

УДК 681.5:621.315

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБЪЁМНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСТРУДЕРА ПРИ НАЛОЖЕНИИ КАБЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ*

В.Н. Митрошин

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

Рассматриваются вопросы автоматизации процессов изолирования проводных кабелей связи. Показано, что для качественного управления наложением полимерной изоляции на токопроводящую жилу, необходимо обеспечить стабилизацию режимных параметров работы технологического оборудования с максимально возможной точностью. Основным регулируемым параметром процесса изолирования предлагается выбирать объёмную производительность экструдера, косвенно оцениваемую по измеряемому непосредственно после кабельной головки диаметру изолированной жилы.

Ключевые слова: производство кабелей, изолирование, экструдер, объёмная производительность, автоматизация.

Важнейшей операцией изготовления проводных кабелей связи (КС) является изолирование токопроводящей жилы, осуществляемое на экструзионных линиях. Как отмечается в [1-3], при производстве КС, предназначенных для передачи сигналов с частотами порядка 600 МГц и выше, использование для управления процессом изолирования классических систем стабилизации первичных параметров изготавливаемого кабеля (диаметра изоляции и погонной ёмкости), измеряемых на выходе ванны охлаждения, по их отклонению от своих номинальных значений, принципиально не может обеспечить достижение требуемого качества кабеля как канала связи с учетом его полосы пропускания.

Для качественного управления наложением полимерной изоляции на токопроводящую жилу, в первую очередь, необходимо обеспечить стабилизацию режимных параметров работы технологического оборудования с максимально возможной точностью.

Это относится к температуре расплава полимера в зоне дозирования экструдера, давлению расплава полимера на выходе зоны дозирования и, в первую очередь, – к объёмной (или массовой) производительности экструдера.

С помощью системы распределенного управления температурой расплава полимера [5] последняя может быть стабилизирована с точностью не хуже $\pm 0,5^\circ\text{C}$, что существенно лучше известных решений.

Система стабилизации давления расплава полимера в зоне дозирования экструдера [6] позволяет минимизировать пульсации давления в выходной зоне не менее чем в пять раз.

* Работа поддержана грантом РФФИ (проект 15-08-04209-а).

Владимир Николаевич Митрошин (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Автоматика и управление в технических системах».

Объёмную производительность экструдера Q можно определить [4] как разность между прямым и обратным материальными потоками в экструдере по формуле:

$$Q = \frac{N\pi^2 D^2 h \sin \varphi \cos \varphi}{2} - \frac{\Delta P \pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12l \cdot \eta}, \quad (1)$$

где N – обороты червяка (шнека) экструдера;

D – внутренний диаметр цилиндра экструдера;

h – глубина канала червяка экструдера в зоне дозирования;

φ – угол захода (подъёма нарезки) червяка;

ΔP – разность давлений расплава полимера в начале и в конце дозирующей зоны;

l – длина дозирующей зоны шнека экструдера;

η – эффективная вязкость расплава полимера.

Максимальное давление расплава полимера на выходе зоны дозирования P_{\max} может быть определено [4] по формуле (2). На практике оно в 1,2÷1,5 раза выше рабочего давления.

$$P_{\max} = \frac{\pi D N \pi L}{h^2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (2)$$

Здесь L – длина шнека экструдера.

Анализ формул (1) и (2) показывает, что теоретически для регулирования объёмной производительности экструдера можно использовать обороты шнека. Но при изменении оборотов червяка меняются скорость течения расплава полимера в канале шнека, мощность внутреннего тепловыделения за счет вязкого трения слоёв полимера, давление на выходе зоны дозирования, температура и эффективная вязкость расплава полимера.

С другой стороны, как будет показано ниже, объёмная производительность экструдера это то же самое, что и объёмная производительность на единицу длины изолированной кабельной жилы, которая зависит от скорости изолирования V .

