

УДК 681.536.57

АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ЗОН ЭКСТРУДЕРА АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

А.Г. Михеев

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Приведен анализ алгоритма преобразования полимера при его наложении на кабельные изделия в экструдере. Определены требования к технологической настройке режимов обогрева отдельных зон рабочего цилиндра. Показано, что в первой зоне температура не должна превышать температуры плавления полиэтилена, во второй зоне она повышается для создания гетерогенного расплава полимера и лишь в третьей зоне окончательно формируется рабочая масса полимера для последующего наложения ее на токоведущую жилу. Дано обоснование требований непосредственно к технологическому режиму работы головки экструдера. Давление полимера в ней принято за основное воздействие при управлении процессом изолирования кабельных изделий. Все предложенные алгоритмы доведены до конкретных рекомендаций при их технической реализации с использованием локальных подсистем АСУ ТП.

Ключевые слова: *экструдер, зоны обогрева рабочего цилиндра, давление полимера в головке экструдера, регулирование диаметра изоляции, локальные регуляторы температуры.*

В современных системах проводной связи широко используют различные кабели, основным видом изоляции в которых является полиэтилен. Технологический процесс наложения этой изоляции на отдельные проводники или элементы конструкции кабеля реализуется на автоматических линиях с непрерывным режимом работы. Одним из наиболее ответственных узлов таких автоматических линий является экструдер. Его основное назначение связано с непрерывным процессом наложения полиэтиленовой изоляции на элементы конструкции кабеля. Особую роль данная операция играет при наложении изоляции на первичный элемент кабеля в виде токоведущей жилы. Сам процесс наложения реализуется в головке экструдера, куда поступает заготовка проводника от отдатчика или с выхода системы отжига. Скорость изолирования определяет производительность всей линии. Поэтому роль экструдера в общей работе линии трудно переоценить. Известны различные варианты конструкции современных экструдеров, которые классифицируются по способу подачи полиэтилена в головку экструдера. Различают варианты использования для этих целей шнека с винтовой нарезкой, дисков особой формы и комбинированный вариант, который их объединяет, обеспечивая как хорошее смешение компонентов смеси, так и необходимое ее давление в головке экструдера.

В кабельной промышленности [1] применяют в основном первый вариант шнекового экструдера, который более известен как червячный пресс. В основу конструкции этого пресса положен шнек, имеющий на своей боковой поверхно-

Александр Григорьевич Михеев (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

сти винтовую канавку или нарезку. Этот шнек помещается в обогреваемый цилиндр; в зависимости от природы полимера и технологии его переработки он имеет различный профиль нарезки по своей длине. Объемный расход полимера в таком экструдере определяется скоростью вращения его шнека, поэтому он снабжен индивидуальным приводом с возможностью регулирования скорости по информации о функционировании всей линии в целом. Обычно ограничиваются контролем скорости работы линии и значением диаметра жилы по ее внешней изоляции. Общее уравнение баланса изолирующей массы полимера имеет сравнительно простой вид:

$$\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot V_{из} \cdot \Delta t = K \cdot n_{эк} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где D – диаметр жилы по изоляции;

d – диаметр медной проволоки;

$V_{из}$ – линейная скорость работы линии;

$n_{эк}$ – скорость вращения шнека экструдера;

K – комплексный размерный коэффициент преобразования вращения шнека в производительность экструдера по полиэтилену;

Δt – произвольный отрезок времени на интервале стационарности процесса наложения полиэтиленовой изоляции.

Вполне очевидно, что любое нарушение этого баланса рабочей среды можно классифицировать как действующее возмущение для зоны наложения изоляции. В левой части уравнения (1) к таким возмущениям следует отнести изменение скорости изолирования линии $V_{из}$ и нестабильность диаметра медной проволоки. Если последнюю из них на первом этапе можно признать несущественной, то параметр $V_{из}$ следует считать основным возмущением и принять меры по устранению его влияния на общий процесс наложения изоляции. Более сложен процесс оценки функционирования работы экструдера как основного технологического звена зоны наложения изоляции. В правой части уравнения (1) приведена скорость вращения шнека экструдера ($n_{эк}$) как основная технологическая величина, с которой жестко связана производительность экструдера по полиэтилену. В реальных условиях эта связь зависит и от технологических режимов работы экструдера, который по своей длине в направлении движения полиэтилена имеет три зоны. Они, конечно, имеют свои особенности и обладают свойством взаимного влияния на общий процесс экструзии. Так, в первой зоне происходит загрузка полиэтилена в виде гранул. Попав в эту зону, он захватывается винтовой нарезкой и перемещается вдоль оси шнека по направлению второй и третьей зоны. Именно поэтому нарезка шнека в этой зоне более глубокая. Кроме того, процесс движения полимера возможен только в том случае, если его трение о стенки цилиндра будет создавать большее усилие, чем трение этого же полимера о поверхность шнека. С этой целью на внешней поверхности цилиндра первой зоны расположены нагреватели, а сам шнек делают полым внутри для его охлаждения.

