

**К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПОРИСТОСТЬЮ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ**

С.А. Кижяев (ЗАО "Самарская кабельная компания")

Рассматриваются вопросы исследования управления процессом формирования пористости изоляции провода на автоматических экструзионных линиях, определяется модель объекта управления. Приводятся данные по оптимальности управления, графики и структурные схемы измерения и регулирования коэффициента пористости изоляции, ее диэлектрической проницаемости и погонной емкости провода для высокочастотных кабелей.

Необходимо отметить важность вопроса измерения и регулирования пористости изоляции провода высокочастотных кабелей на экструзионных линиях. В настоящее время параметры этого процесса не измеряются непосредственно, возможно только косвенное их измерение, что и приводится в [1].

Так коэффициент пористости изоляции провода определяется¹[1]:

$$k_{пор} = \frac{4}{\pi} \frac{Q}{v} \frac{\rho_g}{\rho_n (D^2 - D_T^2)}, \quad (1)$$

где Q – объемный расход вспенивающего газа за время t , v – скорость провода, проходящего через головку экструдера, ρ_g, ρ_n – плотности газа и полимера изоляции провода соответственно, D – диаметр провода по изоляции, D_T – диаметр токоведущего проводника.

Ставится задача исследования процесса измерения параметров и улучшения функционирования системы автоматического управления.

Рассмотрим изменения коэффициента пористости $k_{пор}$ при изменении всех параметров по формуле (1):

а) при изменении расхода вспенивающего газа: $k_{порQ} = 0,0000732 Q$; (2)

б) при изменении скорости движения провода v : $k_{порv} = 4986,76/v$; (3)

в) при изменении диаметра провода по изоляции $D_2 - D_{T2}$: $k_{пор(D_2 - D_{T2})} = 1,676/(D_2 - D_{T2})$. (4)

Выражения коэффициента пористости для кабеля марки ТЗ-0,9/1,9 получены при следующих значениях:

$Q = 8145 \text{ мм}^3/\text{с}$, $v = 500 \text{ м/мин} = 8333 \text{ мм/с}$, $\rho_g = 1,25 \text{ г/см}^3$, $\rho_n = 0,923 \text{ г/см}^3$,

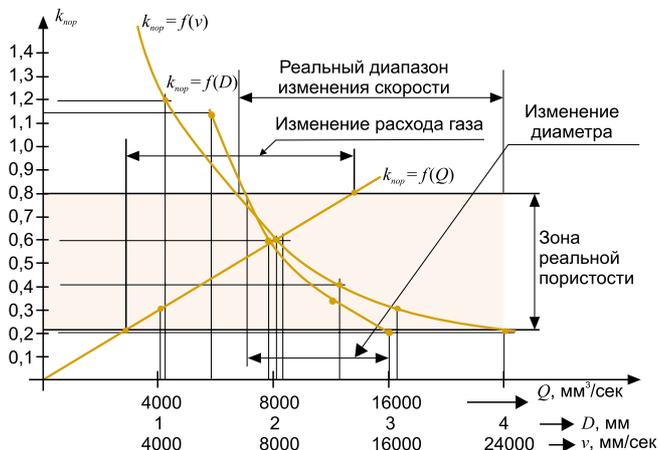


Рис. 1. Графики зависимости $k_{пор} = f(Q, v, D - D_T)$

$D = 1,9 \text{ мм}$, $D_T = 0,9 \text{ мм}$ и коэффициенте пористости $k_{пор} = 0,602$.

