



## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОС РВ

Р.В. Антипин, Т.Б. Чистякова (СПбГТИ(ТУ))

Предложено решение актуальной задачи синтеза автоматизированных систем исследования качества новых видов полимерных пленок для гибких многоассортиментных производств. Описываются разработанные методы, алгоритмы и программно-аппаратные комплексы, используемые для построения системы.

В условиях интенсивно развивающихся гибких многоассортиментных производств актуальной является разработка интегрированных с промышленным производством автоматизированных систем исследования полимерных пленочных материалов. Преимуществом таких систем является использование базового промышленного сырья, систем утилизации и переработки отходов результатов исследования. Однако разработка таких систем исследования требует создания надежных методов и алгоритмов обработки информации в РВ, а также эргономичных, интеллектуальных интерфейсов, помогающих исследователю принимать решения по выработке новых рецептов получения востребованных рынком полимерных пленочных материалов. Таким образом, актуальным направлением является разработка программных комплексов, позволяющих на базе современных компьютерных технологий автоматизации оперативно проводить исследования новых рецептов полимерных пленочных материалов и внедрять их в производство.

### Структура автоматизированной системы исследования качества

Для решения задачи разработана структура, состав, программный комплекс интегрированной автоматизированной системы исследования полимерных пленочных материалов. Функциональная структура системы представлена на рис. 1.

Формализованное описание интегрированной автоматизированной системы исследования качества может быть представлено в виде следующих векторов:  $Z_e$  – вектор входных параметров системы исследования качества полимерной пленки =  $\{P$  – тип полимерной пленки,  $K_e$  – предварительный компонентный состав,  $Q_z$  – требования по качеству полимерной пленки};  $R_n$  – вектор начальной конфигурации лабораторно-исследовательской линии =  $\{D_n$  – начальная

конфигурация оборудования,  $T_n$  – начальные значения режимных параметров};  $U$  – вектор заданий для каландровой линии =  $\{D$  – конфигурация оборудования,  $T$  – рекомендуемые режимные параметры};  $X_k$  – вектор параметров лабораторно-исследовательской каландровой линии =  $\{T_k$  – значения текущих технологических параметров};  $X_v$  – вектор контроля дефектов =  $\{Q_c$  – данные с камеры,  $Q_v$  – данные визуального контроля};  $Y_d$  – вектор дефектов пленки =  $\{Q_d$  – оценка дефектов};  $R_q$  – вектор рекомендаций по расчетам математических моделей =  $\{T_q$  – рекомендуемые значения режимных параметров};  $R_d$  – вектор рекомендаций в нестандартных ситуациях =  $\{T_d$  – рекомендуемые направления изменения режимных параметров};  $Y_r$  – вектор параметров проведения исследования =  $\{T_r$  – значения режимных параметров,  $D_r$  – конфигурация оборудования};  $X_l$  – вектор параметров лабораторных измерений =  $\{Q_l$  – результаты

