

дации по управлению процессом RC и направление изменения управляющих воздействий $U_j \in [U_{j\min}; U_{j\max}]$ для устранения брака.

Проанализировав полученные результаты по апробации разработанной методологии имитационного моделирования сорбционно-каталитических процессов в ООО "Центр трансферта сорбционно-каталитических технологий" и ООО "Научно-производственная фирма "Катализаторы, сорбенты, носители – технологии" (Санкт-Петербург) и внедрению системы имитационного моделирования в ФГУП "НКТБ "Кристалл" (Санкт-Петербург), можно сделать вывод о применимости результатов для поддержки технологий производства новых видов сорбционно-каталитических материалов, используемых в системах и устройствах жизнеобеспечения, защиты окружающей среды.

Чистякова Тамара Балабековна – д-р техн. наук, проф., проректор по учебной работе, зав. кафедрой, *Новожилова Инна Васильевна* – канд. техн. наук, зав. учебной лабораторией, старший преподаватель кафедры систем автоматизированного проектирования и управления Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), *Шляго Юрий Иванович* – канд. техн. наук, зам. директора-главного конструктора ФГУП "НКТБ "КРИСТАЛЛ", вед. научн. сотр. кафедры систем автоматизированного проектирования и управления СПбГТИ (ТУ).

Контактный телефон (812) 494-93-70, факс (812) 316-18-26. E-mail: sapr@ws01.sapr.pu.ru

СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРУДЕРАМИ В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т.Б. Чистякова, А.Н. Полосин (СПбГТИ (ТУ))

Представлена проблемно-ориентированная система имитационного моделирования, ядром которой является библиотека динамических моделей типовых секций шнеков экструдеров различных классов, применяемых в перенастраиваемых производствах полимерных материалов. Система позволяет синтезировать модели, имитирующие гидродинамические процессы в аппаратно гибких экструдерах и предназначенные для расчета времени пребывания и показателей качества экструдата, исследования процесса экструзии в разных режимах функционирования и управления качеством полимерных материалов, используемых в пищевой и медицинской промышленности.

Ключевые слова: имитационное моделирование, типовые гидродинамические модели, время пребывания, численные методы, программные комплексы, экструзия, полимерные материалы.

Введение

Полимерные материалы, изготавливаемые высокопроизводительным непрерывным способом на экструзионных и экструзионно-каландровых линиях, находят широкое применение в различных отраслях промышленности, например, пленки используются для упаковки фармацевтических препаратов, пищевых продуктов и косметических средств, пеноплиты в качестве тепло-, звуко- и гидроизоляционных материалов на объектах строительства. Поэтому к их качеству предъявляются высокие требования, основными из которых являются: отсутствие термических дефектов (дырок, черных точек, деструкционных полос), вызванных перегревом и разложением полимерного материала, и твердых включений, образующихся вследствие неполной пластикация материала, а также равномерность распределения свойств по объему материала (например, однородность цветовой окраски). Выполнение этих требований в условиях

гибкого многостадийного производства, характеризующегося частыми переходами на новые типы полимерных материалов и производительность в соответствии с требованиями рынка и, как следствие, изменением аппаратного оформления стадий и режима функционирования, возможно только за счет разработки и внедрения компьютерных систем управления качеством материалов на всех стадиях производства.

Ключевой стадией производства полимерных материалов является процесс экструзии, предназначенный как для смешения и пластикация материала при подготовке питания каландра (в экструзионно-каландровых производствах плоских пленок и листов), так и для изготовления целевой продукции (в экструзионных производствах плоских и рукавных пленок и пеноплит). Стадия экструзии характеризуется множеством вариантов аппаратного оформления, что обусловлено использованием экструдеров различных классов (одношнековых, осциллирующих, двухшне-