На основании зависимостей (2-4) построены графики $k_{пор} = f(Q, v, D - D_T)$ (рис. 1). Из этих графиков видно, что в зоне точности поддержания коэффициента пористости $k_{пор}$ необходимо измерять расход газа датчиком расхода, скорость линии – датчиком скорости и диаметр провода по изоляции – датчиком диаметра, а значение коэффициента пористости $k_{пор}$ вычислять с помощью промышленного компьютера. Все это достаточно просто выполняется на автоматической линии типа TEL-35 (TEL-40) производства Нокia-Майлефер, которая оборудована вышеперечисленными узлами. Проанализируем по графику (1) возможности измерения и регулирования коэффициента пористости. При реальном диапазоне регулирования коэффициента пористости в пределах 0,2...0,8 подача газа должна находиться в пределах $Q = (2400...12600) \text{ мм}^3/\text{с}$, скорость движения провода – (110...220) м/мин, диаметр (1,66...2,9) мм.

Вычисления коэффициента пористости по уравнению (1) реализуется при использовании компьютерной техники.

Рассмотрим возможности упрощения выражения (1). На линии TEL-35 это упрощение достигнуто за счет автоматического управления пористостью по следующему выражению:

$$k_{пор} = k_1 \frac{Q}{v}, \quad (5)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности.

Оценим такое упрощение при применении разных полимеров.

На линии TEL-35 применяются следующие марки полиэтилена:

а) композиция полиэтилена 277-73 с плотностью $\rho_n = 0,915 \text{ г/см}^3$,

б) полиэтилен Luvorog ABF с плотностью $\rho_n = 0,93 \text{ г/см}^3$,

в) композиция полиэтилена 107 – 02K – с плотностью $\rho_n = 0,945 \text{ г/см}^3$, т.е. разброс составляет $\pm \Delta \rho_n \approx 1,5 \%$.

Точность стабилизации диаметра по изоляции находится в пределах $\pm \Delta D = 1,0 \%$, точность стабилизации расхода $\pm \Delta Q = 2 \%$, точность стабилизации скорости движения провода $\pm \Delta v = 0,5 \%$. Таким образом, общая точность изменения коэффициента пористости будет находиться в пределах $\pm \Delta k_{пор} = 2,66 \%$. Оценим эту точность через погонную емкость провода с вспененной изоляцией, которая определяется [1]:

$$C/l = \epsilon_{экв}/18 \ln (D/D_T), \quad (6)$$

где $\epsilon_{эkv} = \epsilon_{эkv_a} \times \epsilon_{эkv_o}$ – эквивалентная абсолютная диэлектрическая проницаемость вспененной изоляции, $\epsilon_{эkv_a}$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость газа, $\epsilon_{эkv_o}$ – относительная диэлектрическая проницаемость вспененной изоляции.

Линия TEL – 35 оборудована системой автоматической стабилизации погонной емкости, которая обеспечивает точность регулирования в 5 %. Тогда точность стабилизации диэлектрической проницаемости изоляции должна находиться в пределах $\pm \Delta \epsilon = 0,05 \%$. С другой стороны, относительная диэлектрическая проницаемость вспененной изоляции провода [1]

$$\epsilon_{эkv_o} = \frac{\epsilon_n - k_{нор} \epsilon_z}{1 + k_{нор}} \quad (7)$$

Подставив значение коэффициента пористости из (1) в (7), получим

$$\epsilon_{эkv_o} = \frac{\epsilon_n - k_0 \frac{Q \rho_z \epsilon_z}{v \rho_n (D^2 - D_T^2)}}{1 + k_0 \frac{Q \rho_z}{v \rho_n (D^2 - D_T^2)}} \quad (8)$$

При анализе выяснено, что изменение реальной диэлектрической проницаемости находится в диапазоне $\pm \Delta \epsilon = 1\%$ при требуемой точности в $\pm \Delta \epsilon_{тp} = 0,05\%$. Таким образом, в систему управления погонной емкостью изоляции провода необходимо ввести регулятор диэлектрической проницаемости, а ее значение определять по формуле (8).