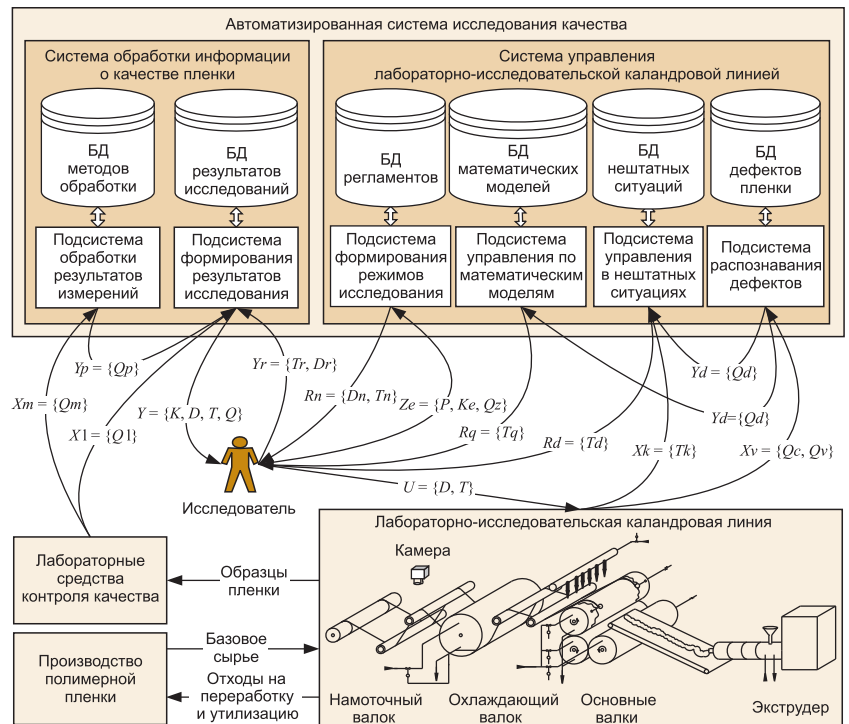


Рис. 1. Функциональная структура интегрированной автоматизированной системы исследования качества полимерной пленки

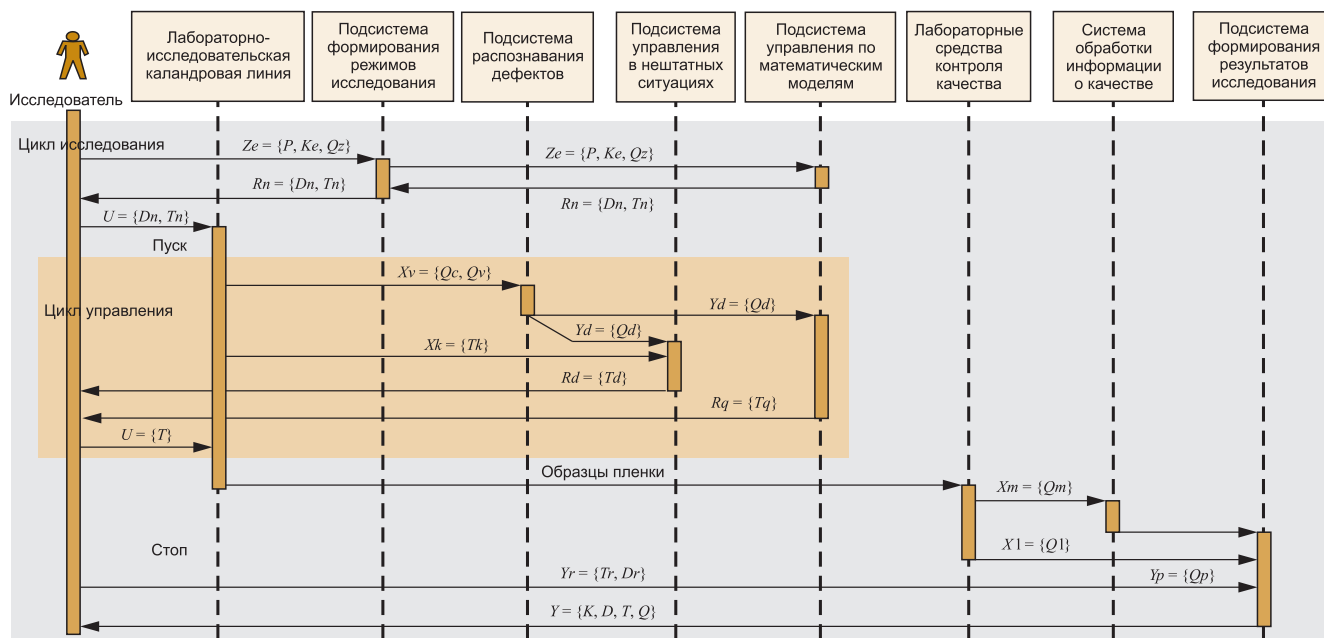


Рис. 2. Последовательность выполнения процедур обработки информации и управления автоматизированной системой исследования качества полимерной пленки

измерений характеристик пленки};  $X_m$  – вектор образцов пленки =  $\{Q_m$  – подготовленные образцы для исследования качества пленки};  $Y_p$  – вектор результатов исследования образцов пленки =  $\{Q_p$  – показатели качества пленки};  $Y$  – вектор результатов исследования =  $\{K$  – компонентный состав,  $D$  – конфигурация оборудования,  $T$  – режимные параметры,  $Q$  – показатели качества}. На основе предложенного формализованного описания была сформулирована задача синтеза автоматизированной системы исследования качества полимерной пленки, заключающаяся в разработке методов и алгоритмов построения системы для проведения исследований. В результате исследований формируются значения режимных параметров производства ( $T$ ) в виде советов ( $Y$ ), конфигурация оборудования ( $D$ ), компонентный состав ( $K$ ) и показатели качества ( $Q$ ) для заданного исследователем типа полимерных пленочных материалов ( $P$ ), предварительного состава сырья ( $Ke$ ) и требования по качеству пленки ( $Qz$ ).