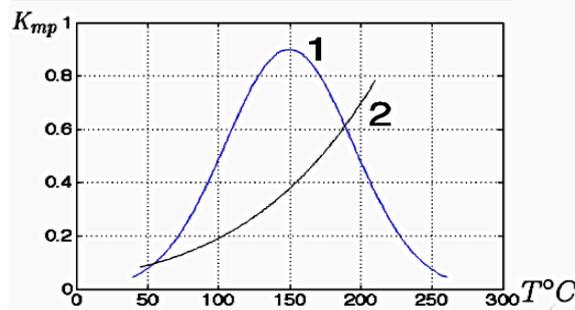
Качественное влияние температуры на коэффициент трения полимера о поверхность цилиндра показано на рисунке зависимостью 1.

Простой анализ общего характера приведенной зависимости показывает, что коэффициент трения возрастает до момента, когда начинается плавление полимера, т. е. до точки экстремума порядка 150 °С (для полиэтилена низкой плотности этот уровень температур составит (105÷110) °С). С повышением температуры происходит размягчение полимера, он становится более пластичным и заполняет весь объем канавки шнека, формируя плотную пробку в межвитковом пространстве шнека. Желательно, чтобы процесс формирования этой пробки при-

шелся на границу между первой и второй зонами. Тогда общая производительность экструдера полиэтилену определится выражением [2]

$$Q = \beta \alpha \rho \cdot n_{\text{эк}},$$

где ρ – объемная плотность полимера; β – объем нарезки одного витка на внешней поверхности шнека; α – эквивалентный коэффициент заполнения рабочей зоны шнека (0,15÷0,50); $n_{\text{эк}}$ – скорость вращения шнека экструдера.



Зависимость коэффициента трения от температуры полимера:
1 – полиэтилен высокой плотности; 2 – поливинилхлоридный пластикат

Во второй зоне плавление полимера продолжается, он становится более пластичным. Глубина нарезки спиральных канавок обычно уменьшается, что приводит к увеличению продольного давления передаваемого уже через жидкую фазу полимера. Состав полимера при этом доводится до однородной композиции, и в гетерогенном состоянии (расплав с частичками твердого полиэтилена) он попадает в 3-ю зону, которая играет роль зоны дозирования. На ее выходе расположена сетка фильтра и головка экструдера, которая имеет дорн и матрицу, где и происходит наложение изоляции. При их отсутствии, когда речь идет о свободном выходе полимера из зоны обогрева, мы имели бы только основной поток этого полимера с минимальным уровнем его давления на выходе из головки экструдера, близким к атмосферному. Если же учесть влияние головки экструдера, то она создает гидравлическое сопротивление, а следовательно, внутри третьей зоны происходит повышение давления полимера. Результирующий поток полиэтилена характеризует его расход в зоне наложения изоляции:

$$Q = \lambda \cdot n_{\text{эк}} - (\varphi + \nu) \cdot P / \eta, \quad (2)$$

где λ , φ , ν – постоянные конструктивные коэффициенты, которые характеризуют соотношение между основным потоком, величиной противотока и утечкой расплава полимера соответственно.

Количественная оценка данных коэффициентов связана с геометрическими размерами шнека и экструдера, а их размерность соответствует выбранной системе единиц. Если считать данные коэффициенты фиксированными, то при неизменной скорости вращения шнека ($n_{\text{эк}}$) можно считать, что результирующий расход полиэтилена, определяемый выражением (2), будет пропорционален давлению этого полиэтилена в головке экструдера (P). Стабильная работа экструдера связана с понижением чувствительности расхода к давлению в головке экструдера. Она определяется таким известным геометрическим параметром экструдера, как отношение длины шнека L к его диаметру D . В кабельной промышленности наиболее ходовые конструкции реализуют это отношение в пределах (20÷25). Независимо от конкретного конструктивного решения экструдера из его цилиндра полимер попадает уже в головку экструдера, где и происходит наложе-

ние изоляции на токоведущую жилу, проходящую через дорн внутри матрицы этой головки. Это завершающая операция, и на формирующей части головки экструдера при продавливании через нее полимера действует перепад давлений ΔP , который равен разности давлений между внутренней частью головки экструдера и внешней средой: $\Delta P = P - P_{\text{вых}}$. Этот перепад и будет определять интересующий нас расход полимера в общем балансе рабочей среды (1). Его количественная оценка определяется выражением

$$Q = K_0 \cdot \Delta P / \eta, \quad (3)$$

где η – вязкость расплава полимера;

K_0 – размерный коэффициент пропорциональности, характеризующий сопротивление канала головки экструдера процессу движения через него полимера.

