

УДК 621.315

А. В. Казаков, Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Н. М. Труфанова, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЭКСТРУЗИОННОГО НАЛОЖЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Приведены алгоритмы автоматизированного управления технологическим процессом экструзионного наложения многослойной изоляции и коррекции реологических свойств перерабатываемых полимеров по данным, получаемым непосредственно в ходе процесса.

Ключевые слова: управление, автоматизация, экструзия, наложение многослойной изоляции.

При производстве кабелей среднего и высокого напряжения как правило используется экструзионный метод нанесения электрической изоляции. При этом такие кабели имеют сложную структуру изоляции, которая состоит из нескольких слоев разнородных материалов. Значительное отличие в физико-реологических свойствах расплавов, применяемых при производстве полимеров, вызывает сложности на этапе совместного наложения нескольких изолирующих слоев на токопроводящую жилу.

Предлагаемый в статье алгоритм автоматизированного управления процессом совместного наложения нескольких слоев изоляции позволяет не только задавать оптимальный с точки зрения имеющегося оборудования и свойств перерабатываемых материалов режим, но и оперативно его корректировать, подстраивая весь процесс под реальные свойства материалов [1].

В данном режиме работы управляющий вычислительный комплекс (УВК) непосредственно взаимодействует с экструзионной линией и управляет ее работой на основе поступающих данных в реальном масштабе времени. Оператор УВК задает исходные данные, остальную информацию система получает самостоятельно с датчиков линии или опосредованно исходя из результатов расчета математической модели [2]. Рассмотрим функциональную схему автоматизированной системы управления (АСУ) процессом экструзии, представленную на рис. 1.

В момент пуска экструзионной линии по «информационным» векторам (пунктирные линии на рис. 1) УВК считывает необходимые данные о процессе (векторы $Z(t)$ и $X(t)$). На основании этих данных, а также руководствуясь заданными оператором параметрами и ограничениями, УВК формирует запрос к базе данных, находит и восстанавливает просчитанный ранее оптимальный режим экструзии. Параметры найденного режима дублируются на дисплей оператору. Затем УВК формирует вектор

управляющих воздействий $U(t)$, который воздействует на ОУ. Для возможности компенсации входящих в вектор входных параметров ОУ неконтролируемых возмущений предусмотрена петля обратной связи в виде «информационного» вектора $Y(t)$.

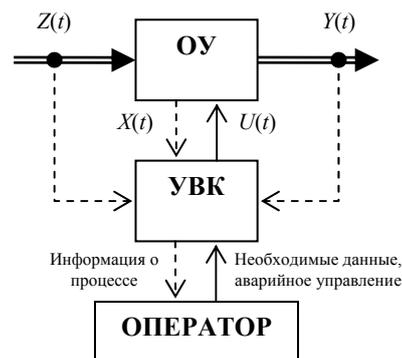


Рис. 1. Функциональная схема АСУ экструзии: ОУ – объект управления; УВК – управляющий вычислительный комплекс; $Z(t)$ – внешние возмущающие воздействия; $Y(t)$ – выходные параметры; $X(t)$ – собственные параметры; $U(t)$ – управляющие воздействия

Ядром системы является управляющее устройство (УУ), представляющее собой ЭВМ (рис. 2). Через устройство сопряжения (УС) к УУ подключаются различные информационные датчики (датчики температуры, расходов, скорости). УС необходимо для согласования интерфейсов промышленных датчиков и систем мониторинга с портами, используемыми в современных ЭВМ. УУ определяет необходимые управляющие воздействия и управляет различными исполнительными устройствами (ИУ) экструзионной линии (приводы экструдеров, приводы протяжки провода).

Рассмотрим алгоритм работы УВК в режиме непосредственного управления процессом экструзии (рис. 3).

После ввода оператором исходных данных о технологическом процессе АСУ обращается к базе дан-

ных технологических режимов, рассчитанных заранее, и по заданным параметрам ищет подходящий режим и соответствующие ему управляющие воздействия. Если такой режим в базе данных не обнаруживается, то система выдает оператору соответствующее предупреждение и переходит в режим расчета оптимальных параметров на основе численного решения модели процесса [2]. Если искомым технологический режим присутствует в базе данных, УВК запускает экструзионную линию с необходимыми управляющими воздействиями, восстановленными из базы данных. После выхода системы на стационарный режим АСУ начинает опрашивать датчики

D_1 – D_5 с заданной периодичностью. При этом контролируются следующие параметры процесса: результирующие толщины каждого слоя изоляции, давления на выходе экструдеров и линейная скорость движения жилы. Данные датчиков D_2 – D_5 должны находиться в некоторых заранее определенных оператором пределах. В случае невозможности автоматического поддержания на заданном уровне данного параметра система принимает решение об откате оборудования, выдает соответствующее предупреждение оператору и останавливает линию для возможности ее профилактического осмотра и устранения возможной неисправности.