ковых) и их аппаратной гибкостью, связанной с переменной модульной конфигурацией шнеков. Это позволяет осуществлять изменение интенсивности сдвиговых деформаций и, как следствие, степени смесительного воздействия на материал по зонам экструдера и перенастраивать агрегат на различные типы перерабатываемых композиций, включая материалы, отличающиеся высокой вязкостью (например, непластифицированный поливинилхлорид). Однако конструктивные решения, приводящие к увеличению смесительного эффекта экструдеров (осевое возвратно-поступательное движение шнека и продольные пазы в нарезке секций осциллирующего экструдера, валковые и боковые зазоры зацепления шнеков двухшнекового экструдера), способствуют возникновению интенсивного потока утечек материала, в результате чего повышается время пребывания материала в экструдере и развивается его термическая деструкция. С другой стороны, уменьшение времени пребывания приводит к снижению суммарной накопленной материалом деформации сдвига и к его структурной неоднородности. Поскольку автоматический контроль времени пребывания в промышленных экструдерах невозможен, и операторы принимают решения по управлению на основе субъективной визуальной оценки качества (цвета, внешнего вида) экструдата, исходя из собственного производственного опыта и экспериментально подобранного технологического регламента, увеличиваются доля брака и возвратных отходов, энергетические затраты, время перенастройки линии на новое задание. Поэтому для управления процессом экструзии в условиях гибкого производства актуальна разработка системы моделирования, позволяющей имитировать поведение процесса во времени, исследовать влияние режимных параметров на время пребывания и показатели качества полимерного материала, выбирать значения управляющих воздействий, которые обеспечивают требуемое качество экструдата для различных классов и конфигураций экструдеров и типов материалов.

Формализованное описание процесса экструзии.

Постановка задачи управления

Шнеки экструдеров, используемых в производствах пленочных, листовых и плитовых полимерных материалов, состоят из секций, набираемых из элементов одного типа. Основными типами элементов являются [1]:

- в одношнековом экструдере E_1 – элемент с непрерывной одно- или двухзаходной нарезкой TE , используемый во всех функциональных зонах (питание, плавление, смешение);
- в осциллирующем экструдере E_2 – транспортный элемент с непрерывной однозаходной нарезкой SC (зона транспортировки твердого материала), смесительный элемент с прерывистой двухзаходной нарезкой KE (зоны плавления и смешения расплава), транспортный элемент с прерывистой однозаходной нарез-

кой EZ (зоны плавления и транспортировки расплава);

- в двухшнековом экструдере E_3 – транспортный элемент SC (зона транспортировки твердого материала), смесительный элемент с непрерывной нарезкой ME (зоны плавления и смешения).

Степень заполнения винтовых каналов и время пребывания материала в экструдере зависят от частоты вращения шнека загрузочного устройства N_h , определяющей производительность по сырью (скорость подачи питания), и частоты вращения шнека экструдера N , определяющей скорость деформации сдвига материала и производительность по экструдату. Температура обогрева корпуса экструдера T_b определяет температуру экструдата, так как в экструдерах, шнеки которых имеют глубокие каналы, тепло, передаваемое от корпуса, вносит больший вклад в нагрев материала, чем тепло, генерируемое в материале в результате работы сил вязкого трения.

Для оценки качества экструдата используются средняя степень смешения, рассчитываемая как среднемаховая деформация сдвига, накопленная материалом за время пребывания в экструдере

$$\bar{\gamma} = \bar{\tau} \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot N}{H}, \quad (1)$$

и индекс термической деструкции, определяемый по аналогии со степенью вулканизации резиновых материалов как отображение зависимости степени деструкции от времени при произвольном температурно-временном режиме в экструдере на зависимость, экспериментально полученную для данного типа полимерного материала при изотермических условиях

$$I_d = \frac{\bar{\tau}}{\tau_d} \cdot \exp \left[\frac{E_d \cdot (T_b - T_d)}{R \cdot (T_b + 273) \cdot (T_d + 273)} \right] \cdot 100. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) использованы следующие обозначения: $\bar{\tau}$ – среднее время пребывания, с; D, H – диаметр и глубина канала шнека экструдера, м; τ_d, T_d – время (с) и температура ($^{\circ}\text{C}$) необратимого изменения цвета материала в термостате, вызванного деструкцией; E_d – энергия активации процесса деструкции, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Таким образом, процесс экструзии полимерных материалов как объект имитационного моделирования и управления характеризуется векторами входных параметров X , управляющих воздействий U и выходных параметров Y :

$$Y = F(X, U), \quad Y = \{\bar{\gamma}, I_d\}, \\ X = \{E, C_{scr}, \Gamma_{extruder}, T_{polymer}, K_{destruct}, Q_0, R_{extrudate}\}, \\ U = \{N_h, N, T_b\},$$

