

Проведено дослідження впливу технологічних параметрів на температуру розплаву в процесах соєкструзії. Показано, що похибка прогнозування температури розплаву за середнім значенням температур по зонах екструдера становить $\pm 12,8\%$ для інтервалу $\pm 2S$. Для більш глибокого оперативного аналізу теплообміну в екструдері та управління процесом запропоновано використовувати параметр - відсоток включення нагрівачів, який є стандартним для сучасних мікропроцесорних регуляторів температури

Ключові слова: спільна екструзія, температура розплаву, прогнозування, управління

Проведено исследование влияния технологических параметров на температуру расплава в процессах соэкструзии. Показано, что погрешность прогнозирования температуры расплава по среднему значению температур по зонам экструдера составляет $\pm 12,8\%$ для интервала $\pm 2S$. Для более глубокого оперативного анализа теплообмена в экструдере и управления процессом предложено использовать параметр – процент включения нагревателей, который является стандартным для современных микропроцессорных регуляторов температуры

Ключевые слова: совместная экструзия, температура расплава, прогнозирование, управление

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ РАСПЛАВА В ПРОЦЕССАХ СОЭКСТРУЗИИ

В. В. Леваничев

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра системной инженерии
Восточноукраинский национальный
университет им. В. Даля
кв. Молодёжный, 20а, г. Луганск,
Украина, 91034
E-mail: levanichev@yandex.ru

1. Введение

Для определения температур по зонам экструдера обычно предлагается некий диапазон, где возможно проводить переработку полимера. Исходя из состояния процесса: вязкости и прочности расплава, наличия непролагов, подгоревших включений, стабильности производительности, тока двигателя, давления в головке технолог проводит регулировку температурных режимов экструдера [1].

Для соэкструзии необходимо дополнительно учесть, во-первых, взаимное влияние соэкструдруемых пластмасс, поскольку итоговая температура расплава выравнивается при совместном течении в головке и, во-вторых, диапазон температур их совместной переработки, так как пересечение температурных диапазонов уменьшает область регулирования температур по сравнению с переработкой монослоя [2].

Современные многослойные структуры создаются для оптимизации свойств различных видов пленки. При этом используются сложные структуры, которые изготавливаются не только за счет правильного подбора технологических режимов, но и ноу-хау в конструкции оборудования [3], например:

- системы обогрева соэкструзионной головки позволяющие задать разницу между соседними зонами (слоями) головки 40°C , стандартная конструкция дает 10°C ;
- технология инкапсулирования позволяющая подавать термочувствительный расплав температурой 160°C в головку температурой 220°C , без деструкции материала.

2. Литературный обзор

Вопросы теплообмена глубоко проработаны в работах [4 – 7]. Подробно рассмотрен процесс плавления и теплопередачи при движении пробки гранул от зоны загрузки до головки. Учитываются основные конструктивные параметры и частота вращения шнека, теплофизические характеристики полимера. Расчет температуры полимера ведут на каждом витке шнека путем анализа тепловыделений за счет вязкого трения с учетом температуры стенки цилиндра.

Но теоретические исследования проведены для определенных граничных условий для стандартной геометрии шнека, без учета теплопередачи в цилиндре и точности поддержания температуры, мощности обогрева, возможностей системы управления процессом, износа оборудования. При этом точность достаточно сложных моделей не очень высокая. Например, в [8] приведены результаты исследования плавления в одношнековом экструдере, в частности показано, что если модель Тадмора прогнозирует окончательное плавление на 16 витке, то в реальном процессе это происходит на 20 витке, причем всего в шнеке 21 виток. С учетом того, что начало плавления это 6-й виток, относительная погрешность модели составляет 50%.

Собственно достаточно простой подход предлагается в современных исследованиях [9], где учитываются температурные характеристики полимера (точки кристаллизации, плавления, текучести), а температурный профиль устанавливается в процессе отладки технологического процесса. Такое положение вызвано тем, что практика в технологиях переработки пластмасс значительно опережает теорию. Например, в статье [10]

анализируется методика управления температурой при соэкструзии, которую применяет оператор установки, при этом автор считает, что действия оператора в целом неправильные, так как температура изменяется только на основе анализа температур по зонам экструдера, и не учитывается производительность, вязкость, ограничения по давлению в каждом экструдере и т.д.

Поэтому интерес представляет исследовать влияние температуры по зонам экструдера на температуру расплава, найти простые зависимости для инженерных расчетов и оперативного управления технологическим процессом, определить адекватность линейных зависимостей температуры расплава и уровень возможных ошибок.

3. Описание исследования

Для исследования рассмотрены 18 экструдеров, которые установлены на 4-х соэкструзионных установках. Период наблюдений 1 месяц.