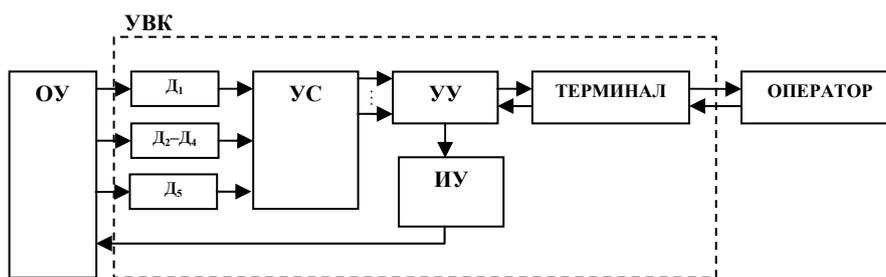


Рис. 2. Структурная схема АСУ экструзионной линии: ОУ – объект управления; УУ – устройство управления (ЭВМ); ИУ – исполнительное устройство; УВК – управляющий вычислительный комплекс; D_1 – датчик толщин каждого из слоев изоляции; D_2 – D_4 – датчики давления на выходах из экструдеров 1–3; D_5 – датчик линейной скорости движения жилы

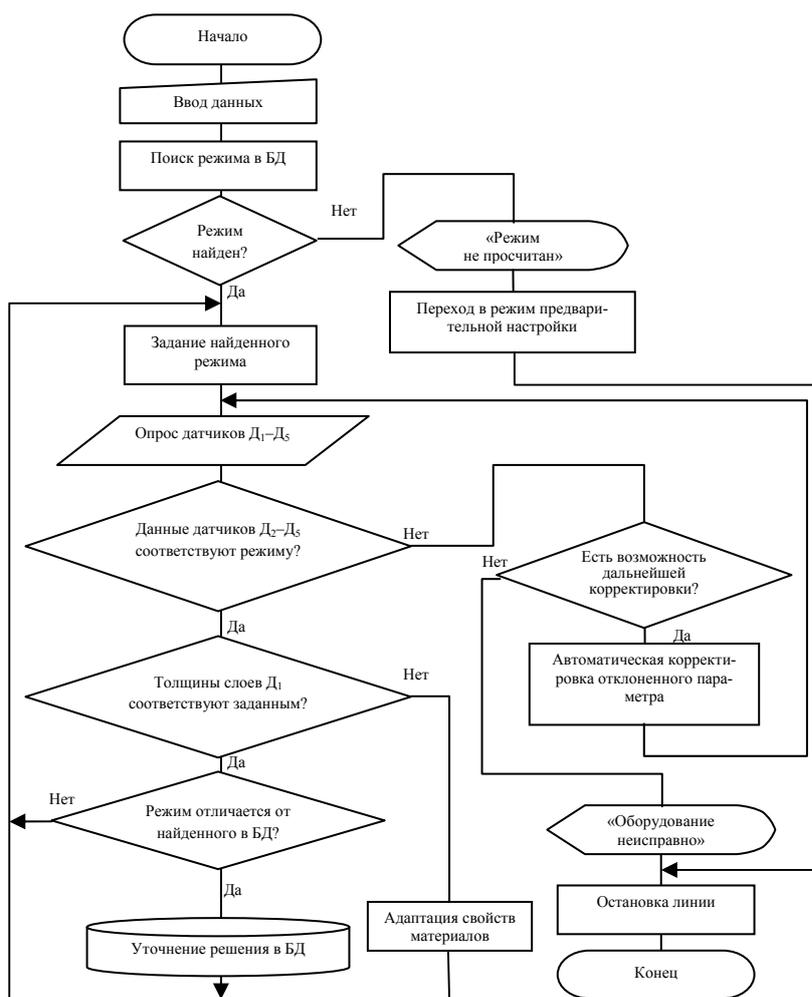


Рис. 3. Алгоритм работы УВК в режиме управления

Если показания датчиков D_2 – D_5 соответствуют заданному технологическому режиму, УВК приступает к анализу толщин накладываемых на жилу слоев материала. При этом в случае отклонения толщины какого-либо из слоев от заданного диапазона принимается решение о несоответствии фактических реологических свойств материала заданным оператором. Это может иметь место, так как зачастую партии полимеров одной марки обладают существенно различными реологическими свойствами. В этом случае УВК на основе заложенных заранее расходно-напорных характеристик для данной геометрии кабельной головки и поступающих данных о фактических толщинах накладываемых слоев материала и давлениях в каналах определяет реальные реологические свойства экструдруемых материалов и автоматически корректирует режим.