Оценим точность измерения относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon_{эkv_o}$ по формулам (8) и (6). По формуле (6) получим вычисленное значение $\epsilon_{эkv_o(6)} = 1,5637$, по формуле (8) – вычисленное значение равно $\epsilon_{эkv_o(8)} = 1,25$, т.е. точность измерения составляет $\approx 20\%$ при скорости изолирования $v = 500$ м/мин = 8333 мм/с, при скорости $v = 560$ м/мин = 9333 мм/с – $\epsilon_{эkv_o(8)} = 1,344$, точность составляет "14%, при скорости изолирования $v = 700$ м/мин = 11666 мм/с – $\epsilon_{эkv_o(8)} = 1,52$, точность составляет 2,79 %, что является вполне приемлемым.

Для дальнейшего повышения точности необходимо корректировать величину диэлектрической проницаемости, вычисленной по формуле (8) через коэффициент настройки по вычисленному значению ее по формуле (6) (рис. 2).

Общая структурная схема ста-

билизации погонной емкости провода в этом случае представлена на рис. 3.

Опишем математически объект управления процессом вспенивания.

В результате исследования определено, что передаточная функция экструдера

$$W_{экс}(p) = \frac{k_{нор}(p)}{Q(p)} = \frac{0,602/8145}{T_{экс}z + 1} = \frac{0,000074}{0,21p + 1},$$

где $k_{экс} = 0,000074$ с/мм³,

передаточная функция головки экструдера

$$W_{гол}(p) = \frac{\epsilon_{эkv_o}(p)}{k_{нор}(p)} = k_{гол} = \frac{1,5637}{0,602} = 2,597,$$

где $k_{гол}$ – коэффициент передачи головки экструдера.

$$\epsilon_{эkv_o} = \frac{C/l \times 18 \ln(D/D_T)}{\epsilon_{эkv_a}} = \frac{0,117 \times 18 \times 0,747}{1,006} = 1,5637$$

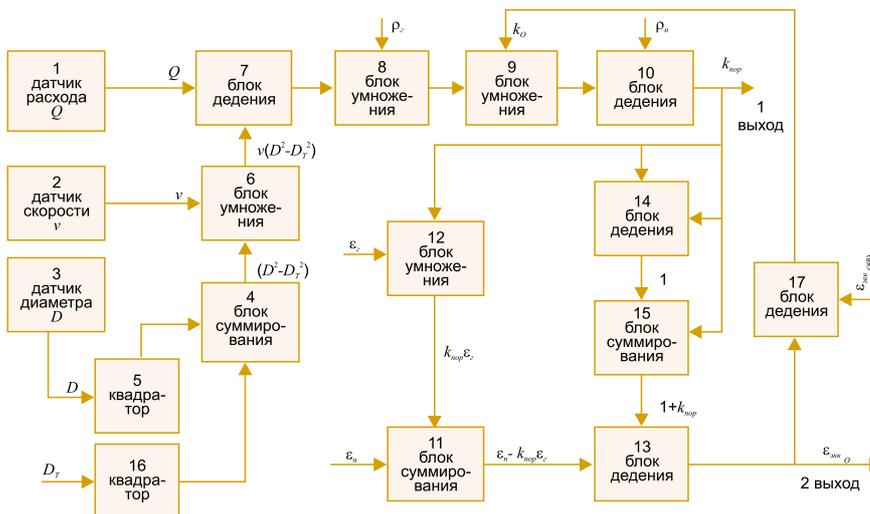


Рис. 2. Функциональная схема измерения и корректировки параметров процесса образования пористости при экструзии

