

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ НЕПРЕРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА\***

***В.Н. Митрошин, Ю.В. Митрошин***

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: vmitroshin@mail.ru

*Предложена методика использования системного подхода при автоматизации многооперационных непрерывных технологических процессов производства проводных кабелей связи, позволяющая сформулировать требования к локальным системам автоматической стабилизации режимных параметров работы технологического оборудования и локальных критериев качества кабеля на всех операциях его изготовления для обеспечения требуемого качества кабеля как канала связи, с учетом его полосы пропускания.*

***Ключевые слова:*** системный подход, автоматизация, производство кабелей.

Процессы производства проводных кабелей связи являются непрерывными, многооперационными технологическими процессами. При этом качество изготавливаемого кабеля как канала связи (коаксиального кабеля, LAN-кабеля) определяется неким глобальным критерием (обобщенным параметром) качества [1], характеризующим потребительские свойства продукции, в роли которого чаще всего выступает однородность волнового сопротивления кабеля по его длине [2].

Формирование обобщенного параметра качества кабеля осуществляется на всех технологических операциях его изготовления. Изготовление кабелей связи подвержено влиянию случайных возмущающих воздействий, а потому контролируемые «на проход» параметры кабельного изделия (локальные параметры качества) имеют непостоянные по длине кабеля значения и являются случайными функциями координаты длины кабеля  $x$  – т.е. нерегулярными. Большинство технологических режимных параметров оборудования вследствие случайных возмущений нестационарны во времени.

Поэтому необходимыми условиями получения качественной продукции являются автоматизация всех промежуточных технологических операций её производства для минимизации нерегулярностей локальных параметров качества кабеля и стабилизация режимных параметров работы оборудования.

«Оптимизация» всех локальных систем автоматической стабилизации должна основываться на использовании математической модели, отражающей взаимосвязь обобщенного параметра, характеризующего качество нерегулярного кабеля, с управляемыми параметрами (локальными параметрами качества) кабеля и технологическими режимными параметрами, являющимися воздействиями объекта управления [3].

В свою очередь, сформулировать требования к качеству локальных систем ав-

---

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты 08-08-00383-а, 09-08-00297-а); АБИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект №2.1.2/4236) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (госконтракт № П231 от 23 июня 2009 г.).

*Владимир Николаевич Митрошин – д.т.н., доцент.*

*Юрий Владимирович Митрошин – магистрант.*

томатической стабилизации возможно лишь на основе применения системного подхода к автоматизируемому технологическому процессу изготовления кабеля.

**Основные принципы системного подхода и системные свойства технологических процессов кабельного производства.** Системный подход является эффективным методом анализа и синтеза сложных многосвязных систем автоматического управления, содержащих элементы различной физической природы [4]. К подобным системам, безусловно, можно отнести системы управления основными процессами кабельного производства: процессом наложения кабельной изоляции, парной скрутки при производстве LAN-кабелей, наложения внешнего проводника коаксиального кабеля и т.д. Основные принципы системного подхода формулируются следующим образом [5]:

1. Принцип декомпозиции – взаимосвязь (зависимость, связность) и развитие (независимость, автономность) части и целого.

2. Принцип интеграции – особенность системного подхода, направленная на изучение интегративных свойств и закономерностей системы, раскрытие базисных механизмов в интеграции целого.

3. Принцип иерархии, который отражает преимущественное влияние верхних уровней системы на нижние, по сравнению с обратным влиянием в смысле целеполагания, то есть формирует интегративные свойства системы.

4. Принцип формализации, отражающий направленность системного подхода на получение количественных характеристик, на сужение неоднозначности понятий, определений и оценок.

Система представляет собой определенное множество взаимосвязанных элементов, образующих устойчивое единство и целостность, обладающее интегральными свойствами и закономерностями.

Основными уровнями описания систем являются макроскопический и микроскопический [5]. На макроуровне игнорируется детальная структура системы, она оценивается как целое с точки зрения ее глобального критерия качества. На микроуровне, напротив, детально описываются структура системы, компоненты системы и их связи. При этом анализ систем осуществляется в следующих формах:

1. Морфологический анализ дает представление о строении системы и осуществляется обычно последовательно от подсистем верхнего уровня вниз вплоть до уровня элементов с выявлением характера межкомпонентных связей на разных стадиях существования системы.