Системный анализ объекта исследования и сформулированная задача исследования позволили обосновать структуру системы, состоящую из двух основных систем: управления лабораторно-исследовательской каландровой линией и обработки информации о качестве пленки.

Задача функционирования системы управления лабораторно-исследовательской каландровой линией заключается в определении таких рекомендаций по режимным параметрам ( $T$ ), которые бы позволяли получать пленку требуемого качества ( $Qz$ ) для различных компонентных составов ( $Ke$ ) при соблюдении допустимых ограничений на технологические параметры ( $Tk$ ). Система обеспечивает управление ТП как в нестандартных ситуациях, так и при оптималь-

ном управлении по математическим моделям стадий процесса каландрования.

Задача системы обработки информации о качестве пленки заключается в расчете показателей качества полимерной пленки ( $Q$ ) при обработке лабораторных измерений характеристик качества ( $Q1$ ), образцов пленки ( $Qm$ ) и определение таких рекомендаций по изменению компонентного состава ( $K$ ), при котором бы удовлетворялись требования по качеству полимерной пленки ( $Qz$ ).

Последовательность выполнения процедур обработки информации и управления автоматизированной системой исследования качества полимерной пленки представлена на рис. 2.

### Система управления лабораторно-исследовательской каландровой линией

В условиях исследования новых видов компонентных составов полимерных пленок, для которых отсутствуют режимные параметры, позволяющие получить пленку требуемого качества, исследователь нуждается в надежных системах обработки информации о качестве и поддержки принятия решения. В связи с этим важное значение приобретает гарантия необходимого времени реакции системы управления на внешние события. Для обеспечения надежной работы системы управления лабораторно-исследовательской каландровой линией в темпе ТП необходимо использование в качестве системного ПО ОС РВ. В работе используется QNX 6.3.0, гарантирующая необходимое время реакции на изменения в ТП.

Важнейшими показателями качества полимерной пленки являются: отсутствие дефектов на ее поверхности – черных точек, деструкционных (коричневых) полос, включений нерасплавленного полимера и мо-

дификатора, трещин (лопнувших воздушных пузырей) – и равномерное распределение свойств. Распознавание дефектов и определение их числа осуществляется с помощью специальной промышленной камеры. Камера позволяет распознавать следующие виды дефектов: темные ошибки (черные точки, включения, воздушные пузыри уменьшающие яркость источника), дырки (увеличивающие яркость регистрируемого источника) [2]. Используется камера LIXUS-i 5150, позволяющая распознавать дефекты площадью до 0,5 мм<sup>2</sup> при производительности до 150 м/мин. Такой уровень точности измерения дефектов пленки позволяет получать пленку требуемого качества для лабораторных исследований. Для решения задач системы управления созданы следующие подсистемы: формирования режимов исследования, управления по математическим моделям, управления в нестандартных ситуациях, распознавания дефектов.

Подсистема формирования режимов исследования задает начальную конфигурацию оборудования ( $Dn$ ) и режимные параметры ( $Tn$ ) по заданному исследователем типу полимерной пленки ( $P$ ), предварительному компонентному составу ( $Ke$ ) и требованиям по качеству полимерной пленки ( $Qz$ ). Для задания начальной конфигурации и сохранения лучших режимных параметров используется БД регламентов. В случае отсутствия режимных параметров в БД регламентов исследователь рассчитывает начальные значения регламентов с использованием подсистемы управления по математическим моделям.

После запуска каландровой линии подсистема распознавания дефектов определяет наличие дефектов ( $Qd$ ) и его тип по данным, полученным с камеры ( $Qc$ ), и данным визуального контроля ( $Qv$ ). В случае обнаружения деструкции или недостаточного проплавления экструдата, превышения допустимого числа темных или белых ошибок запускается подсистема управления в нестандартных ситуациях.

Подсистема управления в нестандартных ситуациях анализирует тип дефектов, их число ( $Qd$ ) и отклонения технологических параметров ( $Tk$ ) от допустимых значений и выдает исследователю рекомендации по устранению нестандартной ситуации. База данных содержит 26 нестандартных ситуаций, 45 причин и 26 рекомендаций по устранению нестандартных ситуаций. Рекомендации имеют вид качественной оценки, для количественной оценки используется подсистема управления по математическим моделям.