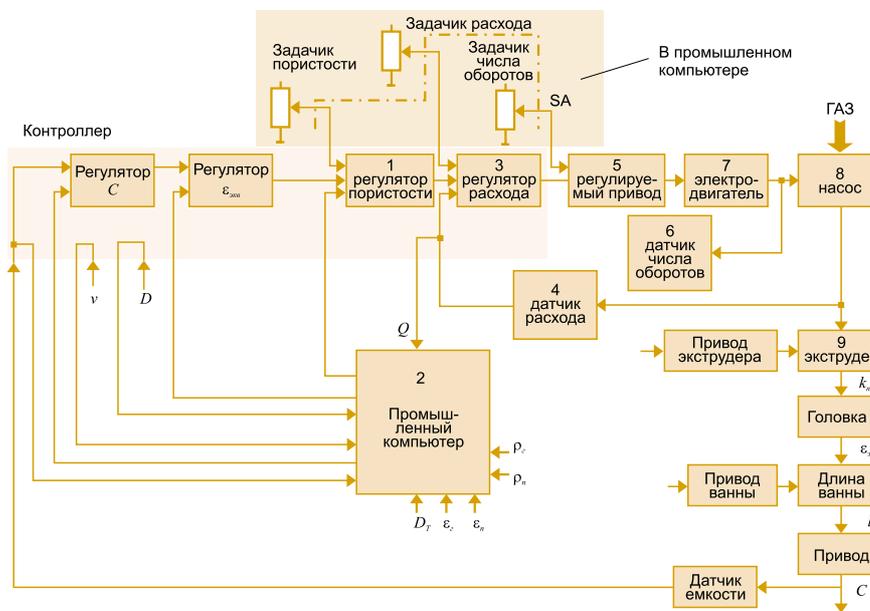


Рис. 3. Функциональная схема системы стабилизации погонной емкости

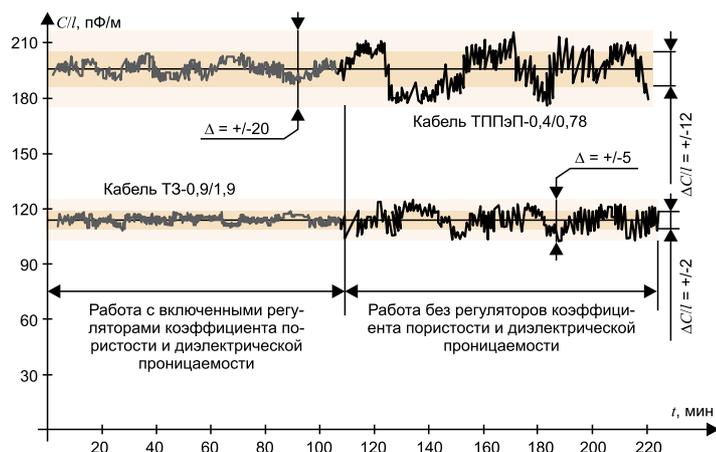


Рис. 4. Графики управления погонной емкостью для проводов высокочастотного ТЗ и низкочастотного ТППЭП кабелей

— относительная диэлектрическая проницаемость вспененной изоляции провода при $C/l = 0,117$ пФ/мм.

Передаточная функция ванны охлаждения определяется:

$$W_{o(p)} = \frac{l_o(p)}{\varepsilon_{экв,o}(p)} = k_o = \frac{1200}{1,5637} = 767,41 \text{ мм},$$

где k_o — коэффициент передачи ванны охлаждения, l_o — длина движущейся части ванны охлаждения.

Передаточная функция провода определяется:

$$W_{np}(p) = \frac{(C/l)(p)}{l(p)} = k_{np} = \frac{0,117}{1200} = 0,0000975 \text{ пФ/мм}^2,$$

где $k_{np} = 0,117$ пФ/мм — коэффициент передачи провода.

Тогда общая передаточная функция объекта управления при управлении подачей вспенивающего газа будет иметь вид:

$$W_{o_o}(p) = \frac{k_{o_o}}{T_{o_o}(p)+1} = \frac{0,0233}{0,21p+1},$$

где k_{o_o} — коэффициент передачи объекта управления, T_{o_o} — постоянная времени.

Моделирование действующей и модернизированной систем измерения и управления процессом регулирования пористости изоляции провода на комплексе "Моделирование в технических устройствах" (ПК "МВТУ", версия 3,0) показало преимущества предлагаемой системы в повышение точности регулирования (рис. 4).