где $E = \{E_i, i = \overline{1,3}\}$ – класс экструдера; $C_{scr} = \{T_e^j, j = \overline{1, N_e}\}$ – конфигурация шнека экструдера; T_e^j – тип j -го элемента шнека ($T_e^j = TE$, если $E = E_1$; $T_e^j = SC \vee KE \vee EZ$, если $E = E_2$; $T_e^j = SC \vee ME$, если $E = E_3$); N_e – число элементов шнека; $\Gamma_{extruder} = \{D, H^j, \varphi^j, j = \overline{1, N_e}\}$ – вектор геометрических параметров экструдера; $T_{polymer} = \{ПВХ, ПП, ПЭ, ПС\}$ – тип полимерного материала (ПВХ – поливинилхлорид, ПП – полипропилен, ПЭ –

полиэтилен, ПС – полистирол); $K_{destruct} = \{E_d, T_d, \tau_d\}$ – характеристики термической деструкции полимерного материала; Q_0 – производительность экструдера, кг/с; $R_{extrudate} = \{\gamma^{min}, I_d^{max}\}$ – вектор предельных значений показателей качества.

Задача управления процессом экструзии заключается в определении значений частоты вращения шнека загрузочного устройства $N_h^0 \in [N_h^{min}, N_h^{max}]$, частоты вращения шнека экструдера $N^0 \in [N^{min}, N^{max}]$ и температуры корпуса экструдера $T_b^0 \in [T_b^{min}, T_b^{max}]$, которые обеспечивают требуемые показатели качества экструдата

$$\bar{\gamma}(X, N_h^0, N^0, T_b^0) \geq \gamma^{min}, I_d(X, N_h^0, N^0, T_b^0) \leq I_d^{max} \quad (3)$$

для заданного класса экструдера E , конфигурации шнека экструдера C_{scr} , типа полимерного материала $T_{polymer}$ и производительности экструдера Q_0 .

Здесь $N_h^{min}, N_h^{max}, N^{min}, N^{max}, T_b^{min}, T_b^{max}$ – регламентные диапазоны управляющих воздействий, зависящие от класса экструдера и типа полимерного материала.

Выполнение ограничений (3) обеспечивает пригодность экструдата к использованию (например, формованию на каландре), отсутствие термических дефектов и равномерную цветовую окраску всего объема экструдата.

Для расчета показателей качества экструдата необходимо определить среднее время пребывания материала в экструдере. Вычисление среднего времени пребывания как отношения объема канала шнека, заполненного полимерным материалом, к объемному расходу основного потока материала через канал дает слишком грубую, неприемлемую для управления оценку, так как не учитывает наличие противотока (потока утечки), направленного в сторону загрузочного устройства. Экспериментальный метод оценки времени пребывания, заключающийся в импульсном введении трассера в экструдер, отборе проб экструдата и измерении содержания в них трассера, отличается большой трудоемкостью и может быть использован только в лабораторных исследованиях. Он не позволяет получать непрерывную информацию о распределении времени пребывания частиц полимерного материала, которая необходима для управления промышленными экструдерами, имеющими переменную модульную конфигурацию и перерабатывающими различные типы полимерных материалов. В литературе описаны математические модели (ММ) для оценки времени пребывания в экструдерах различных классов [2, 3]. Для описания структуры гидродинамики потоков в двухшнековых экструдерах используются однопараметрическая диффузионная модель, ячеечная модель с обратными потоками, дополненная моделью идеального вытеснения в зоне питания, модифицированная ячеечная модель, в которой каждый из шнеков представляется в виде совокупности ячеек идеального смешения, связанных между собой прямыми потоками, описывающими поступательное течение, и обратными потоками. Для

