

## АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТП ВИНОДЕЛИЯ С НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ВИНОМАТЕРИАЛОВ

М.В. Жиров (МГТА), В.В. Макаров (ИПУ РАН)

Рассматривается адаптивная система управления ТП виноделия с нестационарными параметрами вино-материалов, использующая идентификатор в контуре обратной связи и ЛПР во внешнем контуре управления.

### Введение

Нестационарность моделей ТП вызвана изменением свойств как самого ТП и объекта управления, так и многономенклатурностью производства.

Изменение во времени параметров ТП, например, в виноделии, связано прежде всего с изменением свойств поступающих вино-материалов, а также с износом, старением и выходом из строя технологического оборудования, образованием винного камня, коллоидных фракций и их воздействием на датчики, емкости, трубопроводы и исполнительные механизмы.

В настоящей работе предлагается подход к адаптивной идентификации нестационарных ТП с марковскими параметрами (на примере ТП с нестационарными параметрами вино-материалов), основанный на применении локальной идентификации в задачах стохастического управления при построении моделей ТП в РМВ и управления по этим моделям [1-3].

### Параметрические модели ТП виноделия

В общем случае представим ТП виноделия как многомерный многосвязный объект управления с  $r$  входами и  $q$  выходами (рис. 1). На входе объекта имеются два принципиально различных типа входных каналов. Канал возмущений образуется из  $n$  наблюдаемых входов:

$$X^T(N) = (x_1(N), \dots, x_n(N)), X \in R_1^n,$$

где  $R_1^n$  – множество допустимых входов с ненаблюдаемыми неизвестными параметрами  $b_k(N)$ ,  $k = \overline{1, n}$ . Канал управления также наблюдаем:  $U_T(N) = (u_1(N), \dots, u_r(N))$ ,  $U \in R_2^r$ , где  $R_2^r$  – множество допустимых управлений, но в отличие от канала возмущений все его параметры известны:  $c_k$ ,  $k = \overline{1, r}$ , при этом:  $p = n + r$ .

В общем случае выход объекта представляет собой также наблюдаемый вектор:  $Y^T = (y_1(N), \dots, y_q(N))$ ,  $Y \in R_3^q$ , где  $R_3^q$  – множество допустимых выходов.

Предполагаем, что известна структура объекта. В нашем случае это означает, что известен порядок  $m \geq 2$

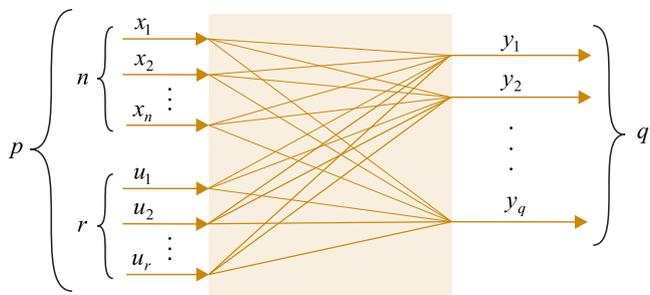


Рис. 1. Многомерный многосвязный объект управления

дифференциального или эквивалентного ему разностного уравнения, описывающего объект.

Наибольшее распространение в практике идентификации и управления получили разностные стохастические уравнения линейные относительно коэффициентов:

$$y(N) = \sum_i^m a_i(N)y(N-i) + \sum_j^n b_j(N)x_j(N) + \sum_k^r c_k u_k(N) + v(N), \quad (1)$$

где  $N = t/T = 0, 1, \dots$  – дискретное время,  $t$  – текущее непрерывное время,  $T$  – интервал дискретизации,  $v(N)$  – приведенный шум, действующий на объект. Таких моделей объектов управления должно быть  $q$ , где  $q$  – размерность выхода объекта (рис. 1).

В адаптивных системах управления нестационарными объектами выделяются два принципиально разных этапа работы – обучение и управление. В зависимости от принятой идеологии в системе управления эти этапы могут быть разделены или совмещены во времени.