Управление температурами по каждой зоне обеспечивается микроконтроллером с встроенным ПИД регулятором. Каждая температурная зона экструдера снабжена модулем нагрева и охлаждения. Регуляторы отражают не только текущую и заданную температуру, но и процент включения нагревателя или охладителя, поэтому можно видеть в каком режиме (с подводом или отводом тепла) работает каждая зона экструдера.

При такой конструкции системы обогрева температура в каждой зоне поддерживается постоянной не зависимо от тепловыделений в экструдере. Точность поддержания температуры (при оптимальных настройках параметров ПИД регулятора) ±1°C.

Для оценки влияния технологических режимов на температуру расплава проводился регрессионный анализ. Поиск решения проводился в виде зависимости $y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b$ (табл. 1).

Таблица 1

Конструктивные параметры исследуемых соэкструзионных установок

Параметр/слой	A (внешн.)	B	C	D	E (внутр.)
Диаметр шнека, мм	45	25	C1,2,4=45 C3=30	25	30
Максимальная частота вращения, об/мин	160	150	160	150	160
Материал (основной)	PA-6 EVA	EVA	LDPE, PVDC	EVA	PA-6 EVA
Мощность нагревателей в зонах экструдера	2,0	1,0	2,0	1,0	1,5
Мощность привода, кВт	30	15	30	15	20

Диапазон варьирования факторов определялся технологическими режимами, которые имеют достаточно широкий диапазон из-за мелкосерийного харак-

тера производства. Исследуемые параметры указаны в табл. 2.

Таблица 2

Диапазон варьирования факторов

Экструдер	Факторы вход						выход Тр °C	
	P	N	Q	Q/N	I	Tcp		
	бар	об/мин	кг/час	кг/60об	A	°C		
A	мин	135	25	12	0,45	17	257,8	250
	макс	245	50	22	0,52	25	263,2	265
B	мин	83	5	0,3	0,04	1,4	183,3	205
	макс	131	15	0,8	0,06	2,1	193,3	215
C	мин	139	80	7	0,06	9	228,5	220
	макс	309	160	12	0,11	17	241,3	240
D	мин	93	5	0,3	0,05	1,5	172,8	205
	макс	147	15	0,6	0,07	2,3	187,3	225
E	мин	107	40	5	0,12	4,7	244,5	225
	макс	279	75	10	0,15	9,1	266	260

4. Анализ результатов

Во всех экструдерах выявлена статистическая взаимосвязь между анализируемыми технологическими параметрами и температурой расплава, поскольку расчетное значение критерия Фишера больше табличного.

Анализ показывает, что значащим фактором (для уровня α=0,05) в 17-ти экструдерах из 18-ти, является средняя температура по зонам экструдера Tcp, причем во всех экспериментальных данных имеется прямо пропорциональная взаимосвязь между Tcp и температурой расплава Tr.

Значимость остальных факторов проявляется в отдельных экспериментах. Например для экструдера A1 наиболее значимым фактором является давление расплава (рис. 1).

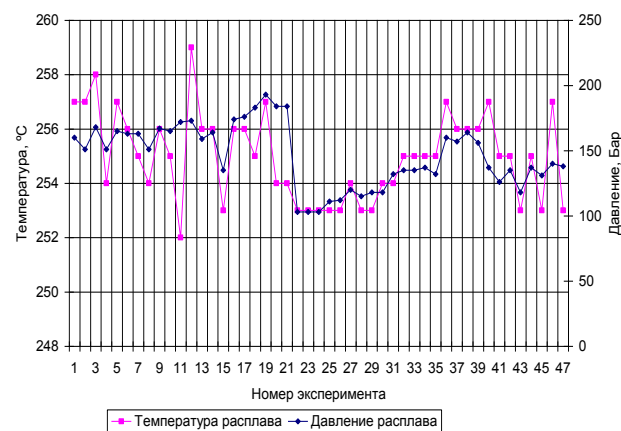


Рис. 1. Динамика изменения давления и температуры расплава для экструдера A1

Для экструдера C3 выявлено влияние частоты N на Tr, но для экструдера D3 эта зависимость отрицательная. Также для экструдера A1 выявлено влияние отношения Q/N, но для остальных экструдеров такая закономерность не подтверждается.

Проводился регрессионный анализ для определения коэффициентов в уравнении $T_p = a_1 \cdot T_{ср}$.

На графиках представлены экспериментальные значения T_p и прогнозирование по средней температуре по зонам экструдера (рис. 2).

