

А.В. Казаков, Н.М. Труфанова

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЭКСТРУЗИОННОГО НАЛОЖЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Приведен алгоритм определения линейной скорости и давлений, создаваемых экструдерами, при наложении трехслойной полимерной изоляции при соблюдении заданных толщин накладываемых слоев и недопущении критических перегревов в каналах.

На сегодняшний день для передачи и распределения электроэнергии используются кабели на напряжение 10 кВ и выше с изоляцией из полимерных материалов. Конструкция таких кабелей предусматривает сложную многослойную структуру изоляции, состоящей, как правило, из двух тонких полупроводящих экранов по жиле и по изоляции и собственно изолирующего слоя. Высокие требования к качеству изоляционного покрытия вынуждают накладывать все слои одновременно, за один проход. Такой метод повышает качество готового изделия и уменьшает расходы на его производство, однако возникает сложность подбора технологических параметров процесса. Экспериментальное определение этих параметров занимает достаточно много времени и не позволяет в полной мере оценить степень оптимальности найденного режима.

Предлагаемый в данной статье метод определения оптимального технологического режима, обеспечивающего получение кабеля с многослойной изоляцией заданной толщины, может осуществляться специализированной автоматизированной системой управления (АСУ) [1], базирующейся на математической модели процесса экструдирования изоляции [2, 3].

Параметрами, по которым оценивалось качество изолированного кабеля, были выбраны толщины каждого из трех слоев (Δ^i , $i = 1..3$) и максимальные диссипативные перегревы материала в каналах

(ΔT^a , ΔT^b , где a , b – соэкструдруемые материалы). Толщины слоев должны лежать в заданных диапазонах, перегревы не должны превышать критичного для материала уровня.

Управлять процессом экструзионного наложения можно, изменяя линейную скорость движения жилы V_d и давления на выходах каждого из трех экструдеров P^i .

Основой такой системы является управляющий вычислительный комплекс (УВК).

Перед началом работы оператор задает некоторые условия, такие как реологические и теплофизические свойства материалов, к которым относятся и критические температуры деструкции материала; выбирает геометрию кабельной головки; требуемые толщины изолирующих слоев с возможными допусками; температуры расплава полимера, корпуса головки, подогрева жилы; вводит предельные для данного типа оборудования значения параметров управления (V_{\max} , P^i_{\max}).

Затем УВК сверяет их с ранее просчитанными и занесенными в базу данных вариантами. Если точно такой же режим уже просчитывался, УВК находит его в своей базе данных и оперативно предлагает оператору уже готовые параметры технологического процесса. Это экономит время и счетные ресурсы и поможет избежать повторного расчета одинаковых режимов, например, при настройке однотипных линий.

Далее, если готового решения не обнаружилось, УВК приступает к вычислению оптимальных величин давлений, создаваемых экструдерами, и линейной скорости движения изолируемой жилы, обеспечивающих производство продукции с заданными оператором характеристиками.

Расчет начинается с максимально возможной для линии скорости, которая фиксируется, и проверяются толщины каждого из слоев изолирующих материалов, а также локальные перегревы для всех возможных сочетаний расходов экструдеров. Если для текущей линейной скорости такого сочетания найти не удастся, линейная скорость уменьшается, и цикл подбора расходов повторяется вновь. В итоге определяется искомая комбинация управляющих воздействий для заданных условий. Общая блок-схема этого алгоритма представлена на рис. 1.



Рис. 1. Общий алгоритм подбора необходимых управляющих воздействий

Рассмотрим процедуру подбора давлений экструдеров P^i более подробно. Для определения удовлетворяющего заданным толщинам Δ^i расхода и соответствующего ему давления каждого из экструдеров используется итерационная процедура, состоящая из постепенного деления всего возможного диапазона изменения давления каждого экструдера (1) на половинные отрезки (метод бисекции [4]),

$$0 < P^i(t) \leq P^i_{\max}, \quad (1)$$

где P^i_{\max} – максимально возможное для i -го экструдера давление; $i = 1 \dots 3$ – номер экструдера, соответствующий накладываемому слою материала.

