

УДК 681.5:621.315

**Е.А. Сотникова**

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

**СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ  
РАСПЛАВА ПОЛИМЕРА В ЗОНЕ ДОЗИРОВАНИЯ  
ОДНОЧЕРВЯЧНОГО ЭКСТРУДЕРА**

В статье даны рекомендации по синтезу системы автоматизации процесса изолирования проводных кабелей связи с учётом реальных возмущений, позволяющие гарантировать обеспечение требуемого качества кабеля как канала связи.

**Ключевые слова:** производство кабелей, автоматизация, давление расплава.

**E.A. Sotnikova**

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

**PRESSURE CONTROL SYSTEM OF THE POLYMER MELT  
IN THE BATCHING ZONE OF THE SINGLE-SCREW EXTRUDER**

This article gives recommendations on the synthesis process automation system isolate wired communication cables in view of real disturbances can guarantee providing the required quality of the cable as a communication channel.

**Keywords:** cable manufacture, automation, melt pressure.

В многооперационных непрерывных технологических процессах производства изделий, к каковым, безусловно, относится производство кабелей связи, для обеспечения требуемого качества готовой продукции необходимо осуществлять регулирование процесса на всех его этапах (операциях). Это объясняется тем, что формирование эксплуатационного параметра качества кабеля осуществляется на всех технологических операциях его изготовления.

Так, к основным эксплуатационным параметрам качества для коаксиальных кабелей относится его волновое сопротивление. Неоднородности волнового сопротивления по длине кабеля (отклонения волнового сопротивления от номинального значения) вызывают отражение передаваемого по кабелю сигнала и появление помех в виде так

называемых обратного и попутного потоков, величины которых и определяют применимость кабеля в той или иной полосе частот.

Поэтому при проектировании систем регулирования необходимо в обязательном порядке учитывать данный факт и синтезировать системы стабилизации и регулирования режимных параметров технологического процесса и изготавливаемой продукции с учетом требований, предъявляемых к их динамике, исходя из необходимости обеспечения требуемой пропускной способности изготавливаемого кабеля.

В [1] показано, что максимальная частота передаваемого по кабелю электрического сигнала (верхняя частота рабочего диапазона кабеля)  $f_v$  определяет максимальную частоту взаимодействующих с ним пространственных неоднородностей первичных параметров кабеля  $g_{\max}$  и, соответственно, их минимальный пространственный период  $L_{k\min}$ , которые должны быть устранены системой регулирования. Для современных кабелей с верхней границей полосы пропускания 600 МГц  $L_{k\min} = 0,165$  м.

С другой стороны, в [3] отмечено, что при экспериментальном обследовании процесса наложения изоляции на кабельную жилу имеются высокочастотные периодические неоднородности диаметра накладываемой кабельной изоляции, обусловленные периодическими пульсациями давления расплава в кабельной головке, вызываемыми вращающимся шнеком экструдера. Пульсации давления расплава в кабельной головке изменяют подачу выдавливаемой массы изоляции.

Для устранения подобных высокочастотных периодических неоднородностей диаметра изоляции не применимы классические методы использования систем стабилизации диаметра по сигналу ошибки, измеряемой на выходе из ванн охлаждения экструзионной линии, что обусловлено большим транспортным запаздыванием объекта управления. Необходимо использовать системы стабилизации давления расплава в кабельной головке в пределах одного оборота шнека экструдера.

Известно, что в случае цилиндрического червяка приращение давления на выходе червяка ( $x_1 = l_d$ ) описывается выражением [4]:

$$\Delta P_d = \frac{B_z \mu_o}{R} \left( \frac{\pi DN}{h^{n+1}} \right)^{1/n} \left[ \frac{l_d (\cos \varphi)^{1+1/n}}{\sin \varphi} + \beta (\sin \varphi)^{1+1/n} \cdot x_1 \right] (n+1)^{1/n}, \quad (1)$$

$$0 \leq x_1 \leq \varpi; R(z_1) = \exp b [T(z_1) - T_0]; R = \exp b [T(l_d) - T_0], \quad (2)$$

здесь  $B_z$  – безразмерный градиент давлений в продольном течении;  $\mu_o$  – коэффициент консистенции полимера;  $N$  – обороты шнека;  $D$  – диаметр шнека;  $h$  – глубина канала шнека;  $n$  – индекс течения полимера;  $\varphi$  – угол захода червяка;  $l_d$  – длина зоны дозирования;  $x_1$ ;  $y_1$ ;  $z_1$  – текущие координаты канала шнека: поперек, по высоте и по длине канала соответственно;  $\varpi$  – ширина канала шнека;  $\beta$  – отношение градиентов давлений, действующих в циркуляционном и продольном течениях соответственно;  $b$  – температурный коэффициент вязкости;  $T(z_1)$ ;  $T_0$  – температуры полимера по каналу шнека и на входе в зону дозирования соответственно.

