

показанной на рис. 7, б, один из циклов превращается в предельный цикл системы и все траектории стремятся к нему.

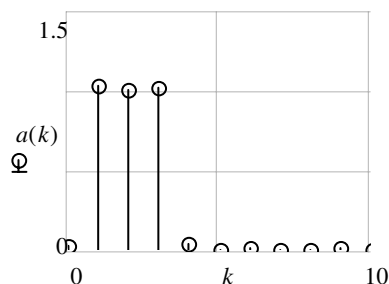


Рис. 8. Спектр колебаний в системе

На рис. 8 показан спектр автоколебания. Видно, что спектр, также как и заданный к синтезу, содержит три первые гармоники, амплитуды которых практически равны единице с погрешностью, не превышающей 4 %. Эта погрешность, а так же наличие высших гармоник малой амплитуды при  $k > 3$

обусловлены неточной аппроксимацией функции  $F$ .

В частном случае, когда заданная форма сигнала синусоидальная, т.е.  $x_{cr}(t) = \sin \frac{2\pi}{T}t = \sin \omega_0 t$ , функция  $F(x) = \omega_0^2 x$ , тогда ур. (9) превращается в уравнение

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = e \omega_0 \dot{x} [1 - (\omega_0 \dot{x})^2 - x^2],$$

которое имеет решения в виде синусоидальных колебаний.

#### Заключение

Таким образом, создан эффективный метод синтеза автоколебательной системы с заданной формой колебаний и заданным спектром. Метод нашёл применение при синтезе автоколебательных систем генераторов электрических сигналов. Его можно применить при синтезе стимулов в медицине, программных движений механических систем и в других случаях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования. — М.: Высшая школа, 2004. — 365 с.
2. Бойчук Л.М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. — М.: Энергия, 1971. — 100 с.
3. Рыбин Ю.К. Синтез генераторов синусоидальных колебаний. // Радиотехника и электроника. — 1984. — Т. 27. — № 9. — С. 1793—1797.
4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. — М.: Наука, 1981. — 568 с.
5. Рейсиг Р., Сансоне Г., Конти Р. Качественная теория нелинейных дифференциальных уравнений. — М.: Наука, 1974. — 318 с.
6. Рыбин Ю. К., Барановский А. Л. Синтез динамической системы со стохастическими автоколебаниями // Радиотехника и электроника. — 1988. — Т. 33. — № 8. — С. 1643—1651.

УДК 681.513.3

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

П.С. Глушук

Томский политехнический университет  
E-mail: pavelthegreat@mail.ru

Разработана виртуальная панель, отображающая в реальном масштабе времени весь технологический процесс изготовления кабельных изделий. Предусмотрена возможность контроля любого конкретного параметра кабеля при помощи многооконного режима. В программном обеспечении применена нечеткая логика, позволяющая отслеживать нарушения производственного процесса и корректировать действия оператора.

Ввиду непрерывности технологического процесса изготовления кабельных изделий требуется непрерывный контроль параметров кабеля в реальном времени для оперативного вмешательства в технологический процесс при обнаружении брака. Проблемы контроля параметров кабеля существуют с момента организации в 1840 г. в Санкт-Петербурге их промышленного производства и заключаются в следующем:

1. Контроль параметров изделия необходимо проводить сразу после выполнения технологических операций, при которых формируется геометрический размер (волочение, скрутка гиб-

кой жилы, наложение изоляции на токоведущую жилу, наложение оболочки кабеля и т.п.).

2. Контроль параметров изделия необходимо проводить при движении контролируемого изделия с линейной скоростью до 50 м/с, что делает невозможным применение контактных методов, а также накладывает жесткие требования к быстродействию измерителя. Кроме того, в случае контроля диаметра изоляции кабеля до ее охлаждения, механический контакт с изоляцией, нагретой до температуры 180...240 °С вообще недопустим.
3. Зона контроля геометрического размера на технологической линии и место нахождения опе-

ратора линии разнесены обычно на десятки метров, что требует дистанционной передачи измеренных параметров оператору.

4. Допустимая погрешность измерения диаметра достаточно мала и для малых измеряемых диаметров составляет 1...5 мкм, что лежит на границе возможностей большинства известных методов измерения.
5. Условия эксплуатации измерительных приборов на кабельном производстве далеки от лабораторных и приближаются к экстремальным.

В настоящее время существует много автоматизированных линий для контроля параметров при производстве кабельных изделий, но все эти линии производятся за рубежом. В этой связи разработка компьютерной системы контроля параметров кабельных изделий при их производстве весьма актуальна.

Данная статья посвящена разработке виртуальной панели контроля параметров кабельных изделий. Для разработки этой панели использовано программное обеспечение LabView 5.1 [2], позволяющее наиболее быстро и просто создавать удобный человеко-машинный интерфейс, работающий в реальном масштабе времени.