Подсистема управления по математическим моделям выдает рекомендации исследователю по изменению режимных параметров ( $Tq$ ) на основании значений показателей качества пленки ( $Qd$ ), технологических параметров ( $Tk$ ) и расчетов по математическим моделям. Подсистема содержит библиотеку математических моделей стадий процесса каландрования, является расширяемой и позволяет добавлять новые модели. Дефекты полимерной пленки в значительной степени определяются композиционной

(структурной) и температурной однородностью пластиката, подаваемого из головки экструдера в первый межвалковый зазор каландра. Поэтому была разработана математическая модель и алгоритм, позволяющие находить такие режимные параметры работы экструдера ( $Tq$ ), при которых достигается требуемое качество экструдата для заданного компонентного состава ( $Ke$ ) и конфигурации оборудования ( $Dn$ ).

Качество экструдата и эффективность работы экструдера оцениваются по следующим показателям: средней степени смешения полимерного материала  $\gamma$ , индексу термической деструкции  $I_d$  и удельному энергопотреблению экструдера  $E$ :

$$\gamma = \frac{\tau}{Z} \cdot \int_1^Z \left( \frac{1}{H} \cdot \int_0^H \sqrt{\dot{\gamma}_{xy}^2 + \dot{\gamma}_{zy}^2} dy \right) dz, \quad (1)$$

$$I_d = 100 \cdot \frac{\tau}{\tau_{eq}} \cdot e^{\left[ \frac{E_d \cdot (T_k - T_{eq})}{R \cdot T_k \cdot T_{eq}} \right]}, \quad (2)$$

$$W_k = C_p \cdot \rho \cdot Q \cdot (T_k - T_0), \quad E = \frac{W_p}{\tau \cdot Q \cdot \rho}, \quad (3)$$

где  $\tau$  – среднее время пребывания полимерного материала, с;  $Z$ ,  $H$  – ширина, глубина канала нарезки шнека, м;  $\dot{\gamma}_{xy}$ ,  $\dot{\gamma}_{zy}$  – деформации сдвига;  $C_p$ ,  $\rho$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К), плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  – объемный расход потока, м<sup>3</sup>/ч;  $E_d$  – энергия активации процесса термической деструкции, Дж;  $T_{eq}$  – температура эквивалентного режима процесса деструкции, К;  $T_k$  – температура пластиката на выходе экструдера, К;  $T_0$  – начальная температура пластиката, К;  $\tau_{eq}$  – заданное эквивалентное время процесса деструкции.

Все значения, необходимые для расчета показателей качества (1) – (3), кроме среднего времени пребывания и температуры экструдата, являются свойствами материала, определяются геометрическими характеристиками экструдера или технологическим регламентом. Для расчета среднего времени пребывания полимерного материала в экструдере и температуры экструдата используются математические модели структуры потоков в экструдере и теплового баланса. Математические модели структуры потоков и теплового баланса были разработаны для одношнекового осциллирующего экструдера. Данный тип экструдеров широко применяется в промышленности и является наиболее сложным для оценки среднего времени пребывания и температуры экструдата.

Для осциллирующего экструдера расчет среднего времени пребывания как отношения объема канала шнека, заполненного полимерным материалом к объемному расходу основного потока полимера через канал, дает слишком грубую оценку, так как не учитывается наличие противотоков (потоков утечек), направленных в сторону загрузочного устройства. Поэтому разработана физически обоснованная математическая модель, которая позволяет описать сложную гидродинамическую структуру потоков в экстру-

дере и рассчитать распределение элементов потока по их времени пребывания [3].

Для расчета температуры экструдата разработана математическая модель, описывающая тепловой баланс в зоне дозирования одношнекового осциллирующего экструдера. Математическая модель состоит из уравнений: материального баланса по циркуляционному и поступательному потокам полимерного материала, баланса сил вязкого трения и давления в циркуляционном и поступательных потоках, реологии полимерного материала, теплового баланса. Расчет теплового баланса осуществляется методом моделирующих одномерных потоков [4].