Процедура адаптации свойств материала [3] необходима для учета возможного отклонения свойств перерабатываемых полимеров.

Процедура адаптации состоит из нескольких этапов (рис. 4). На первом этапе снижается линейная скорость движения жилы, при этом по известным плотностям расплавов и необходимым толщинам слоев рассчитываются требуемые массовые расходы каждого из экструдеров для нового режима с меньшей линейной скоростью жилы. Чтобы перейти от расходов к давлениям, используется семейство заранее рассчитанных расходно-напорных характеристик кабельной головки. Поскольку на данном этапе реологические свойства материалов все еще неизвестны, толщины накладываемых слоев на выходе будут отличаться от требуемых. Снижение линейной скорости необходимо для сокращения количества кабеля с изоляцией ненормативной толщины, производимого во время изменения давления в каналах.

Второй этап процедуры адаптации заключается в расчете массового расхода для каждого из каналов (расчет производится исходя из линейной скорости движения жилы, фактических толщин накладываемых слоев и плотности материала для каждого слоя) и сопоставления полученного расхода для каждого из каналов и перепада давления в том же канале. Далее из расходно-напорных характеристик, заранее рассчитанных для широкого диапазона возможных начальных вязкостей (μ_0), подбирается такая кривая, которая максимально соответствует имеющимся на момент обнаружения несоответствия толщин накладываемых слоев параметрам технологического процесса.

На третьем этапе АСУ обращается к базе данных и ищет в ней новый технологический режим переработки материала с уточненной начальной вязкостью μ_0 . Если такой режим для уточненной μ_0 будет обнаружен, АСУ восстановит из него управляющие воз-

действия и сообщит об этом оператору. Данный этап нужен для возможного увеличения линейной скорости при переработке полимера с новыми уточненными свойствами, так как это позволяет оптимизировать производительность экструзионной линии.

Если необходимый режим переработки отсутствует в базе данных, АСУ переходит к четвертому этапу процедуры адаптации: по семейству кривых $\Delta T = f(V_{\text{л}}, \mu_0)$ оценивается перегрев для уточненной начальной вязкости и по необходимости определяется линейная скорость, при которой перегревы не превышают заданного значения. По скорректированной линейной скорости определяется необходимый массовый расход для наложения заданной толщины каждого слоя.

На пятом этапе по подобранной ранее расходно-напорной характеристике и по рассчитанным на предыдущем этапе массовым расходам определяются необходимые давления в каналах.

И на последнем этапе процедуры адаптации АСУ задает необходимые давления по каналам и ожидает выхода экструдеров на установленные режимы. Как только давление в каналах достигает заданных величин, АСУ повышает линейную скорость либо до первоначального уровня, либо (если на 4-м этапе происходила коррекция линейной скорости по перегревам) до скорректированного уровня. Полученный в итоге уточненный режим записывается в базу данных.

Продолжительность процедуры адаптации целиком определяется временем переходных процессов, связанных с выходом экструдеров на заданный режим (с созданием необходимого давления), так как время всех необходимых расчетов и выборки несоизмеримо меньше.

В блок-схеме алгоритма, изображенного на рис. 4: $S_{\text{факт}}^i$ – фактическая площадь поперечного сечения i -го слоя материала; $S_{\text{треб}}^i$ – требуемая площадь поперечного сечения i -го слоя материала; $r_{\text{ж}}$ – радиус жилы, на которую накладываются слои изоляции; $\Delta_{\text{факт}}$ – фактически накладываемая толщина слоя; $\Delta_{\text{треб}}$ – требуемая толщина слоя; $V_{\text{л}}$ – линейная скорость движения жилы; ρ_i – плотность материала i -го слоя; $i = 1 \dots 3$ – номер слоя стратифицированного течения.

Таким образом, предложенные методика и алгоритмы автоматизированного управления процессом экструзионного наложения многослойной полимерной изоляции и оперативная коррекция свойств перерабатываемых материалов непосредственно в процессе производства позволяют повысить производительность линии при соблюдении таких немаловажных параметров, как заданные толщины слоев материала, и контролировать максимальные температуры в каналах кабельной головки, не допуская термической деструкции полимеров.