Эти преимущества позволят снизить отходы на концах провода кабелей ориентировочно на 3,2% и уменьшить расход материалов на 2,8%.

Кижаяев Станислав Алексеевич — заслуженный изобретатель РФ, главный электроник ЗАО "Самарская кабельная компания".

Контактный телефон (8462) 282-455, факс (8462) 552-220. E-mail: kijaev@samaracable.ru

Корпорация Intel достигла важных рубежей в развитии программы EUV-литографии

Корпорация Intel объявила о достижении двух важных рубежей в разработке технологии EUV-литографии (Extreme Ultraviolet - сверхжесткое ультрафиолетовое излучение), на которой будут основаны микропроцессоры будущего. Корпорация установила первый в мире коммерческий аппарат EUV-литографии и пилотную линию по нанесению EUV-масок, что знаменует собой переход данной технологии из стадии исследований в стадию разработки и развития.

Литография - это технология печати схем на компьютерных микросхемах. Для того, чтобы помещать в микросхемы все больше и больше транзисторов, производители полупроводниковых устройств вынуждены постоянно уменьшать их размер. Разработка технологии EUV-литографии вызвана тем, что в ближайшие годы используемая ныне технология печати микросхем достигнет пределов возможного. Корпорация Intel планирует начать массовое производство устройств на базе новой технологии в 2009 г.

Аппарат EUV Micro Exposure Tool (MET) и установка пилотной производственной линии по нанесению EUV-масок позволят корпорации Intel изготавливать печатные схемы с проектной нормой до 30 нанометров и подготовиться к последующему переходу на 15-нанометровую технологию на базе EUV-литографии. Для сравнения: минимальный размер печатных схем, которые изготавливаются сегодня на производственных линиях Intel, составляет 50 нанометров.

Так же, как художнику нужны тонкие кисти для нанесения на картину тонких штрихов, производителям полупроводниковых устройств нужны все более короткие световые волны для печати самых миниатюрных схем. В современной оптической литографии используются волны большей длины, не способные обеспечить печать крошечных схем при уменьшении размера транзисторов и других элементов в последующие годы.

Поскольку технология EUV-литографии использует световые волны длиной около 13,5 нм, что на порядок ниже по сравнению с используемыми сегодня волнами длиной 193 нм, эта технология будет играть важнейшую роль в производстве будущих микросхем, хотя на стадии разработки еще предстоит решить ряд важных задач.

Корпорация Intel использует устройство MET для решения двух ключевых задач в разработке технологии EUV-литографии: для создания фоторезиста, важного химического вещества, используемого для печати микросхем, и для решения проблемы воздействия неточностей маски, включающей шаблон схемы для печати на подложке. Аппарат MET также позволит корпорации Intel сконцентрировать усилия на оптимизации переменных, требуемых для печати крошечных компонентов при массовом производстве.

Помимо установки аппарата MET, корпорация Intel развернула пилотную производственную линию EUV-масок. Она станет основой будущего производства масок, которым корпорация Intel планирует заняться самостоятельно. Пилотная линия интегрирует EUV-модули в используемый в корпорации Intel производственный процесс изготовления масок и включает первые в мире средства создания EUV-масок на промышленном уровне.

Хотя сама по себе установка аппарата MET и пилотной линии по нанесению EUV-масок знаменуют собой достижение важного рубежа, корпорация Intel продолжает активно вкладывать средства в разработку инфраструктуры и дополнительных средств, которые обеспечат готовность к началу массового производства на базе EUV-литографии в 2009 году. Стратегические инвестиции в научные исследования, технические разработки и совместные проекты с такими компаниями, как Cymer, Media Lario и NaWoTec приближают внедрение технологии EUV-литографии.

Контактный телефон (095) 721-49-24.