расчета осциллирующих экструдеров предложена комбинированная модель, представляющая собой сочетание типовых гидродинамических моделей отдельных секций шнека стандартной конфигурации, охваченных обратными потоками. Представленные модели не настраиваются на изменения конфигурации и геометрических параметров шнека. Поэтому необходимы физически обоснованные имитационные ММ, позволяющие описать сложную структуру гидродинамики потоков в экструдерах и рассчитать распределение элементов потока по их времени пребывания для различных конфигураций и режимов функционирования экструдеров, типов перерабатываемых материалов.

Функциональная структура системы моделирования

Для решения задачи управления процессом экструзии с учетом перехода производства на новую конфигурацию экструдера, тип полимерного материала, производительность, требования к качеству экструдата на основе формализованного описания разработана проблемно-ориентированная система имитационного моделирования экструдеров различных классов. Функциональная структура системы построена в соответствии с методикой синтеза систем имитационного моделирования гибких химико-технологических процессов, представленной в работе [4]. Система включает информационное обеспечение, содержащее БД: экструдеров, полимерных материалов, технологических регламентов экструзии, показателей качества; математическое обеспечение, содержащее библиотеки ММ секций экструдеров и коэффициентов моделей, модули синтеза имитационной модели экструдера, проведения на ней вычислительных экспериментов и формирования результатов моделирования, интерфейсы исследователя и администратора баз данных.

БД экструдеров содержит геометрические параметры типовых элементов шнеков 6 одношнековых, 5 осциллирующих и 5 двухшнековых экструдеров различных диаметров, используемых в производствах полимерных пленок, листов и пеноплит. В БД полимерных материалов хранятся значения характеристик термической деструкции 4 типов полимеров. БД технологических регламентов содержит диапазоны управляющих воздействий на экструдеры (частот вращения загрузочного и основного шнека, температуры корпуса) $U^{min} = \{N_h^{min}, N^{min}, T_b^{min}\}$, $U^{max} = \{N_h^{max}, N^{max}, T_b^{max}\}$. БД показателей качества содержит предельные значения средней степени смешения и индекса термической деструкции экструдата, получаемые в результате лабораторных исследований образцов экструдата из различных типов полимеров. БД позволяют настроить систему моделирования на исследование гидродинамики и расчет показателей качества полимерного материала данного типа в экструдере заданного исследователем класса и конфигурации. Для построения БД использована реляционная модель. БД реализованы в СУБД Access 2003.

Интерфейсы системы моделирования обеспечивают обмен данными между пользователями (исследователем, администратором) и системой. Интерфейс исследователя позволяет выбрать класс моделируемого экструдера (одношнековый, осциллирующий или двухшнековый), задать диаметр шнека и собрать конфигурацию шнека из типовых для выбранного экструдера элементов с использованием БД экструдеров, из которой передается множество типов элементов и их геометрических моделей $G_e = \{T_e, M_e\}$. Сборка конфигурации осуществляется путем соединения моделей элементов M_e на экране монитора средствами графики. Используя интерфейс, исследователь выбирает из БД полимеров тип перерабатываемого материала, вводит требуемую производительность экструдера и задает величину C_0 и продолжительность τ_0 импульсного возмущения на входе модели экструдера. По конфигурации шнека экструдера с использованием библиотеки моделей типовых секций осуществляется синтез структуры комбинированной модели экструдера, которая представляет собой сочетание типовых гидродинамических моделей, усложненных элементами (рециклами), описывающими обратное осевое перемешивание материала, вызванное потоком утечки. В одношнековом экструдере утечка происходит через радиальный зазор между корпусом и шнеком, в осциллирующем экструдере — через осевые пазы в нарезке шнека, в двухшнековом экструдере — через зазоры зацепления шнеков. В процессе синтеза осуществляется замена секции экструдера, состоящей из элементов одного типа, на соответствующую типовую гидродинамическую модель и формирование прямых и обратных потоков для связи между типовыми модулями [5]. В зависимости от конструктивно-технологических характеристик экструдера и типа полимерного материала в синтезированной ММ настраиваются эмпирические коэффициенты балансовых уравнений, значения которых передаются из библиотеки коэффициентов моделей. В БД технологических регламентов осуществляется поиск диапазонов управляющих воздействий для заданного типа экструдера и полимерного материала, которые передаются в модуль проведения вычислительных экспериментов. По ММ в модуле проведения вычислительных экспериментов происходит имитация гидродинамических процессов, протекающих в экструдере с течением времени при подаче на вход импульсного возмущения по составу потока. В каждой секции канала шнека и на выходе из экструдера рассчитывается функция распределения времени пребывания (ФРВП) частиц полимерного материала. Для этого численными методами решается система дифференциальных уравнений материального баланса экструдера по потокам и трассеру, сформированная на основе моделей секций. По ФРВП методом кусочно-линейной аппроксимации оценивается среднее время пребывания материала в экструдере. По времени пребывания с использованием формул (1) и (2) вычисляются средняя степень смешения и индекс термической деструкции экструдата. Расчет ФРВП, времени пребывания и пока-

