: 10.1051/e3sconf/202454808008.
5. Kalambur S., Rizvi S.S.H. An overview of starch-based plastic blends from reactive extrusion // Journal of Plastic Film & Sheeting. – 2006. – T. 22. – P. 39–58. – DOI: 10.1177/8756087906062729.
6. Laycock B., Pratt S., Halley P. A perspective on biodegradable polymer biocomposites–from processing to degradation // Functional Composite Materials. – 2023. – T. 4. – DOI: 10.1186/s42252-023-00048-w.
7. Liu H., Xie F., Yu L. et al. Thermal processing of starch-based polymers // Progress in Polymer Science. – 2009. – T. 34. – P. 1348–1368. – DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001.
8. Polymer Blends Handbook / eds. L.A. Utracki, C.A. Wilkie. – 2nd ed. – Dordrecht: Springer, 2014. – DOI: 10.1007/978-94-007-6064-6.
9. Rauwendaal C. Polymer Extrusion. – 5th ed. – Munich: Hanser, 2014. – DOI: 10.3139/9781569905395.

10. Surendren A., Mohanty A.K., Liu Q., Misra M. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives // Green Chemistry. – 2022. – T. 24. – P. 8606–8636. – DOI: 10.1039/D2GC02169B.

References

1. GOST 11645-73. [Plastics. Method for determination of melt flow index of thermoplastics]. Effective 01.01.1975. (In Russ.)
2. Altayan M.M., Al Darouich T. Study of the properties of polyethylene/thermoplastic starch blends: determination of the critical compatibilizer concentration // Polymer Science, Series B. – 2021. – Vol. 63. – P. 152–160. – DOI: 10.1134/S1560090421020019.
3. Avérous L. Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: a review // Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. – 2004. – Vol. 44. – P. 231–274. – DOI: 10.1081/MC-200029326.
4. Istamov H., Mukhiddinov B., Toshtemirov F., Tilavova L. Investigation of the biodegradation of polyvinyl chloride using modified rice starch // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 548. – Art. 08008. – DOI: 10.1051/e3sconf/202454808008.
5. Kalambur S., Rizvi S.S.H. An overview of starch-based plastic blends from reactive extrusion // Journal of Plastic Film & Sheeting. – 2006. – Vol. 22. – P. 39–58. – DOI: 10.1177/8756087906062729.
6. Laycock B., Pratt S., Halley P. A perspective on biodegradable polymer biocomposites–from processing to degradation // Functional Composite Materials. – 2023. – Vol. 4. – DOI: 10.1186/s42252-023-00048-w.
7. Liu H., Xie F., Yu L. et al. Thermal processing of starch-based polymers // Progress in Polymer Science. – 2009. – Vol. 34. – P. 1348–1368. – DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001.
8. Polymer Blends Handbook / eds. L.A. Utracki, C.A. Wilkie. 2nd ed. – Dordrecht: Springer, 2014. – DOI: 10.1007/978-94-007-6064-6.
9. Rauwendaal C. Polymer Extrusion. 5th ed. – Munich: Hanser, 2014. – DOI: 10.3139/9781569905395.
10. Surendren A., Mohanty A.K., Liu Q., Misra M. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives // Green Chemistry. – 2022. – Vol. 24. – P. 8606–8636. – DOI: 10.1039/D2GC02169B.