



## Математическое описание технологического процесса изготовления канистры из полиэтилена низкого давления

*П.Ю. Уманский, И.Ю. Уманский, А.Г. Янишевская*

*ФГБОУ ВПО Омский государственный технический университет*

**Аннотация:** Дано описание технологического процесса получения канистры из полиэтилена низкого давления. Приведены результаты исследований по определению зависимости входных технологических показателей от выходных показателей и характеристик изделия. Разработана математическая модель технологического процесса получения изделий из полиэтилена низкого давления.

**Ключевые слова:** моделирование, системный анализ, экструдер, аппарат, функциональная схема, автоматизированное проектирование, нефтехимическая промышленность.

В современных условиях создание новых высокоэффективных технологических процессов, а также совершенствование уже действующих является одной из основных задач химической промышленности. Решение данной задачи возможно с помощью использования информационных технологий, а также совершенствования химико-технологических процессов [1,2]. Развитие систем автоматизированного проектирования обусловлено широким внедрением средств вычислительной техники и прикладного математического обеспечения. Основными преимуществами применения САПР, как известно, являются: повышение точности проектирования; снижение трудоемкости проектирования [3,4].

Существенная особенность химико-технологических процессов состоит в том, что совокупность составляющих их явлений носит детерминированно-стохастическую природу, проявляющуюся в особенностях процессов массопереноса, теплопереноса и химического превращения протекающих в технологическом оборудовании. Это объясняется случайным взаимодействием составляющих компонентов или случайным характером граничных условий в оборудовании.

---

Решение проблемы изучения химико-технологических процессов возможно с помощью математического моделирования, базирующегося на системном анализе, который заключается в представлении анализируемого процесса как сложной взаимодействующей иерархической структуры с последующим качественным анализом ее структуры, разработкой математического описания и оценкой исследуемых параметров [5]. При рассмотрении явлений, возникающих в процессе движения различных частиц в сплошной жидкой среде, рассматривают пять уровней:

1. Совокупность явлений на атомарно-молекулярном уровне;
2. Эффекты в масштабе надмолекулярных или глобулярных структур;
3. Множество физико-химических явлений, связанных с движением единичного включения дисперсной фазы, с учетом химических реакций и явлений межфазного энергопереноса и массопереноса;
4. Физико-химические процессы различных включений, перемещающихся в сплошной фазе;
5. Совокупность процессов, определяющих макрогидродинамическую обстановку в масштабе технологического оборудования.

Для описание процесса применим математическое моделирование состоящее из трех этапов:

1. Составление математического описания исследуемого процесса или объекта;
  2. Выбор математического описания и реализация его с помощью моделирующей программы;
  3. Определение адекватности модели объекта.
-

На первом этапе выделяют основные явления и элементы в исследуемом процессе или объекте и затем устанавливают связи между ними. Далее, для каждого выделенного явления и элемента записывают уравнение, отражающее его функционирование. Также, в математическое описание включают уравнения связи между различными выделенными явлениями [6]. В нашем случае для описания технологического процесса изготовления канистры из полиэтилена низкого давления (ПНД) определяем технологические параметры процесса, такие как:

- Гранулы ПНД;
- Краситель;
- Охлаждающая жидкость;
- Воздух;
- Технические добавки.

Эти параметры существенно влияют на качество изготавливаемой канистры. В современном технологическом оборудовании поведение взаимодействующих частиц потока является сложным, поэтому дать строгое математическое описание в большинстве случаев не представляет возможным. Однако, структура потоков оказывает существенное влияние на эффективность химико-технологических процессов, поэтому при моделировании таких процессов ее необходимо учитывать. При этом математические модели структуры потоков являются основной, на которой строится математическое описание всего химико-технологического процесса [7].



При проведении химико-технологических процессов важно знать степень полноты их завершения, время пребывания частиц потока в аппарате и диффузию частиц, участвующих в химическом процессе [8].

Были проведены исследования по определению зависимости входных технологических показателей от выходных показателей и характеристик изделия на примере изготовления канистры из ПНД объемом 1 литр. Данные пассивного эксперимента процесса изготовления канистры объемом 1 литр представлены в таблице №1. Были выявлены технологические показатели, наиболее влияющие на качество получаемой канистры.