зателей качества экструдата осуществляется при варьировании управляющих воздействий в регламентных диапазонах. Рассчитанные значения передаются в модуль формирования результатов имитационного моделирования, в котором происходит построение графиков ФРВП в секциях канала и на выходе экструдера для детального исследования влияния переменной геометрии канала на структуру гидродинамики потоков в экструдере. Результаты расчета показателей качества формируются в виде таблиц значений и 3D графиков зависимости степени смешения и индекса деструкции от управляющих воздействий с отображением на них предельных значений показателей качества. Анализируя поверхности отклика выходных параметров, исследователь выбирает в регламентных диапазонах такие значения частоты вращения загрузочного и основного шнеков N_h^0, N^0 и температуры корпуса T_b^0 экструдера, которые обеспечивают требуемое качество экструдата.

Предложенная система моделирования удовлетворяет требованиям по гибкости, связанной с возможностью имитационного моделирования экструдеров различных классов и конфигураций и настраиваемостью на типы полимерных материалов и производительность, синтезу имитационных моделей из типовых динамических моделей, хранимых в библиотеке, графическому представлению результатов имитационного моделирования.

Библиотека ММ типовых секций экструдеров

Результаты экспериментальных исследований структуры гидродинамики потоков в экструдерах различных классов, выполненных с использованием радиоактивных и металлических трассеров, показали, что течение полимерного материала в экструдере происходит в режиме, отличным от двух предельных состояний: идеального смешения и идеального вытеснения [2, 3]. Поэтому ядром предложенной системы является библиотека типовых гидродинамических моделей, описывающих течение в отдельных секциях экструдеров с учетом утечки материала, на основе которых осуществляется синтез полной модели экструдера для оценки времени пребывания. Для описания гидродинамики секций зоны транспортировки твердого материала, состоящих из элементов с непрерывной однозаходной нарезкой (TE, SC), используется модель идеального вытеснения, охваченная рециклом. Средняя линейная скорость материала в этих секциях рассчитывается в зависимости от класса экструдера по формулам, приведенным в работе [5]. Гидродинамика секций, составленных из смесительных элементов (KE) осциллирующих экструдеров и смесительных элементов с непрерывной двухзаходной нарезкой (ME) двухшнековых экструдеров, описывается моделью идеального смешения с рециклом. Для описания гидродинамики секций зоны плавления и транспортировки расплава осциллирующих экструдеров, набранных из транспортных элементов (EZ), применяется ячеичная модель, охваченная рециклом. Решение уравнений материального баланса секций, описываемых моде-

лями идеального вытеснения, осуществляется методом конечных разностей с использованием явной схемы Лакса-Вендроффа второго порядка точности и условия устойчивости Куранта. Для решения балансовых уравнений модели идеального смешения и ячейочной модели используется метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности с автоматическим поиском устойчивого шага по времени. Пример структурной схемы синтезированной модели динамики осциллирующего экструдера со шнеком стандартной конфигурации, составленным из *SC*-элементов в зоне транспортировки твердого материала, чередующихся секций *KE*- и *EZ*-элементов в зонах плавления и транспортировки и смешения расплава [3], представлен на рис. 1 (Q_u – расход утечки, C_i – концентрация трассера).