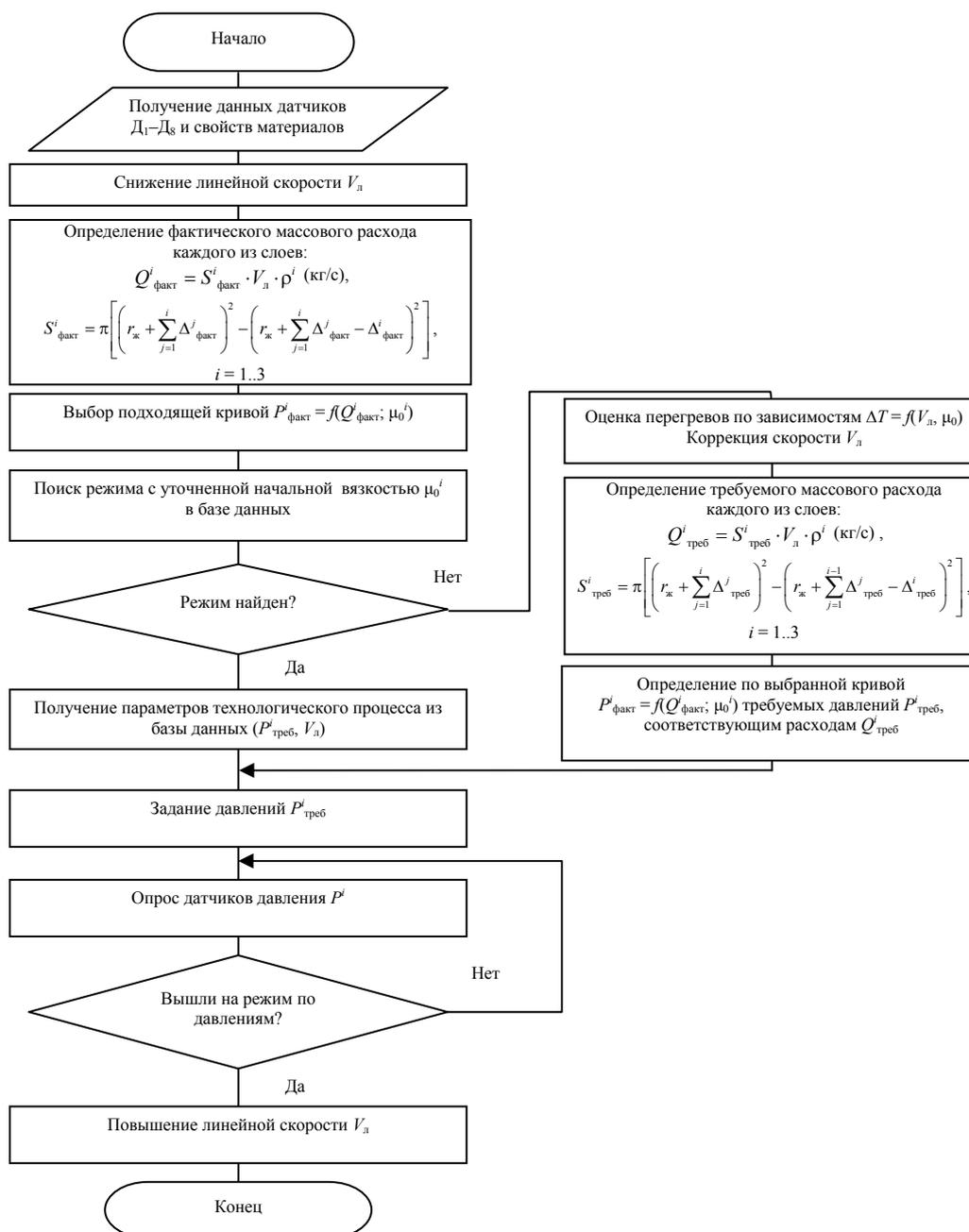


Рис. 4. Алгоритм адаптации свойств материалов

Библиографические ссылки

1. Зиннатуллин Р. Р., Казаков А. В., Труфанова Н. М. Автоматизированная система управления процессом наложения пластмассовой изоляции кабелей методом экструзии // Электротехника. – 2011. – № 11. – С. 24–28.
 2. Казаков А. В., Труфанова Н. М., Савченко В. Г. Моделирование процессов тепломассопереноса полимера

в головке экструдера с учетом и без учета зависимости вязкости от температуры // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 1(15). – С.130–133.

3. Столбов В. Ю. Моделирование и оптимизация процессов упругопластического деформирования металлов в условиях неопределенности // Наука и технологии. Избранные труды Российской школы. – М. : РАН, 2005. – С. 318–329.

A. V. Kazakov, Perm National Research Polytechnic University
 N. M. Trufanova, DSc in Engineering, Professor, Perm State Technical University

Automated Control of Extrusion Overlay Process for Multilayer Polymeric Insulation

The paper presents algorithms of automated control of extrusion overlay process for multilayer insulation and correction of rheological properties of recycled polymers according to data obtained directly in the process.

Key words: control, automation, extrusion, multilayer insulation overlay.