Фигурирующий в формуле (1)  $B_z$  – безразмерный градиент давлений в продольном (поступательном) течении, как указано далее в статье, может быть определен только в результате «полномасштабного» численного расчета экструдера: определения поля скоростей реального потока и температурного поля расплава полимера в зоне дозирования с учётом влияния предшествующих зон – питания и плавления, т.е. с учётом конкретных начальных условий.

Согласно [4]

$$B_z = \frac{1}{\left[ (1 - y_0)^{n+1} - |y_0|^{n+1} \right]^{1/n}}, \quad (3)$$

величина  $B_z$  определяется из граничного условия, когда  $v_z = V_z$  при  $y = 1$ , т.е. когда  $v_z$  – продольная составляющая скорости движения пластмассы по оси  $z_1$  равна  $V_z$  – продольной составляющей окружной скорости движения гребней винта шнека  $V_o$ . При этом фигурирующая в формуле (3) безразмерная координата сечения по глубине канала шнека  $y_0$  находится по результатам численного расчета как та точка, в которой  $\sigma_{zy}$  – напряжение сдвига в нормальном сечении потока в поступательном течение равно нулю.

Пульсирующий градиент давлений на выходе экструдера является причиной пульсирующих изменений мгновенной производительности экструдера и возникновения высокочастотных нерегулярностей диаметра изоляции кабельной жилы. Т.е. он является по сути гармоническим возмущением. Амплитуда его находится экспериментально, а частота определяется оборотами шнека экструдера. Мне представляется, что в лаконичном виде всё это и сказано в исходном тексте статьи.

Анализ формулы (1) позволяет сделать несколько выводов:

- второе слагаемое в квадратных скобках является гармоническим сигналом, так как при вращении шнека с постоянной скоростью  $N$  в соответствии с (2)  $x_1$  периодически изменяется от 0 до  $\pi$  ;

- это приводит к появлению гармонических пульсаций перепада давления расплава полимера на выходе из зоны дозирования экструдера.

- при увеличении длины зоны дозирования  $l_d$ , т.е. при возрастании первого слагаемого в (1) уменьшается влияние пульсаций давления на выходе из зоны дозирования на величину приращения давления на выходе червяка, и, соответственно, на изменение производительности шнека;

- частота пульсаций давления расплава полимера в зоне дозирования однозначно определяется оборотами червяка (шнека) экструдера;

- амплитуда пульсаций давления расплава может быть определена для конкретных режимов работы оборудования, его конструктивных параметров и свойств перерабатываемого полимера в соответствии с (1), но это сопряжено с «полномасштабным» численным расчетом экструдера: определением поля скоростей реального потока и температурного поля расплава полимера в зоне дозирования с учётом влияния предшествующих зон – питания и плавления, т.е. с учётом конкретных начальных условий;

- проще определить амплитуду пульсаций экспериментально, используя два датчика давления на входе и выходе определенного участка экструдера.

Таким образом, пульсирующий градиент давления расплава полимера в зоне дозирования экструдера, вызванный вращением шнека,

обуславливает гармонические изменения мгновенной объемной производительности экструдера и, соответственно, периодические неоднородности диаметра изоляции кабельной заготовки. Поэтому данный параметр может рассматриваться в качестве измеряемого возмущающего воздействия в системе стабилизации давления расплава полимера в зоне дозирования экструдера. Как показано в [2], количественные параметры рассматриваемого возмущения могут быть легко определены экспериментальным путем.

Динамическая компенсация возмущающих воздействий в виде управления по прямой связи может заблаговременно компенсировать сильные измеряемые помехи. При этом передаточная функция  $z(p)$ , учитывающая действие возмущающего воздействия на объект, может быть найдена экспериментально в режиме ручного управления процессом (рисунок). Затем на ее основании можно вывести передаточную функцию  $c(p)$  для управляющего элемента, компенсирующего возмущающее воздействие.