Таблица 1

## Технологические показатели

Входящие потоки						Исходящие потоки			
Гранулы ПНД (кг)	Краситель (кг)	Охлажд. Жидкость (л/мин)	Воздух (кг/см <sup>2</sup> )	Дробленка (кг)	Тех. Добавки (кг)	Изделия (шт/кг)	Облой (кг)	Отработанный Воздух(кг/см <sup>2</sup> )	Охлажд. жидкость (л/мин)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,096	0,0016	66,7	5,9	0,017	0,0015	1/0,082	0,031	3,2	66,6
0,096	0,0015	66,8	5,8	0,017	0,0014	1/0,082	0,031	3,1	66,6
0,095	0,0017	66,8	5,9	0,018	0,0015	1/0,082	0,032	3,2	66,7
0,097	0,0016	66,9	6	0,017	0,0015	1/0,082	0,031	3,3	66,8
0,097	0,0016	66,6	5,8	0,017	0,0014	1/0,082	0,031	3,2	66,5
0,096	0,0016	66,7	5,8	0,017	0,0015	1/0,082	0,030	3,2	66,6
0,098	0,0017	66,8	6	0,016	0,0016	1/0,082	0,031	3	66,7
0,098	0,0015	66,9	6,1	0,016	0,0014	1/0,082	0,032	3,1	66,8
0,099	0,0016	66,6	5,8	0,015	0,0014	1/0,082	0,031	3	66,5
0,096	0,0016	66,6	5,9	0,016	0,0015	1/0,082	0,032	2,9	66,5
0,095	0,0016	66,7	5,8	0,018	0,0015	1/0,082	0,033	2,9	66,6
0,096	0,0016	66,6	5,7	0,016	0,0015	1/0,082	0,031	3	66,5
0,097	0,0017	66,8	5,9	0,016	0,0016	1/0,082	0,032	2,9	66,7
0,098	0,0016	66,9	6	0,018	0,0015	1/0,082	0,034	3,1	66,8
0,098	0,0015	66,7	6,1	0,017	0,0014	1/0,082	0,032	3,2	66,8
0,095	0,0015	66,6	6	0,018	0,0014	1/0,082	0,032	3	66,5
0,096	0,0015	66,7	6	0,016	0,0015	1/0,082	0,032	3	66,6
0,096	0,0017	66,6	5,9	0,018	0,0017	1/0,082	0,033	2,8	66,5
0,096	0,0016	66,6	5,8	0,016	0,0016	1/0,082	0,030	2,9	66,5
0,098	0,0016	66,8	6	0,016	0,0015	1/0,082	0,033	3	66,8

Распределение времени пребывания взаимодействующих частиц исследуемого потока в аппарате носит случайную природу и оценивается статистическим распределением. Наиболее важными источниками распределения элементов исследуемого потока по времени пребывания в технологических аппаратах, используемых для изготовления данных изделий, являются:

- нелинейность направлений скоростей системы;
- турбулизация потоков;
- наличие застойных областей в исследуемом потоке;
- каналообразование, однонаправленные и перекрестные токи в системе;
- температурные градиенты движущихся сред;
- теплообмен и массообмен между фазами.

Все гидродинамические модели потоков записываются в виде уравнений, определяющих изменение концентрации веществ в них. Многообразие взаимодействующих диффузионных и тепловых потоков с учетом распределения по времени пребывания можно описать в виде следующих типовых математических моделей:

- идеального смешения;
- идеального вытеснения;
- диффузионной;
- ячеечной;
- циркуляционной и комбинированной.

Выше приведенные модели отвечают следующим требованиям:

- отражают основные физические закономерности реального потока;

- позволяют экспериментально определять параметры модели;
- дают возможность их использования для расчета конкретных технологических процессов.

Для описания технологического процесса изготовления канистры из ПНД предлагается ячеечная модель с обратными потоками, т.к. она наиболее точно отражает существующий технологический процесс. Согласно этой модели технологическое оборудование рассматривают как последовательность участков с сосредоточенными параметрами.

Рассматриваемая модель, впервые предложенная для каскада реакторов с мешалками, является одной из наиболее простых [9 - 12]. Согласно этой модели аппарат состоит из ряда последовательно соединенных ячеек, через которые проходит поток веществ, причем, в ячейки поток может попадать как прямой, так и обратный (рис.1).