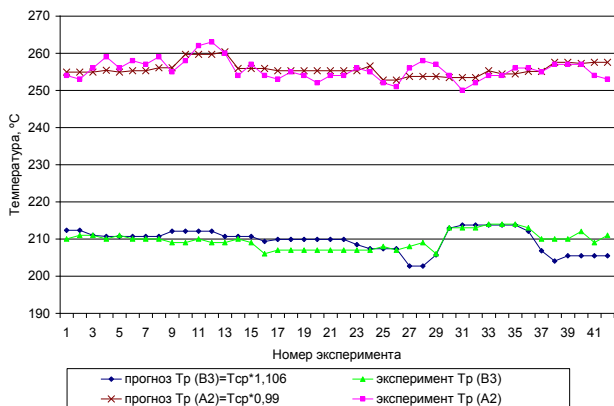


Рис. 2. Прогнозирование температуры расплава по среднему значению температуры по зонам экструдера

Погрешность прогнозирования температуры по уравнению $T_p = a_1 \cdot T_{ср}$, для интервала $\pm 2S$ составляет $\pm 12,8\%$. Для различных экструдеров существует свой уровень коэффициента a_1 . Анализ технологических режимов показывает, что коэффициент зависит от температурного профиля экструдера (табл. 3).

Таблица 3

Рекомендации по управлению температурным профилем при созэкструзии

Характер температурного профиля	Обобщенное уравнение прогнозирования температуры расплава	Рекомендации по применению профиля
Постепенный подъем температур	$T_p = 1,15 \cdot T_{ср}$	Универсальный наиболее широкое применение
Ровный профиль	$T_p = 1,05 \cdot T_{ср}$	Для единичных, не отлаженных процессов
С «забросом» в первых зонах	$T_p = 0,95 \cdot T_{ср}$	Для интенсификации плавления и смешения

В процессе данного исследования был найден новый технологический параметр процесса экструзии – процент включения нагревателей и вентилятора охлаждения. То есть данный параметр показывает количество подводимой или отводимой энергии в зоне обогрева. Параметр является стандартным для микропроцессорного регулятора. Анализ данного параметра позволяет более глубоко и оперативно находить температурный профиль для обеспечения стабильного процесса экструзии (табл. 4).

Увеличение частоты вращения шнека требует снижения заданной средней температуры нагрева, так как больше тепла выделяется за счет трения.

Таблица 4

Типичный уровень процента включения нагревателей

Зона экструдера	Процент включения					Частота вращения шнека	Температуры по зонам экструдера	Температура расплава
	1	2	3	4	5			
Процент включения	25	5	0	-5	-25	100	230-255	250
	30	20	10	5	0	50	235-270	250

5. Выводы

1. Современные конструктивные элементы систем обогрева обеспечивают стабильную температуру независимо от тепловыделений в экструдере.
2. Температуру расплава удобно прогнозировать и регулировать по средней температуре зон экструдера с учетом характера температурного профиля. Относительная погрешность прогнозирования для интервала $\pm 2S$ составляет $\pm 12,8\%$.
3. Развитие систем управления процессом экструзии увеличивает количество контролируемых технологических параметров. Такие параметры, как процент включения нагревателей и отношение производительности к частоте вращения, требуют дальнейшего изучения для повышения стабильности процесса и оперативности управления.

Литература

1. Яковлев, А. Д. Технология изготовления изделий из пластмасс [Текст] / А. Д. Яковлев – Ленинград: Химия, 1972. 344с.
2. Michaeli, W. Extrusion dies for plastics and rubber: design and engineering computations [Текст] / Hanser Publishers, Munich, 1992. - 340с.
3. Раувендааль, К. Экструзия полимеров [Текст] / пер. с англ. под ред. А. Я. Малкина – СПб.: Профессия, 2008.- 768с.
4. Торнер, Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) [Текст] / Р. В. Торнер -М.: Химия, 1977. - 464с.
5. Тадмор, З. Теоретические основы переработки полимеров [Текст] : пер с англ.-М.: Химия, 1984. – 632с.
6. Техника переработки пластмасс [Текст] / под ред. Н. И. Басова, В. Броя – М.: Химия, 1985.-528с.
7. Торнер, Р. В. Оборудование заводов по переработке пластмасс [Текст] / Р. В. Торнер, М. С. Акутин – М.: Химия, 1986. – 400с.
8. Altinkaynak, A. Melting in a Single Screw Extruder: Experiments and 3D Finite Element Simulations [Текст] / A. Altinkaynak, M. Gupta, M. A. Spalding, S. L. Crabtree / Журн. International Polymer Processing XXVI ч.2., 2011.- С.182-196.
9. Раувендааль, К. Выявление и устранение проблем в экструзии [Текст] : пер с англ. под ред. В.П. Володина; Спб.: Профессия, 2008.-328с.
10. Process temperature specifications – a sad story [Электронный ресурс] / Технический журнал AIMCAL.- Режим доступа: <http://www.convertquarterly.com/blogs/substrate-secrets/id/5173/process-temperature-specifications-a-sad-story.aspx/> 26.01.2013- Загл. с экрана.