2. Функциональное описание отражает также иерархию функций, процессов и параметров системы.

Таким образом, для того чтобы какой-либо объект мог рассматриваться как система, во-первых, он должен естественно разбиваться на части, то есть состоять из подсистем; во-вторых, части должны составлять единое целое так, чтобы это способствовало исследованию всей системы в целом; в-третьих, должна существовать такая взаимосвязь элементов в системе, которую можно описать математически; и, наконец, сама система должна быть подсистемой большей системы.

Другими словами, система есть функциональная совокупность элементов, работа которых взаимосвязана и направлена на достижение какой-либо единой цели, определяющей возможность получения полезных для субъекта действия результатов, удовлетворяющих поставленной потребности. При этом понятие целостности является определяющим для системы. Если в данной совокупности все ее части взаимодействуют в создании рассматриваемого эффекта, то есть интегративного

системного свойства, то она называется системой [6].

Непрерывный технологический процесс изготовления кабеля связи, согласно приведенному выше определению, можно рассматривать как систему. Действительно, технологический процесс является частью жизненного цикла изделия. Совокупность связей с предыдущими и последующими технологическими операциями и управляющие технологические параметры образуют внешнее окружение системы. Имеется цель технологического процесса, которая не может быть достигнута отдельными его элементами вне связей между ними. Совокупность данных связей определяет состояние и функционирование технологического процесса, а их изменение определяется изменением технологических параметров. Качество функционирования технологического процесса как системы оценивается по показателю его эффективности, под которым понимается некая количественная характеристика, оценивающая степень приспособления системы к выполнению задачи. Этот показатель и является интегративным системным свойством, именуемым глобальным критерием качества. А для функциональных подсистем (отдельных технологических операций кабельного производства, например, операции наложения изоляции на токопроводящую медную жилу) введено понятие локальных критериев качества.

#### **Критерии качества технологических процессов кабельного производства.**

При создании и анализе функционирования какой-либо системы управления всегда подразумевается какой-либо глобальный критерий ее качества, что является отражением фундаментального принципа целостности, принятого в системном подходе. Для того чтобы определить наличие такого критерия, необходимо подняться на одну или несколько ступеней иерархии в структуре функционирования изучаемого или создаваемого объекта. На основании другого фундаментального принципа системного подхода – принципа декомпозиции – возможен переход от глобального критерия качества функционирования системы к локальным критериям качества. Это, в свою очередь, позволяет определить структуру математических моделей и топологию соответствующих подсистем управления, обеспечивающих соблюдение требований к локальным критериям качества и, как следствие, достижение экстремальных значений глобального показателя эффективности технологического процесса.

Анализ критериев качества систем для технологических процессов кабельного производства позволяет выделить следующие функциональные типы критериев качества систем: технико-экономические, технологические (частные, локальные критерии качества) и эксплуатационные (глобальные).

Применительно к технологическим процессам изготовления коаксиальных кабелей к эксплуатационным критериям качества продукции будем относить такие критерии, которые характеризуют потребительские ее свойства при нормальных условиях эксплуатации. Например, к ним можно отнести коэффициент стоячей волны напряжения (КСВН) в рабочем диапазоне частот [7], однородность волнового сопротивления кабеля [2, 7, 8] и т. п. Неоднородности волнового сопротивления по длине кабеля (отклонения волнового сопротивления от номинального значения) и 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 [9].

К локальным критериям качества будем относить такие, которые характеризуют качество технологических операций при изготовлении продукции. Например, на операции наложения кабельной изоляции к ним относятся такие непосредственно

контролируемые критерии качества, как нерегулярность погонной емкости изолированной жилы, нерегулярность диаметра жилы по изоляции и т.п. [10, 11].

К технико-экономическим критериям будем относить показатели, характеризующие качество работы оборудования цеха, участка и т. п., например, производительность технологической линии, ее энергопотребление, различные экономические показатели – эффективность капиталовложений, прибыль, приведенный доход.