Подсистема управления по математическим моделям позволяет путем варьирования значений режимных параметров (частоты вращения шнека ( $N$ ) и температуры корпуса экструдера ( $T$ )) рассчитывать показатели качества экструдата ( $Id$ ,  $E$ ,  $\gamma$ ). Исследователь по трехмерным изображениям функций  $Id(N, T)$ ,  $E(N, T)$ ,  $\gamma(N, T)$  выбирает такие значения режимных параметров  $N$  и  $T$ , которые соответствуют требованиям по качеству экструдата и производительности.

В результате работы системы управления исследователь получает образцы пленки заданного компонентного состава ( $Ke$ ) и требуемого качества ( $Qz$ ) для проведения лабораторных исследований с применением системы обработки информации о качестве пленки.

#### Система обработки информации о качестве полимерной пленки

Система обработки информации, используя БД методов обработки, данные лабораторных измерений, позволяет проводить исследования необходимых показателей качества пленки.

Кроме общих показателей качества, измеряемых лабораторными средствами исследования, существуют специальные показатели качества. Лабораторные средства исследования позволяют измерять следующие общие для всех пленок показатели: ударную вязкость  $\eta$ , относительное удлинение  $\epsilon$  и прочность при растяжении  $\sigma$ . В зависимости от области применения предъявляются специальные требования к качеству: для пленки под печать — это способность к восприятию краски (адгезия); для медицинской пленки — это высокая химическая стойкость, стойкость к проколам, надрезам; для упаковочной пленки — это прозрачность, стойкость к растяжению, царапинам, способность выдерживать высокие температуры и т.д.

Сложность обработки информации о качестве многоассортиментных полимерных пленочных материалов обусловлена тем, что большинство показателей качества измеряются с помощью специальных фото- и видеокамер, для которых необходима разработка специаль-

ных компьютерных методов обработки. Для решения задачи системы обработки информации созданы следующие подсистемы: обработки результатов измерений, формирования результатов исследования.

Подсистема обработки результатов измерений реализует методы и алгоритмы, позволяющие анализировать с помощью специальных видео- и фотокамер: адгезию пленки ( $Qp$ ), оптимальное количество стабилизатора ( $Qs$ ) в составе полимерного материала, стойкость пленки к царапинам ( $Qc$ ). Измерение адгезии осуществляется обработкой изображения видеок кадров образцов липкой ленты с остатками краски. Количество стабилизатора определяется обработкой фотоизображения образцов пленки по скорости и равномерности изменения цвета образцов после нагрева. Стойкость пленки к царапинам определяется по площади и ширине царапины, обработкой видеоизображения.

Результатами работы системы обработки информации о качестве полимерной пленки являются значения характеристик качества полимерной пленки ( $Q$ ) и рекомендации по возможному изменению первоначального компонентного состава ( $Ke$ ) для достижения требуемого качества ( $Qz$ ).

Таким образом, разработан единый программный комплекс, включающий методы и алгоритмы обработки информации о качестве пленки, математические модели для управления в РВ опытно-промышленной каландровой линией в процессе исследования, что позволяет исследователю формировать рецептуры производства новых типов полимерных пленок. Разработанное ПО протестировано на примере получения новых типов поливинилхлоридных и полиэтилентерефталатовых полимерных пленок на базе международного центра исследований и развития упаковочной пленки Клекнер Пентапласт Групп и Санкт-Петербургского государственного технологического института.

#### Список литературы

1. Колерт К., Воскресенский А.М., Красовский В.Н. Интенсификация процессов каландрования полимеров. М.: Химия, 1991.
2. Чистякова Т.Б., Полосин А.Н., Антипин Р.В. Алгоритм распознавания дефектов полимерной пленки // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-19. Труды XVIII Междунар. науч. конф. в 10 т. под общ. ред. В.С. Балакирева. Воронежский гос. технол. ун-т. 2006.
3. Чистякова Т.Б., Полосин А.Н., Антипин Р.В. Дистанционная система исследования и управления осциллирующим экструдером произвольной конфигурации // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-18. Сб. тр. XVIII Междунар. науч. конф. в 10 т. под общ. ред. В.С. Балакирева. Казань: Казанский гос. технол. ун-т. 2005. Т. 3.
4. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов). М.: Химия, 1977.

*Антипин Роман Васильевич — старший преподаватель, Чистякова Тамара Балабековна — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования и управления (САПР/У) Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета).*

*[Http://www.gti.spb.ru](http://www.gti.spb.ru)*