Проведенный анализ алгоритма функционирования работы экструдера позволяет наметить и общий принцип управления его работой в составе автоматических линий кабельных предприятий.

Как известно, управление технологическим процессом всегда предполагает наличие критерия, который позволяет дать оценку качества функционирования основного технологического оборудования этого процесса. В нашем случае будем ориентироваться на геометрические размеры нанесенной изоляции, т. е. на величину диаметра жилы по изоляции. При этом не следует забывать и о целом ряде технологических факторов, которые приводят к нарушению внешней поверхности самой изоляции, ее геометрии, механических свойств, надежности и долговечности. Уменьшение дисперсии по этим показателям требует контроля температурного режима не только зон обогрева цилиндра экструдера, но и его головки, где расположены дорн и матрица, формирующие изоляцию на элементах конструкции кабельных изделий. С учетом вышеназванных обстоятельств и с опорой на проведенный анализ функционирования системы обогрева экструдера можно сформулировать требования, которые предъявляются к общему алгоритму управления всем технологическим процессом этого звена.

1. Температурный режим обогрева зон экструдера при его фиксированном значении ориентирован на постоянную скорость изолирования. Следовательно, при изменении этой скорости по различным причинам, в том числе и по чисто организационным, этот режим должен быть изменен.

2. Температурный режим первой зоны не должен доводить полимер до критического состояния начала его расплава, т. е. до температуры порядка $(105 \div 150)^\circ\text{C}$ в зависимости от марки полиэтилена (подбирается опытным путем на конкретном виде технологического оборудования).

3. Во второй зоне температура повышается до уровня, при котором полный расплав полимера должен происходить за время прохождения им первых $2/3$ общей длины этой зоны.

4. Температура третьей зоны решает задачу оптимальной фильтрации полимера и его калибровки на выходе из зоны наложения.

5. Конечное значение диаметра жилы по изоляции определяется давлением расплава полимера в головке экструдера и его температурой, которые подлежат контролю и коррекции в ходе технологического процесса.

6. Для уменьшения возмущений в зоне наложения изоляции скорость вращения шнека должна быть синхронизирована со скоростью работы всей линии и величиной давления в головке экструдера.

7. Со скоростью вращения шнека, в свою очередь, должна быть увязана тем-

пература зон обогрева экструдера, т. е. она играет для них роль входного или задающего сигнала.

Таким образом, работа экструдера моделируется целой гаммой взаимосвязанных технологических операций, и управление их ходом требует детальной предварительной проработки всех возможных технологических режимов на реальном оборудовании с использованием соответствующих марок полимера и его наполнителей. Реализовать полученные рекомендации по ведению общего технологического процесса изолирования в рамках конкретного экструдера можно на базе системы АСУ ТП с участием локальных подсистем управления температурой зон обогрева цилиндра и головки этого экструдера. Работа подсистем должна быть увязана с величиной скорости работы всей линии через специальный узел формирования задающих сигналов. С помощью этого узла устанавливается уровень температуры отдельных зон обогрева экструдера и уровень скорости вращения для системы стабилизации скорости его привода. Кроме того, в работе привода шнека экструдера необходимо предусмотреть возможность коррекции его скорости вращения по величине давления полимера в головке этого экструдера и по конечному значению диаметра изоляции токоведущих жил уже на выходе из зоны наложения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижяев С.А. Электропривод и автоматизация волоочильного оборудования. – Самара, 2002. – 482 с.
2. Производство электрических кабелей и проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией / Л.С. Лахман, Н.Д. Троицкий, О.Ш. Бабицкий, И.Ш. Берин. – М.: Высшая школа, 1972 г.

Статья поступила в редакцию 15 января 2014 г.

ANALYSIS OF OPERATION ALGORITHM FOR AUTOMATIC LINES EXTRUSION ZONE HEATING SYSTEM

A.G. Mikheev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The analysis of polymer transformation algorithm when applied to cable products in extruder is provided. The requirements for the technological mode setting individual heating zones of the working cylinder are defined. It is shown that in the first zone, its temperature must not exceed the melting temperature of polyethylene, and in the second area temperature is increased to create a heterogeneous polymer melt, and only in the third working area polymer mass is finally formed for subsequent blending it to a conductor. The substantiation requirements directly to the technological mode of the extruder's head work are given. Polymer pressure in it is taken as the main influence in the management process of isolation in cable products. All of the suggested algorithms are brought to certain recommendations for their technical implementation using the local APCS subsystems.

Keywords: *extruder, main cylinder heating zone, polymer pressure in extruder orifice, insulation diameter adjustment, local temperature regulators.*

Alexander G. Mikheev (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.