При разработке дизайна виртуальной панели необходимо рассмотреть типовую технологическую линию наложения изоляции кабеля. Такая линия с установленными на ней приборами непрерывного контроля параметров изоляции кабеля показана на рис. 1 [3].

Для создания виртуальной панели воспользуемся следующими рассуждениями [4]: при выполнении человеком функций контроля параметров технологических объектов или слежения по приборам за движущимися целями, его реакция на непосредственно воспринимаемый сигнал вследствие динамической инерционности управляемой системой оказывается запоздалой, поэтому оператор должен предвосхищать дальнейший ход процессов и осуществлять опережающее воздействие на систему.

Следовательно, задачей панели контроля качества производства кабельных изделий является

своевременное информирование оператора о состоянии технологического процесса.

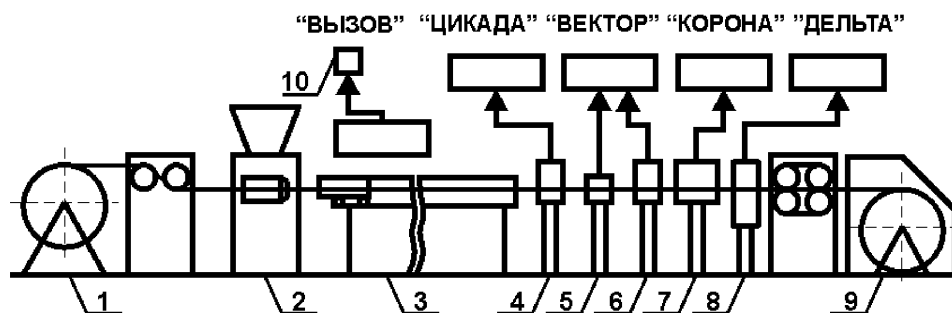
Для наглядного представления информации о параметрах кабеля целесообразно использовать анимационный вариант изменения параметров кабеля. Он позволяет оператору в реальном масштабе времени отслеживать одновременно изменения всех контролируемых параметров кабеля, а при необходимости вывести на панель информацию о конкретном параметре кабеля. Поэтому виртуальная модель технологической линии должна содержать всю необходимую информацию о технологическом процессе. Для этого на панели контроля качества формируются графические поля многооконого перехода, предоставляя оператору возможность визуальной оценки хода процесса в многоуровневом представлении (рис. 2).

Из рисунка видно, что панель контроля качества содержит все необходимые информационные поля, в которых расположены индикаторы приборов, контролирующих параметры кабельного изделия. При выходе какого-либо параметра за пределы нормы, соответствующий индикатор начинает мигать красным светом.

Для проведения детального анализа конкретного параметра кабеля введен многооконый режим. К примеру, на рис. 3 помимо основного информационного окна содержится окно, которое сообщает оператору дополнительную информацию о диаметре кабеля, диаметре жилы и эксцентриситете.

Также для контроля качества производимого кабеля предусмотрено окно, в котором отображаются сведения после обработки компьютером всех полученных данных о параметрах кабеля и выдаются сообщения в виде рекомендаций по изменению параметров технологического процесса. Выбор соответствующей рекомендации осуществляется при помощи нечеткой логики, как средства наиболее простой идентификации состояния технологических процессов.

Нечеткая логика быстро стала одной из наиболее успешных современных технологий для разработки сложных систем управления. В то время как



**Рис. 1.** Технологическая линия наложения изоляции кабеля: 1) отдающее устройство; 2) экструдер; 3) охлаждающая ванна; 4) измерительная головка "Цикада", показывающая диаметр готового кабельного изделия; 5) индуктор, возбуждающий в токопроводящей жиле кабеля переменный ток; 6) головка "Вектор", измеряющая смещение центра жилы кабеля относительно центра изоляции; 7) высоковольтный блок "Корона", проверяющий изоляцию кабеля; 8) метражное устройство "Дельта", показывающее длину изготовленного кабельного изделия; 9) принимающее устройство; 10) устройство "Вызов", сигнализирующее о браке продукции