В [7] приведена эмпирическая формула, описывающая зависимость объёмной производительности экструдера на единицу длины кабельной жилы от оборотов шнека N и скорости изолирования V .

$$Q = k_1 N \frac{k_2 + k_3 V + k_4 V^2}{1 + k_2 + k_3 V + k_4 V^2}, \quad (3)$$

где k_2 – безразмерная постоянная,

k_1, k_3, k_4 – постоянные коэффициенты с соответствующими размерностями.

Недостатком данной формулы является то, что из неё неясна физика процесса, т.е. качественный характер взаимосвязи скорости изолирования и объёмной производительности экструдера на единицу длины изолированной кабельной жилы.

Таким образом, для регулирования объёмной производительности экструдера, во-первых, необходимо иметь некоторую модель объекта управления, связывающую регулируемую величину с возможными управляющими воздействиями. Во-вторых, объёмная производительность экструдера не может быть непосред-

ственно измерена в ходе технологического процесса. Непосредственно на линии изолирования можно измерять диаметр изолированной жилы $D_{из}$. Поэтому предлагается осуществлять косвенную оценку объемной производительности экструдера по диаметру изолированной жилы $D_{из}$ следующим способом. С учётом закона сохранения массы можно записать

$$Q\rho = \frac{\pi\rho V}{4}(D_{из}^2 - d^2) \quad \text{или} \quad Q = \frac{\pi V}{4}(D_{из}^2 - d^2), \quad (4)$$

где ρ – плотность расплава полимера;

$D_{из}$ – диаметр изолированной жилы;

d – диаметр медного проводника.

Преобразуя (4) с учетом (1), получаем

$$D_{из} = \sqrt{\frac{k_5 N - k_6 \Delta P}{V} + d^2}, \quad (5)$$

здесь

$$k_5 = 2\pi D^2 h \sin \varphi \cos \varphi, \quad k_6 = \frac{Dh^3 \sin^2 \varphi}{3l\eta}. \quad (6)$$

Выражение (5) связывает непосредственно измеряемый на экструзионной линии параметр $D_{из}$, напрямую определяющий оценку объёмной производительности экструдера, с возможными управляющими воздействиями, основным из которых является скорость изолирования. В отличие от известных решений для уменьшения величины транспортного запаздывания объекта регулирования, необходимо осуществлять контроль диаметра изолированной жилы сразу после кабельной головки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митрошин В.Н., Кулешова Д.И. Разработка системы управления процессом изолирования кабелей связи, обеспечивающей достижение требуемого эксплуатационного качества продукции // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2015. – № 2(46). – С. 71 – 77.
2. Митрошин В.Н. Многопараметрическое управление производством кабелей связи на основе прогнозирующих моделей // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2013. – № 4(40). – С. 37 – 44.
3. Митрошин В.Н., Митрошин Ю.В. Использование системного подхода при автоматизации непрерывных технологических процессов кабельного производства // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2010. – № 7(28). – С. 26 – 31.
4. Яковлев А.Д. Технология изготовления изделий из пластмасс. – Л.: Химия, 1977. – 360 с.
5. Нечаев А.С., Митрошин В.Н. Структурное и численное моделирование распределенного управления температурой расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2013. – № 2(38). – С. 26 – 32.
6. Митрошин В.Н. Синтез системы стабилизации давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – Самара: СамГТУ, 2011, № 3(31). – С. 237 – 239.
7. Losenicky M., Hongu J., Filev D. Modellbildung eins kabellummantelungsprozesses. – Mess. – Steuern – Regeln, 1981, №10, s. 553 – 557.

Статья поступила в редакцию 5 июня 2015 г.

REGULATION VOLUMETRIC EXTRUDER OUTPUT WHEN APPLIED CABLE INSULATION

V.N. Mitroshin

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

Questions of automation of processes of isolation of wired communication cables were considered in this article. It is shown that for quality management of overlay polymer insulation on the conductor, necessary to provide stabilization of regime parameters of technological equipment as accurately as possible. The main parameter of control of the process of insulation invited to choose volumetric output of the extruder, which indirectly assess by diameter insulated conductor measured immediately after the cable head.

Keywords: cable manufacture, isolation, extruder, volumetric productivity, automation.