

**УДК 621.74.06****ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ  
МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ**

Назар Михайлович Лысиков

*Магистр 2 года,  
кафедра «Литейные технологии»  
Московский государственный технический университет**Научный руководитель: А.Ю. Коротченко,  
доктор технических наук, заведующий кафедрой «Литейные технологии»*

Смешение – это механический процесс распределения исходных компонентов по всему объёму системы. Процесс смешения предназначен для быстрого и равномерного распределения реагентов. Целью процесса перемешивания является получение максимально однородной смеси двух или более компонентов. От однородности получаемых смесей напрямую зависят потребительские свойства производимых из них изделий.

Главными факторами, влияющими на перемешивание в выбранном нами двухроторном смесителе с реверсивным шнеком [1], являются форма лопастей (а именно угол их поворота по отношению к валу), скорость их вращения относительно друг друга [2], а также время перемешивания, но этот параметр находится в обратно пропорциональной связи с производительностью, поэтому его следует минимизировать из экономических соображений. Таким образом однородность смеси можно представить, как функцию отклика:

$$y = f(x_1, x_2),$$

где  $x_1, x_2$  — входные параметры (то есть угол поворота и отношение скоростей вращения).

Для исследования влияния данных параметров на процесс перемешивания был проведён ряд экспериментов в программном пакете Flow-3D Cast. Для этого в программе SolidWORKS были созданы STL-геометрии основных узлов смесителя (ёмкости, двух лопастей, шнека, объёма занимаемой смеси). Исходная металлополимерная смесь рассматривалась как расплав (полимерное связующее с заданными значениями плотности и динамической вязкости) и частицы (металлический порошок с заданным количеством, диаметром зерна и плотностью). В первой серии опытов изменялась только скорость тихоходного вала, во второй — угол поворота лопастей.

Для характеристики состояния полученной смеси использовалась однородность распределения в ней ключевого компонента (металлического порошка). Для определения этой характеристики нужно отобрать несколько проб определённой величины и тем или иным способом определить в них содержание этого компонента. Это было реализовано путём выполнения 6 снимков полученной смеси с каждой из сторон и анализом полученных изображений, используя программу ImageJ. С её помощью было взято 10 «проб» с каждого кадра (участки 50×50 пикселей) и посчитано количество частиц на них. Характеристикой неоднородности смеси будет служить среднеквадратичное отклонение [3] содержания ключевого компонента в отдельных локальных объёмах от среднего:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N (S_j - \langle S \rangle)^2}$$

Таким образом, мы получили ряд данных (табл. 1) для определения влияния параметров.

Таблица 1. Результаты исследования

Изменяемые параметры		$\sigma$						
Угол поворота	Передаточное число	+XY	+XZ	+YZ	-XY	-XZ	-YZ	$\sigma_{ср}$
135	1,5	16,65	8,57	20,11	17,46	10,52	21,09	15,73
135	1,71	16,12	8,51	19,83	15,12	9,11	18,37	14,51
135	2	15,21	8,37	19,80	11,70	4,79	18,18	13,01
120	1,5	14,38	6,96	18,78	16,70	7,69	20,03	14,09
150	1,5	18,09	8,61	20,99	17,80	12,53	21,78	16,63

По результатам исследования можно сделать вывод, что увеличение передаточного числа скорости вращения смешивающих лопастей улучшает качество получаемой смеси. Также из серии наших опытов видно, что однородность смеси повышается с уменьшением угла поворота лопасти, но для нахождения оптимального значения данного параметра потребуется еще ряд моделирований.

### Литература

1. Лысиков Н. М. Анализ вариантов смесителей для изготовления МИМ-фидстока. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 6 – 10 апреля, 2020, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2020.– URL: studvesna.ru?go=articles&id=2873 (дата обращения: 11.03.2021)
2. Ким, В. С. Оборудование заводов пластмасс. В 2 ч. Часть 1 : учебное пособие для академического бакалавриата / В. С. Ким, М. А. Шерышев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2017. — 277 с.
3. Bridgwater J. Mixing of powders and granular materials by mechanical means — A perspective / J. Bridgwater // Particuology. – 2012. – Val. 10. – p. 397-427.