Все указанные группы критериев связаны между собой, что, с одной стороны, является отражением фундаментального принципа системного анализа – принципа целевой ориентации, а с другой – является косвенным подтверждением наличия глобального критерия качества разрабатываемой системы. Так, недопустимые отклонения технологического критерия, например температуры зоны нагрева цилиндра экструдера при наложении кабельной изоляции, от своего оптимального значения могут привести к снижению эксплуатационного критерия – изменению волнового сопротивления кабеля либо к появлению внутренних механических напряжений в изоляции. А это, в свою очередь, приведет к снижению цены кабеля и тем самым к уменьшению технико-экономической эффективности кабельного производства.

**Взаимосвязь обобщенных параметров качества кабелей с управляемыми параметрами – локальными параметрами качества.** Известно выражение для волнового сопротивления  $Z$  коаксиального кабеля [7]

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \frac{D}{d}, \quad (1)$$

где  $L, C$  – погонные индуктивность и ёмкость коаксиального кабеля соответственно;  $D$  – внутренний диаметр внешнего проводника;  $d$  – диаметр внутреннего проводника;  $\varepsilon_r$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды между проводниками. При производстве коаксиальных кабелей при отсутствии явного брака всегда соблюдается условие  $D \geq D_{из}$ , что обеспечивается отрицательным допуском на диаметр изоляции  $D_{из}$  на операции изолирования. Тогда погонная емкость коаксиального кабеля может быть определена как емкость двухслойного цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{из}}{\varepsilon_{из} \ln \frac{D}{D_{из}} + \ln \frac{D_{из}}{d}}, \quad (2)$$

здесь  $\varepsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума;  $\varepsilon_{из}$  – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции. Выражение (1) с учётом (2) может быть преобразовано к виду:

$$Z = 60 \sqrt{\ln \frac{D}{D_{из}} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\varepsilon_{из}} \cdot \ln \frac{D_{из}}{d} \cdot \ln \frac{D}{d}}. \quad (3)$$

Для LAN-кабелей 7-й категории (на базе экранированной витой пары) выражение для волнового сопротивления имеет вид [12]

$$Z = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon_{эКВ}}} \cdot \ln \frac{D_{из1} + D_{из2} - d}{d} \cdot \frac{4d_э^2 - (D_{из1} + D_{из2})^2}{4d_э^2 + (D_{из1} + D_{из2})^2}, \quad (4)$$

где  $D_{из1}$  и  $D_{из2}$  – диаметры по изоляции проводов пары;  $\varepsilon_{эКВ}$  – эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость скрученной пары;  $d_э$  – диаметр экрана.

Полученные выражения (3) и (4) позволяют формулировать требования к параметрам кабельных заготовок на промежуточных технологических операциях производства кабелей связи, например на операции изолирования.

С учетом коэффициентов чувствительности  $K_j$  волнового сопротивления к технологическим параметрам качества  $\Pi_j$  имеем для полной производной зависимости  $Z(x)$ :

$$\frac{dZ}{dx} = \sum_{j=1}^n K_j \cdot \frac{d\Pi_j}{dx} = \sum_{j=1}^n \frac{\partial Z}{\partial \Pi_j} \cdot \frac{d\Pi_j}{dx}. \quad (5)$$

Отсюда получаем выражение для линейного приближения вариации волнового сопротивления при достаточно малых воздействиях по приращениям частных параметров качества относительно номинального режима, характеризуемого  $n$ -мерным вектором  $\overline{\Pi}_n = (\Pi_{j_n}), j = \overline{1, n}$ :

$$\Delta Z(x) = \sum_{j=1}^n \left. \frac{\partial Z}{\partial \Pi_j} \right|_0 \cdot \Delta \Pi_j(x) = \sum_{j=1}^n K_j \Delta \Pi_j(x). \quad (6)$$

Зависимость (6) характеризует взаимосвязь отклонения  $\Delta Z(x)$  волнового сопротивления кабеля от своего номинального значения, рассматриваемого в качестве эксплуатационного показателя качества, с отклонениями технологических параметров качества кабеля от своих номинальных значений. Она позволяет сформулировать требования к предельным допускам отклонений локальных параметров качества, формируемых на промежуточных операциях изготовления кабеля.