На каждой границе данного отрезка для каждой итерации производится расчет толщин слоев изоляции и перегревов каждого из материалов с использованием предложенной математической модели стратифицированного течения. Затем определяется относительное отклонение каждой из толщин от заданного значения и проверяются максимальные температуры расплавов:

$$\Delta_{\text{треб.}}^i (1 - \varepsilon^i) \leq \Delta^i \leq \Delta_{\text{треб.}}^i (1 + \varepsilon^i), \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{треб.}}^i$ – задаваемая толщина i -го слоя; ε^i – относительное допустимое отклонение толщины i -го слоя от заданного значения; i – номер слоя изолирующего материала, $i = 1 \dots 3$;

$$\begin{aligned} \Delta T^a &< T^a_{\text{дестр}}, \\ \Delta T^b &< T^b_{\text{дестр}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где ΔT^a , ΔT^b – локальные превышения температуры (перегревы) для каждого из соэкструдруемых материалов; $T^a_{\text{дестр}}$, $T^b_{\text{дестр}}$ – температуры начала деструкции каждого из материалов.

Если отклонение толщины от заданной превосходит заранее установленное значение (ε^i) (2) или если имеет место превышение температуры деструкции материала (3), отрезок, соответствующий рассматриваемому на текущей итерации диапазону расхода, делится на две равные части. На следующей итерации будет рассматриваться уже половина исходного отрезка, причем выбор той или иной части производится на основании процедуры сравнения относительного отклонения толщин для границ текущего диапазона давления. Данный

процесс будет повторяться до тех пор, пока каждая из трех толщин слоев изоляции не попадет в заданный диапазон и максимальные температуры расплава не будут ниже температур деструкции соответствующих материалов. Если все вышеперечисленные условия выполняются, итерационный цикл завершается и результаты расчета заносятся в базу данных. Одновременно оператору выводится рассчитанный технологический режим. Если хотя бы одно из условий не выполняется, однако границы диапазона изменения давления для каждого из экструдеров сблизились настолько, что отношение отклонений толщин слоев от заданного значения для каждой границы не превышает заранее заданной малой величины (условие $d^i_2/d^i_1 < \varepsilon_d$), принимается положение, что при данной линейной скорости ни одно из возможных сочетаний расходов не приведет к соблюдению условий (2) и (3). В этом случае линейная скорость уменьшается на некоторую технологически обоснованную величину $\Delta V_{\text{л}}$ и весь цикл подбора соотношения давлений повторяется (при этом вновь рассматривается полный диапазон изменения давлений, соответствующий выражению (1)). На рис. 2 представлен алгоритм процедуры подбора давлений экструдеров и необходимой линейной скорости.

Данный расчетный режим может использоваться для подбора необходимого оборудования при проектировании линии для производства кабеля определенной марки с использованием сырья с известными свойствами. В этом случае в УВК закладывается геометрия, свойства материалов, температурные режимы и задаются произвольные изначально завышенные данные о допустимых давлениях и максимальной линейной скорости. По результатам работы УВК выдаст оптимальные режимы работы линии, по которым можно подобрать максимально подходящее оборудование.

Аналогичным образом можно оценить степень соответствия имеющегося на предприятии оборудования для производства кабеля заданной марки. Если результаты расчета показывают значительную разницу между возможностями оборудования и оптимальным технологическим режимом, можно скорректировать режим под имеющееся оборудование. В этом случае можно использовать материалы с другими теплофизическими и реологическими свойствами, сменить конфигурацию кабельной головки.