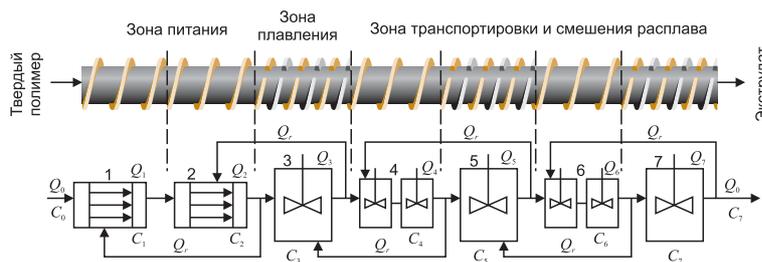


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели осциллирующего экструдера

Проверка адекватности ММ выполнена путем сравнения измеренных и рассчитанных значений ФРВП и среднего времени пребывания для экструдеров различных классов (одношнековых, осциллирующих и двухшнековых с однонаправленным вращением шнеков) и конфигураций и разных типов поли-

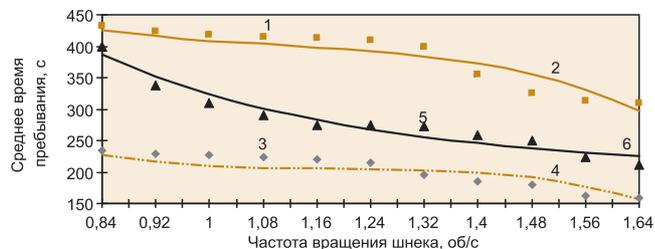


Рис. 2. Зависимость времени пребывания ПВХ в экструдерах от частоты вращения шнека
Осциллирующий экструдер ($D = 0,046$ м):
1 – эксперимент, 2 – расчет ($Q_0 = 1,1 \cdot 10^{-3}$ кг/с); 3 – эксперимент, 4 – расчет ($Q_0 = 2,2 \cdot 10^{-3}$ кг/с). Двухшнековый экструдер ($D = 0,05$ м):
5 – эксперимент, 6 – расчет ($Q_0 = 1,1 \cdot 10^{-3}$ кг/с)

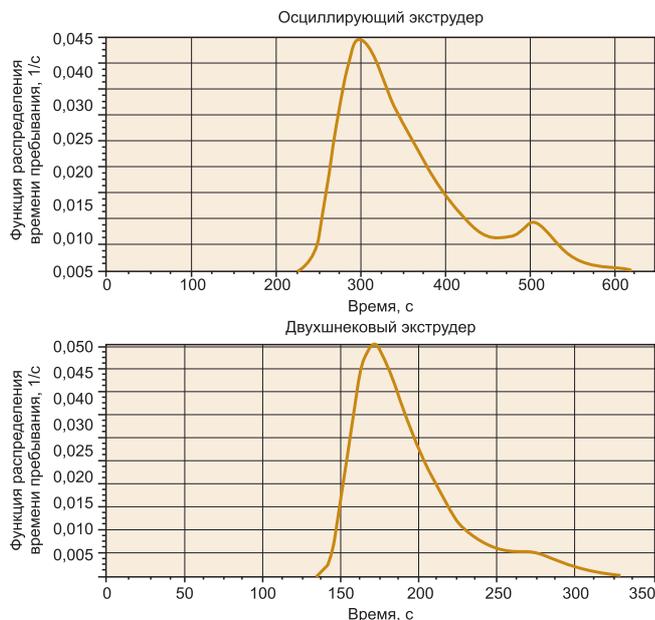


Рис. 3. Функции распределения времени пребывания ПП в экструдерах различных классов

мерных материалов (ПВХ, ПП, ПС). Адекватность подтверждена по критерию Фишера и среднеквадратической относительной погрешности расчета времени пребывания, которая не превышает 10 %. Результаты моделирования представлены на рис. 2 и 3.