Известно [9], что максимальная частота передаваемого по кабелю электрического сигнала (верхняя частота рабочего диапазона кабеля)  $f_b$  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.

Авторами осуществлено [13] экспериментальное обследование процесса изолирования на линии ME-90 фирмы Maillefer, для чего была экспериментально снята с помощью датчика диаметра модели LG1010 фирмы Beta Instrument Company Limited кривая нерегулярности диаметра изоляции кабельной жилы  $\Delta D_{\text{из}}$  по её длине. Установлено, что имеются высокочастотные периодические неоднородности диаметра накладываемой кабельной изоляции, которые обусловлены периодическими пульсациями давления расплава в кабельной головке, вызываемыми вращающимся шнеком экструдера. Для устранения подобных высокочастотных периодических неоднородностей диаметра изоляции неприменимы классические методы использования систем стабилизации диаметра по сигналу ошибки, измеряемой на выходе ванн охлаждения экструзионной линии. Необходимо использование систем стабилизации давления расплава в кабельной головке в пределах одного оборота шнека экструдера.

Предлагаемая методика использования системного подхода при автоматизации многооперационных непрерывных технологических процессов производства про-

водных кабелей связи позволяет гарантировать обеспечение требуемого качества кабеля как канала связи с учетом его полосы пропускания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гроднев И.И., Шварцман В.О. Теория направляющих систем связи. – М.: Связь, 1978. – 296 с.
2. Ефимов Н.Е., Останькович Г.А. Радиочастотные линии передач. – М.: Связь, 1977. – 408 с.
3. Чостковский Б.К., Смородинов Д.А. Оптимальное управление возмущенным процессом в многоконтурной системе // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. – 2009. – № 3(25). – С. 61-66.
4. Шашков А.Г. Системно-структурный анализ процесса теплообмена и его применение. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 280 с.
5. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
6. Лившиц М.Ю. Теория и алгоритмы оптимального управления термодиффузионными процессами технологической теплофизики по системным критериям качества: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Самара, 2001. – 40 с.
7. Гроднев И.И., Фролов П.А. Коаксиальные кабели связи. – М.: Радио и связь, 1983. – 208 с.
8. Дорезюк Н.И., Попов М.Ф. Радиочастотные кабели высокой регулярности. – М.: Связь, 1979. – 104 с.
9. Дорезюк Н.И. Гармонический анализ периодических неоднородностей волнового сопротивления коаксиальных кабелей. – Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника, 1974, № 6, с. 18-22.
10. Laurich K., Muller G., Bluckler B., Wallau H. Untersuchung einer Zweigroßenregelstrecke an einer Kabelummantelungsanlage. – Mess. – Steuern – Regeln, 1979, 22, №1. – s. 28-31.
11. Losenicky M., Hongu J., Filev D. Modellbildung eins kabellummantelungsprozesses. – Mess. – Steuern – Regeln, 1981, №10. – s. 553-557.
12. Митрошин В.Н. Математическое описание формирования параметров качества LAN-кабелей при их изготовлении // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки, 2005, Вып. 37. – С. 54-58.
13. Митрошин В.Н., Митрошин Ю.В. Автоматизация процесса наложения изоляции при непрерывном производстве проводных кабелей связи // Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2010). Материалы Международной научно-технической конференции (Самара, 17-21 мая 2010 г.). – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 36-40.

*Статья поступила в редакцию 28 июня 2010 г.*

UDC 681.5:621.315

## THE SYSTEM APPROACH USE IN AUTOMATION OF INCESSANT TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CABLE MANUFACTURING

**V.N. Mitroshin, Y.V. Mitroshin**

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

*A methodology of the system approach use has been proposed in automation of many-stage incessant technological processes of wire communication cable manufacturing, that has allowed to state requirements to local systems of automatic stabilization of equipment mode parameters and local cable quality criteria on all cable manufacturing stages for providing required quality of the cable as a connection channel adjusted for its pass-band.*

**Keywords:** *system approach, automation, cable manufacture.*

---

Vladimir N. Mitroshin – Doctor of Technical Sciences, Professor.  
Yury V. Mitroshin – Graduate student.