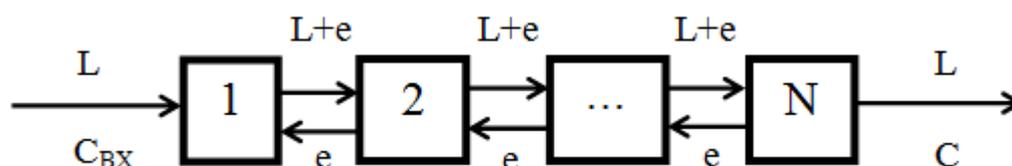


Рис. 1. – Функциональная схема ячеечной модели с обратными потоками

В качестве исследуемого параметра ячеечной модели, количественно характеризующим перемешивание, служит число ячеек полного перемешивания  $N$ .

Выражения баланса массы вещества для каждой из ячеек с учетом обратных (рециркуляционных) потоков между ними имеют вид:

$$\begin{aligned} LC_{\text{BX}} - (L + e)C_1 + eC_2 &= V_{\text{Я}} \frac{dC_1}{dt}; \\ (L + e)C_1 - (L + 2e)C_2 + eC_3 &= V_{\text{Я}} \frac{dC_2}{dt}; \\ \dots & \\ (L + e)C_{j-1} - (L + 2e)C_j + eC_{j+1} &= V_{\text{Я}} \frac{dC_j}{dt}; \\ \dots & \\ (L + e)C_{N-1} - (L + e)C_N &= V_{\text{Я}} \frac{dC_N}{dt}. \end{aligned} \quad (1)$$

Соответствующие начальные условия для системы уравнения(1) имеют вид:

$$C_1 = C_{H1}, C_2 = C_{H2}, C_N = C_{HN} \text{ при } t = 0 \quad (2)$$

Соотношение  $e/L$  называется долей обратного потока и обозначается как  $e/L = f$ . Отношение определяет  $V_{\text{Я}}/L$  среднее время пребывания потока в ячейке  $\bar{t}$ . С учетом используемых допущений системы уравнений (1) и (2) запишем в виде:

$$\begin{aligned} C_{\text{BX}} + fC_2 - (1 + f)C_1 &= \bar{t} \frac{dC_1}{dt}; \\ (1 + f)C_1 - (1 + 2f)C_2 + fC_3 &= \bar{t} \frac{dC_1}{dt}; \\ \dots & \\ (1 + f)C_{j-1} + fC_{j+1} - (1 + 2f)C_j &= \bar{t} \frac{dC_j}{dt}; \\ \dots & \\ (1 + f)C_{N-1} - (1 + f)C_N &= \bar{t} \frac{dC_N}{dt}. \end{aligned} \quad (3)$$

Принимаем  $C_{ВХ}$ ,  $C_{ВЫХ}$  — из таблицы №1. Входными параметрами являются: масса гранул ПНД, масса добавляемого красителя (кг), охлаждающая жидкость (тосол) (л/мин), воздух ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ), дробленка (кг), технологические добавки (кг). Выходными параметрами являются: изделия (шт/кг), облой (кг), отработанный воздух ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ), охлаждающая жидкость (л/мин). Система уравнений (3) представляет собой математическое описание технологического процесса изготовления канистры из ПНД.

### Литература

1. Graf Rudolf F. Modern dictionary of electronics. Boston: Newnes, 1999, 882 p. ISBN 978-0-75-069866-5.
2. Meguid S. A. Integrated computer-aided design of mechanical systems. — London: Elsevier Applied Science, 1987, P. 6 - 7 — ISBN 978-1-851-66021-6.
3. Середкин А.Н., Виноградова Г.Л., Филиппенко В.О. Модель и методика параметризации при автоматизированном проектировании изделий со сложной формой. // Инженерный вестник Дона, 2014, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2532](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2532).
4. Анисимов И.В. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок / И. В. Анисимов, Бодров В.И., Покровский В.Б. М.: Химия, 1975. 216 с.
5. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учеб. пособие для хим. технол. спец. вузов / В.В. Кафаров. 2-е изд. М. : Высш. шк., 1985, 327 с.
6. Луценко В.А. Математическое моделирование химико-технологических процессов на аналоговых вычислительных машинах: Лабораторно-практические работы: Учеб. пособ. для вузов / М.: Химия, 1975. 336 с.