Из рис. 2 видно, что среднее время пребывания уменьшается как с ростом частоты вращения шнека экструдера N , так и при увеличении расхода материала Q_0 , причем более сильное влияние на время пребывания оказывает изменение расхода. ФРВП в экструдерах являются бимодальными и характеризуются явной правосторонней асимметрией (рис. 3), что объясняется наличием потока утечки. Второй экстремум ФРВП осциллирующего экструдера выражен более четко по сравнению с ФРВП двухшнекового экструдера, так как утечка

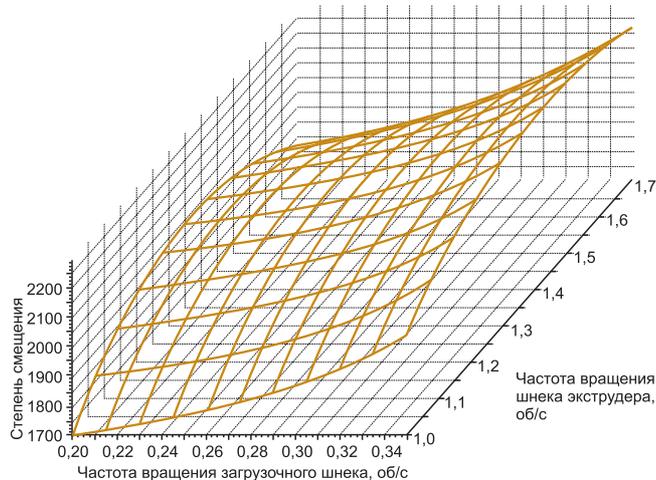
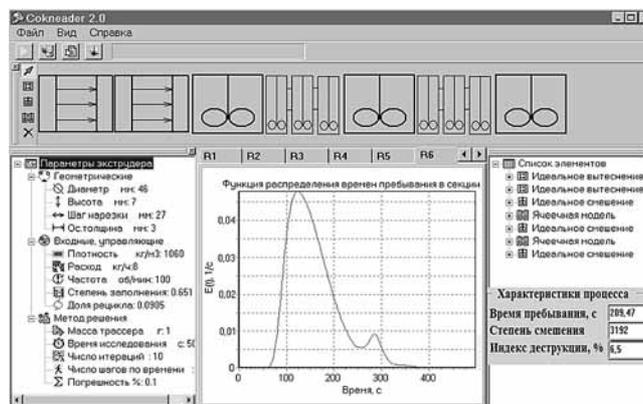


Рис. 4. Графический интерфейс для исследования процесса экструзии

материала в осциллирующем экструдере, вызванная возвратно-поступательным движением шнека, является более интенсивной, что подтверждается данными исследований [2, 3]. Поэтому среднее время пребывания и степень смешения материала в осциллирующем экструдере больше (в 1,5...2 раза), чем в двухшнековом.

ПО системы реализовано в среде Visual Studio 2005. Межпрограммный интерфейс, предназначенный для интеграции модулей моделирования и БД, реализован по технологии ADO.

На рис. 4 представлен пример интерфейса исследователя с исходными данными (структурной схемой синтезированной модели экструдера, значениями геометрических параметров, управляющих воздействий, коэффициентов модели) и результатами моделирования (графиком ФРВП, значениями среднего времени пребывания и показателей качества экструдата, 3D графиком зависимости индекса деструкции от управляющих воздействий).

Исследователю выдаются таблицы и графики ФРВП каждой секции и экструдера, значение времени пребывания, таблицы и графики зависимостей показателей качества от управляющих воздействий в регламентных диапазонах. Поэтому исследователь может провести анализ влияния конфигурации шнека и каналов управления на процессы в экструдере и качество материала для разных классов экструдеров и типов полимеров.