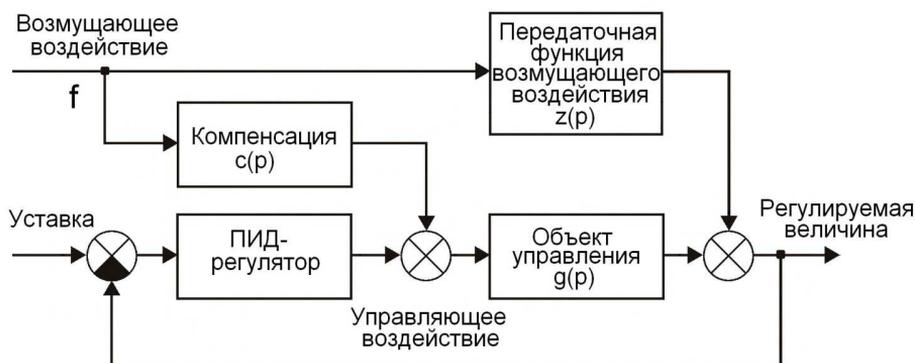


Рис. Динамическая компенсация возмущающего воздействия в системе регулирования давления расплава полимера

Предлагаемая методика определения характеристик гармонических возмущающих воздействий в системе стабилизации давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера и синтеза системы с учётом реальных возмущений при автоматизации непрерывных технологических процессов изолирования проводных кабелей связи позволяет гарантировать обеспечение требуемого качества кабеля как канала связи с учетом его полосы пропускания.

### Библиографический список

1. Дорезюк Н.И. Гармонический анализ периодических неоднородностей волнового сопротивления коаксиальных кабелей // *Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника.* – 1974. – № 6. – С. 18–22.
2. Митрошин В.Н. Регулирование давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера при пульсирующем градиенте давления // *Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки: научный журнал.* – Самара: Изд-во СамГТУ, 2011. – № 1(29). – С. 39–44.
3. Митрошин В.Н., Митрошин Ю.В. Автоматизация процесса наложения изоляции при непрерывном производстве проводных кабелей связи // *Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2010): материалы междунар. науч.-техн. конф.; Самара, 17–21 мая 2010 г.* – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2010. – С. 36–40.
4. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 с.

### References

1. Doreziuk N.I. Garmonicheskii analiz periodicheskikh neodnorodnostei volnovogo soprotivleniia koaksial'nykh kabelei [Harmonic analysis of periodic non-uniformity of wave resistance of coaxial cables]. *Elektrotekhnicheskaiia promyshlennost'. Kabel'naiia tekhnika*, 1974, no. 6, pp. 18-22.
2. Mitroshin V.N. Regulirowanie davleniia rasplava polimera v zone dozirovaniia odnocherviachnogo ekstrudera pri pul'siruiushchem gradiente davleniia [Pressure control of a melt of polymer in a zone of dispensing of the one-worm extruder in case of the pulsating pressure gradient]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki: nauchnyi zhurnal*: Izdatel'stvo Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, no. 1(29), pp. 39-44.
3. Mitroshin V.N., Mitroshin Iu.V. Avtomatizatsiia protsessa nalozheniia izoliatsii pri nepreryvnom proizvodstve provodnykh kabelei svyazi [Automation of process of superimposing of insulation in case of the process production of wire communication wires]. *Informatsionnye, izmeritel'nye i upravliaiushchie sistemy: materialy mezhdunarodnoi nauchno-*

*tekhnicheskoi konferentsii (Samara, 17–21 maia 2010 g). Izdatel'stvo Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2010, pp. 36-40.*

4. Torner R.V. Teoreticheskie osnovy pererabotki polimerov [Theoretical bases of processing of polymers]. Moscow: Khimiia, 1977. 464 p.

### **Сведения об авторе**

**Сотникова Екатерина Александровна** (Самара, Россия) – магистрантка Самарского государственного технического университета (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, e-mail: sotnikova\_katerina91@mail.ru).

### **About the author**

**Sotnikova Ekaterina Aleksandrovna** (Samara, Russian Federation) the undergraduate of the Samara State Technical University (443100, Samara, Molodogvardeyskaya St., 244, e-mail: sotnikova\_katerina91@mail.ru).

Получено 20.02.2015