7. Демиденко Н.Д. Моделирование и оптимизация тепло-массообменных процессов в химической технологии / СО АН СССР. М.: Наука, 1991. 240 с.

8. Гумеров А.М. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учеб. пособ. для вузов / Н.Н. Валеев, А.М. Гумеров, В.М. Емельянов. М.: Колос, 2008. 159 с.

9. Громов Ю.Ю. Специальные разделы теории управления. Оптимальное управление динамическими системами / Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник: Учеб.пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 108 с.

10. Прейс В.В. Проектирование машин и аппаратов пищевых и перерабатывающих производств. Учебное пособие. Тула: Изд-во ТулГУ. 2005. 156 с.

11. Разработка САПР. В 10 кн. Кн. 1. Проблемы и принципы создания САПР: Практ. пособие / А. В. Петров, В.М. Черненький; Под ред. А. В. Петрова. - М.: Высш. шк., 1990. 143 с.

12. Асцатуров Ю. Г., В.В. Семенов, Ю.Б.Ханжонков Разработка оптико-электронного устройства для анализа загрязнённости моторного масла двигателя внутреннего сгорания дисперсными частицами // Инженерный вестник Дона, 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2376.

### References

1. Graf Rudolf F. Modern dictionary of electronics. Boston: Newnes, 1999, 882 p.

2. Meguid S. A. Integrated computer-aided design of mechanical systems. — London: Elsevier Applied Science, 1987, pp. 6-8.



3. Seredkin A.N., Vinogradova G.L., Filippenko V.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2532.

4. Anisimov I.V. Matematicheskoe modelirovanie i optimizacija rektifikacionnyh ustanovok [Mathematical modeling and optimization of distillation plants] I. V. Anisimov, Bodrov V.I., Pokrovskij V.B. M.: Himija, 1975. 216 p.

5. Ahnazarova C.JI. Metody optimizacii jeksperimenta v himicheskoj tehnologii: ucheb. posobie dlja him. tehnol. spec. vuzov [Methods of optimization experiments in chemical technology: Textbooks for chemicals technology special universities] V.V. Kafarov. 2-e izd. M. :Vyssh. shk., 1985, 327 p.

6. Lucenko V.A. Matematicheskoe modelirovanie himiko-tehnologicheskikh processov na analogovyh vychislitel'nyh mashinah: Laboratorno-prakticheskie raboty: Ucheb. posobie dlja vuzov [Mathematical modeling of chemical-technological processes on analog computers: Laboratory and practical work: Proc. benefits. for schools] Lucenko V.A., Finjakin L.N. M.: Himija, 1975. 336 p.

7. Demidenko N.D. Modelirovanie i optimizacija teplo-massoobmennyyh processov v himicheskoj tehnologii [Simulation and optimization of heat-mass transfer processes in chemical engineering] SO AN SSSR. M.: Nauka, 1991. 240 p.

8. Gumerov A.M. Matematicheskoe modelirovanie himiko-tehnologicheskikh processov: ucheb. posobie dlja vuzov [Mathematical modeling of chemical-technological processes: a manual for schools] N.N. Valeev, A.M. Gumerov, V.M. Emel'janov . M.: KolosS, 2008. 159 p.

9. Gromov Ju.Ju. Special'nye razdely teorii upravlenija. Optimal'noe upravlenie dinamicheskimi sistemami [Special sections of control theory. Optimal control of dynamic systems] H.A. Zemskoj, A.B. Lagutin, O.G. Ivanova, V.M. Tjutjunnik: Ucheb. posobie. Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2004. 108 p.

10. Prejs V.V. Proektirovanie mashin i apparatov pishhevyyh i pererabatyvajushchih proizvodstv. Uchebnoe posobie. [Design of machines and



equipment for food and processing industries. Textbook] Tula: Izd-vo TulGU. 2005. 156 p.

11. Razrabotka SAPR. V 10 kn. Kn. 1. Problemy i principy sozdaniya SAPR: Prakt. posobie [Development of CAD. In 10 books. Book 1. Problems and principles of CAD: A Practical Guide] A. V. Petrov, V.M. Chernen'kij; Pod red. A. V. Petrova. M.: Vyssh. shk., 1990. 143 p.

12. Ascaturov Ju. G., Semenov V.V., Hanzhonkov Ju. B. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2376](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2376).