Заключение

Разработана гибкая система имитационного моделирования экструзионных процессов, которая позволяет на базе библиотеки ММ гидродинамики типовых секций экструдеров различных классов синтезировать

Чистякова Тамара Балабековна — д-р техн. наук, проф., заведующая кафедрой, проректор по учебной работе, Полосин Андрей Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и управления С.-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

Контактный телефон (812) 494-93-70. E-mail: sapr@ws01.sapr.pu.ru

АСУТП Exregion компании Honeywell обеспечит безопасную и эффективную эксплуатацию самого длинного газопровода в мире

Корпорация Honeywell выбрана в качестве поставщика систем управления и противоаварийной защиты для самого длинного газопровода в мире. Трубопровод "Запад-Восток-2" протяженностью 8704 км — второй из двух магистральных трубопроводов, сооружаемых для транспортировки топлива из богатого энергоресурсами западного Китая в восточные регионы страны. Корпорация PetroChina — крупнейшая нефтедобывающая компания Китая, являющаяся оператором трубопровода, — выбрала для управления эксплуатацией трубопровода и предотвращения опасных инцидентов АСУТП Exregion Process Knowledge System (PKS) и систему безопасности Safety Manager компании Honeywell.

Новый трубопровод проходит через 14 провинций, автономных регионов и муниципальных образований Китая; ежегодно по нему будет перекачиваться около 23 млрд. м³ природного газа. Трубопровод сыграет критически важную роль в переходе страны — второго по

динамическую модель экструдера заданной конфигурации для расчета времени пребывания и показателей качества экструдата (степени смешения, индекса деструкции) в зависимости от режимных параметров процесса и характеристик полимерного материала. Результаты тестирования системы подтвердили ее работоспособность и возможность использования для решения задач выбора управляющих воздействий на экструдер, обеспечивающих требуемое качество экструдата, исследования гидродинамики одношнековых, осциллирующих и двухшнековых экструдеров с целью формирования рекомендаций по синтезу конфигураций шнеков экструзионных агрегатов при перенастройке производства на новые типы полимерных материалов.

Список литературы

1. *Раувендааль К.* Экструзия полимеров. СПб.: Профессия, 2008.
2. *Puaux J.P., Bozga G., Ainsler A.* Residence time distribution in a co-rotating twin-screw extruder // *Chemical Engineering Science*. 2000. Vol. 55, № 9.
3. *Hoppe S., Detrez C., Pla F.* Modeling of a cokneader for the manufacturing of composite materials having absorbent properties at ultra-high-frequency waves. Part 1 // *Polymer Engineering and Science*. 2002. Vol. 42, № 4.
4. *Чистякова Т.Б., Шляго Ю.И., Новожилова И.В.* Система имитационного моделирования тренажерного комплекса для управления гибкими сорбционно-каталитическими производствами // *Автоматизация в промышленности*. 2010. № 7.
5. *Полосин А.Н., Чистякова Т.Б.* Методика автоматизированного синтеза ММ для управления осциллирующими и двухшнековыми экструдерами в многоассортиментных производствах полимерных материалов // *Системы управления и информационные технологии*. 2009. № 4.1.

величине потребителя энергии в мире, уступающего только США, — с угольного топлива на природный газ. Согласно прогнозам каждый год транспортируемый по трубопроводу газ будет заменять собой 76,8 млн. тонн угля, что снизит выбросы двуокиси серы на 1,44 млн. тонн, а выбросы углекислого газа на 130 млн. тонн.

PetroChina будет использовать АСУТП Exregion в качестве основной программной платформы интеграции и управления на 73 диспетчерских станциях трубопровода. В частности, система Exregion будет интегрировать подсистемы обработки аварийных сигналов и событий, чтобы операторы трубопровода имели полное представление о функционировании трубопровода. Интеграция в общий комплекс управления системы Safety Manager облегчит реализацию мер по обеспечению безопасности, таких как аварийные отключения, защита оборудования, пожарная и газовая сигнализация и управление в критических условиях.

[Http://www.honeywell.com](http://www.honeywell.com)