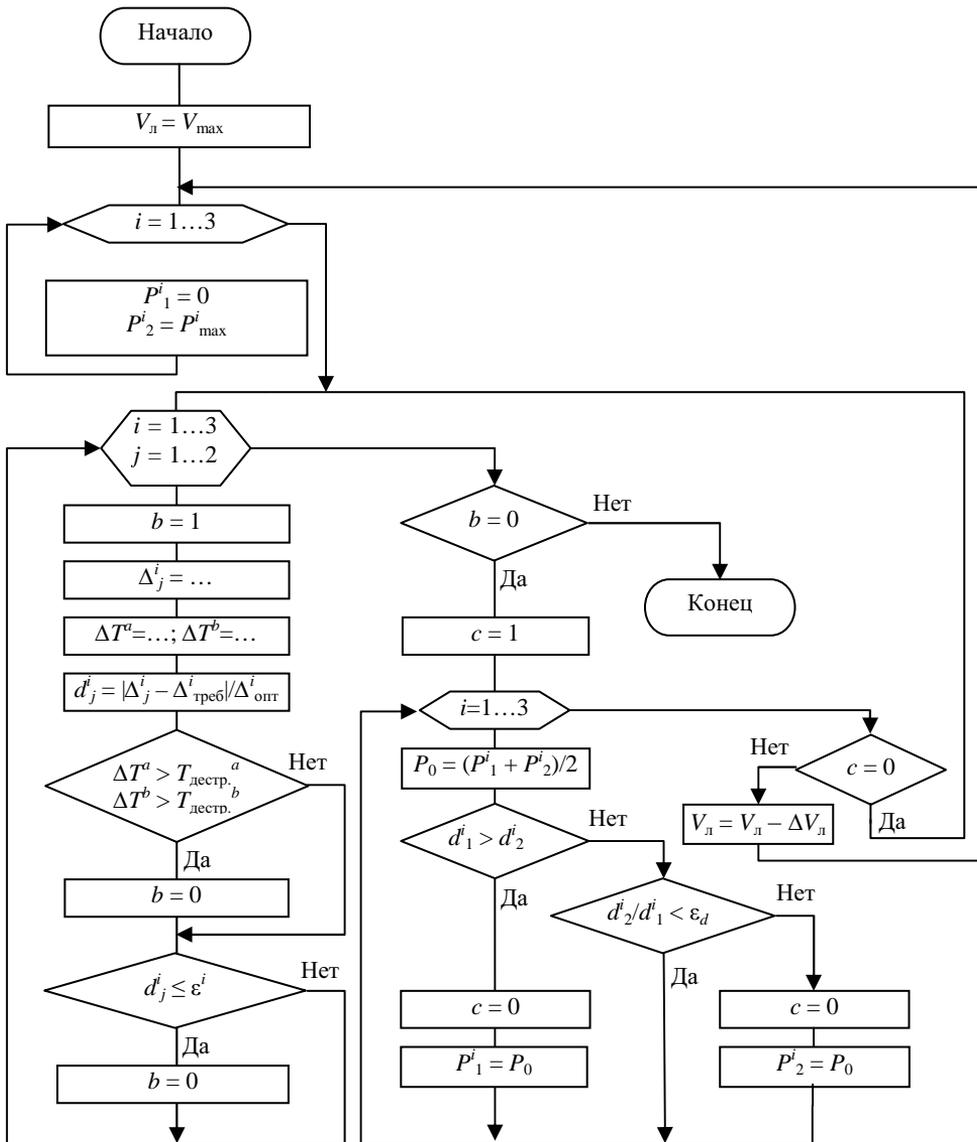


Рис. 2. Алгоритм подбора давлений экструдеров и линейной скорости

Таким образом, предложенный алгоритм определения оптимального режима может использоваться не только на существующей технологической линии экструзионного наложения многослойной изоляции, но отдельно, в виде программного приложения для проектирования новых или модернизации и оптимизации старых линий отдельно от самой линии, например, на персональном компьютере инженера-проектировщика.

Библиографический список

1. Автоматизированные системы управления непрерывными технологическими процессами: учебное пособие / Ю.М. Агеев, В.И. Коновалов, Г.Ф. Мазурек, В.Н. Скороспешкин. – Томск: Изд-во ТПИ им. С.М. Кирова, 1987. – 95 с.
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. Казаков А.В., Труфанова Н.М. Численное моделирование процесса течения полимера в кабельной головке и анализ зависимости параметров процесса от некоторых теплофизических свойств материала // Вестник ПГТУ. Механика. – Пермь, 2009. – № 1. – С.130–136.
4. Зинатуллин Р.Р., Труфанова Н.М. Численное моделирование технологических напряжений при изготовлении пластмассовой изоляции провода // Вычислительная механика сплошных сред. – 2009. – Т.2, № 1. – С. 38–53.

Получено 19.09.2011