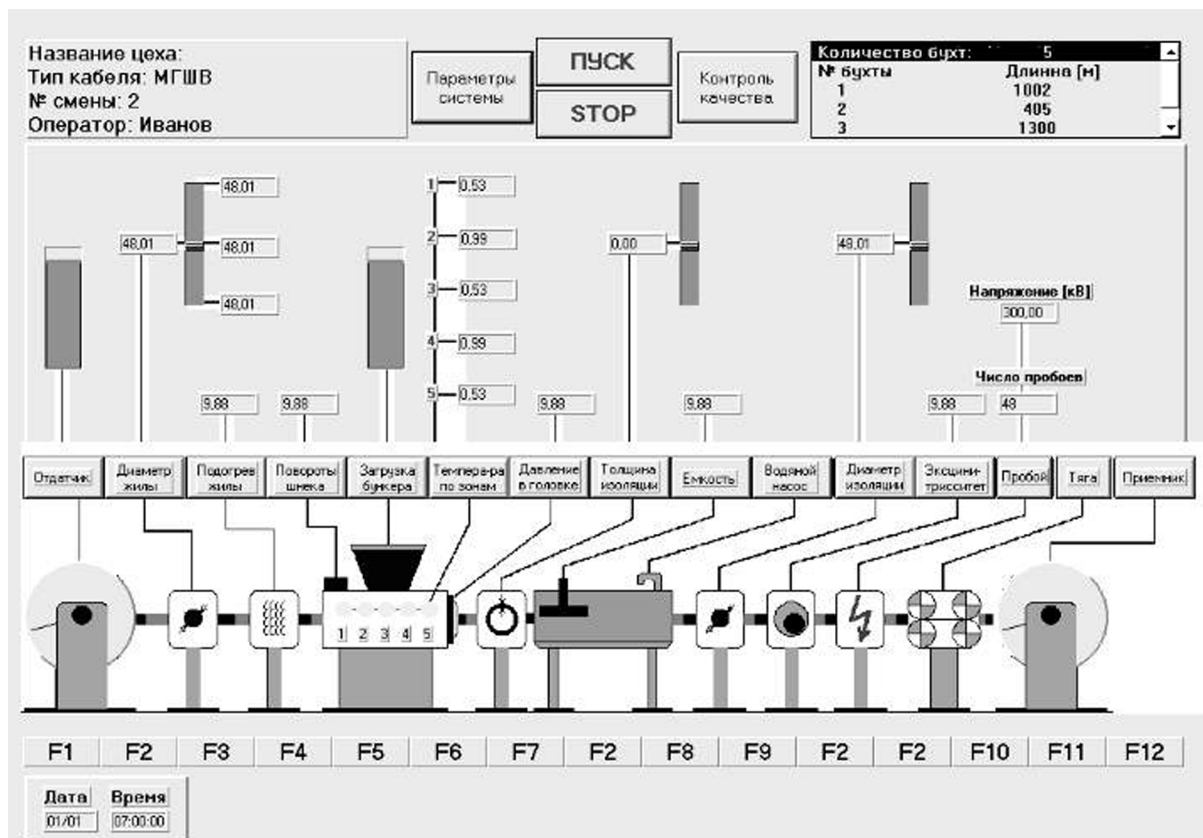


Рис. 2. Виртуальная модель технологической линии

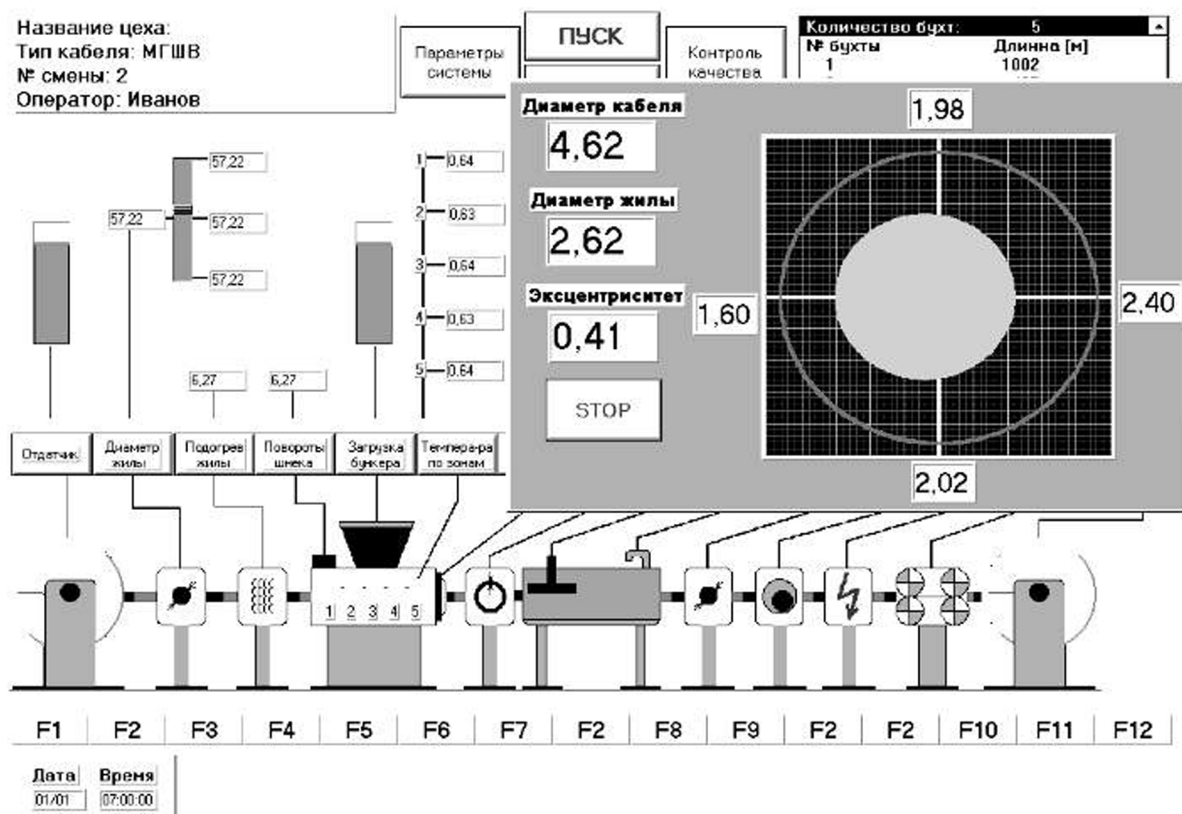


Рис. 3. Многооконный режим виртуальной панели

другие методы требуют точных уравнений к моделям реального поведения, методы нечеткой логики могут приспособлять неоднозначности реально-го человеческого языка к логике.

Для использования нечеткой логики при управлении объектами применяются нечеткие контроллеры. Нечеткий контроллер формируется из трех шагов:

1. **ФАЗИФИКАЦИИ** – включает в себя создание функции членства, описывающего входные и выходные переменные. Каждая входная переменная нечеткого контроллера описывается термами традиционной логики, число которых зависит от необходимой точности описания процесса. Самый распространенный вариант это 5 термов (отрицательное большое, отрицательное среднее, нормальное, положительное среднее, положительное большое).
2. **FUZZY ИНТЕРФЕЙСА** – содержит базу правил, основанных на опыте инженера. Нечеткий контроллер принимает решения и генерирует выходные величины, по правилу:  
**IF** (условие1) **and** (условие2) **then** (действие).
3. **Фундаментальное заключение** основывается на способе *modus ponens*. Цель состоит в том, чтобы

генерировать логические заключения даже для правил с многократными априорными условиями и конфликтами правил.

4. **ДЕФАЗИФИКАЦИИ** – переводит лингвистический результат снова в реальную величину, представляющую текущую величину управляющей переменной или в данном случае определяет насколько верна определенная причина для того или иного случая.

В результате работы нечеткого контроллера компьютер выдает логическое заключение с указанием причины нарушения нормального хода того или иного процесса или тогда, когда процесс в норме, но желательны рекомендации по улучшению качества продукции. Результаты этого вывода предоставляются в виде экранных форм заданного формата.

Таким образом, на виртуальной панели в реальном масштабе времени отображается весь технологический процесс изготовления кабельных изделий. Также предусмотрена возможность контроля любого конкретного параметра кабеля при помощи многооконного режима. Использование нечеткой логики уже на ранних стадиях позволяет отслеживать нарушения производственного процесса и корректировать действия оператора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарле Д.Е. Зарождение отечественной кабельной техники // Вопросы истории науки и техники. – 1991. – № 3. – С. 47–53.
2. Жарков Ф.П., Каратаев В.В., Никифоров В.Ф., Панов В.С. Использование виртуальных инструментов LabVIEW. – М.: Радио и связь, 1999. – 268 с.
3. Фролов Д.Н., Свендровский А.Р., Гольцеймер А.А., Гладышев Ю.Г. Опыт разработки устройства бесконтактного измерения диаметра кабельных изделий // Электротехника. – 1991. – № 3. – С. 26–28.
4. Венда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. – М.: Машиностроение, 1975. – 186 с.

УДК 621.311

## РЕГУЛЯТОР БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКИ АВТОНОМНОЙ МИКРОГЭС

Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов

Томский политехнический университет  
E-mail: serob99@mail.ru

*Представлены результаты исследований переходных и установившихся режимов работы автономных систем электроснабжения, использующих энергию малых водотоков, с автобалластными системами стабилизации напряжения. Предложена принципиальная электрическая схема регулятора балластной нагрузки автономной микроГЭС, обеспечивающая высокое качество стабилизации выходных электрических параметров станции. Приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний предложенного устройства, даны его основные технические характеристики.*

Экономическое состояние любого государства во многом определяется уровнем и эффективностью использования энергии. При этом устойчивое экономическое развитие страны возможно только при сохранении благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения жизненных потребностей нынешнего и будущего поколений. В связи с этим приоритетным направлением развития современной

энергетики во всем мире является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Наиболее конкурентоспособной областью применения установок малой энергетики являются зоны децентрализованного электроснабжения, которые расположены, как правило, в отдаленных труднодоступных районах. Потребителями энергии в этих районах являются в большинстве случаев различные сельскохозяйственные объекты, небольшие