После построения модели объекта начинается управление, которое рассчитывается на основе информации, полученной на этапе обучения и текущей информации по наблюдениям за входом/выходом объекта [1]:

$$U(N) = \Psi(X(N), y(N), \hat{y}(N)),$$

где  $\Psi()$  – закон управления.

В тех случаях, когда априорные оценки слишком грубы, наличие этапа обучения позволяет произвести их предварительную корректировку и тем самым избежать плохого начального управления. Для ТП такой подход позволяет удерживать выходные характеристики качества продукта в более жестких границах и тем самым повысить качество выходного продукта.

Разделение во времени обучения и управления необходимо для оптимизации в РМВ системы управления, однако при этом не гарантируется оптимальность на всем протяжении процесса (т.е. оценки коэффициентов модели являются локально оптимальными) [1-3].

### Двухконтурная адаптивная система управления

Критерий качества  $y(N)$  на выходе ТП, используемый в адаптивной системе с идентификатором [1, 3], не учитывает всех особенностей выходного продукта. Для повышения качества производимого продукта, к контуру адаптации добавлен внешний контур, включающий группу экспертов (ЛПР), вырабатывающих усредненное решение о качестве производимого продукта.

Это решение включает вербальную модель процесса (M2), на основе которой в функционирование регулятора вносятся изменения. Тогда управляющее воздействие примет вид:

$$U(N) = F(X(N), y(N), \hat{y}(N)) + \Delta(y(N), \frac{1}{L} \sum_i^L ЛПР_i),$$

где:  $\Delta(\dots)$  – приращение управления, устанавливаемое технологом-виноделом на базе решения экспертов-виноделов;

$\frac{1}{L} \sum_i^L ЛПР_i$  – усредненное решение  $L$  экспертов о качестве продукта.

Корректирующее управление, вносимое технологом-виноделом, состоит в изменении технологического регламента (технологической карты), в частности, диапазонов регулирования технологических параметров, режимов обработки виноматериалов, уставок, поставляемых виноматериалов и т.д.

Учитывая, что, в общем случае, рассматриваемый ТП является многомерным, многосвязным объектом управления (рис. 1) с  $n$ - входами,  $q$ -выходами и  $r$ -управляющими воздействиями, его можно представить в виде структуры (рис. 2) адаптивной системы управления многомерным многосвязным объектом управления на основе прогнозирующей модели  $M_1$  с вектором входов  $X(N)$ , вектором выходов  $Y(N)$ , идентификатором и внешним контуром управления на основе вербальной модели  $M_2$ .

**Параметрическая идентификация ТП виноделия**

В ряде ТП виноделия непрерывный характер процесса производства вин связан с дискретным поступлением исходного сырья – партий виноматериалов, при этом физико-химические свойства виноматериалов в каждой партии могут быть различными.

Государственный стандарт накладывает определенные ограничения на физико-химические показатели виноматериалов. В ТП виноделия входными измеряемыми характеристиками партии виноматериалов являются массовые концентрации ( $г/дм^3$ ) сахаров, титруемых кислот, летучих кислот, сернистой кислоты, приведенного экстракта, железа, меди, свинца.

Согласно ГОСТ 7208-93 допускаются определенные (небольшие) отклонения указанных характеристик. Следствием этого являются отклонения электрофизических и теплофизических параметров виноматериалов (электрофизические параметры: диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ , проводимость  $\sigma$ , удельная электропроводность  $\delta$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $tg \delta$ ; теплофизические параметры: удельная теплоемкость  $c$ , теплопроводность  $\lambda$ , температуропроводность  $a$ ).

Изменение электрофизических параметров виноматериалов во времени существенно влияет на точность измерений технологических параметров с использованием традиционных (одноканальных) промышленных датчиков, применяемых в АСУТП.

В связи с вышеизложенным, для ТП виноделия (и в частности, вторичного виноделия, например, ТП производства шампанского), характеризующихся не-

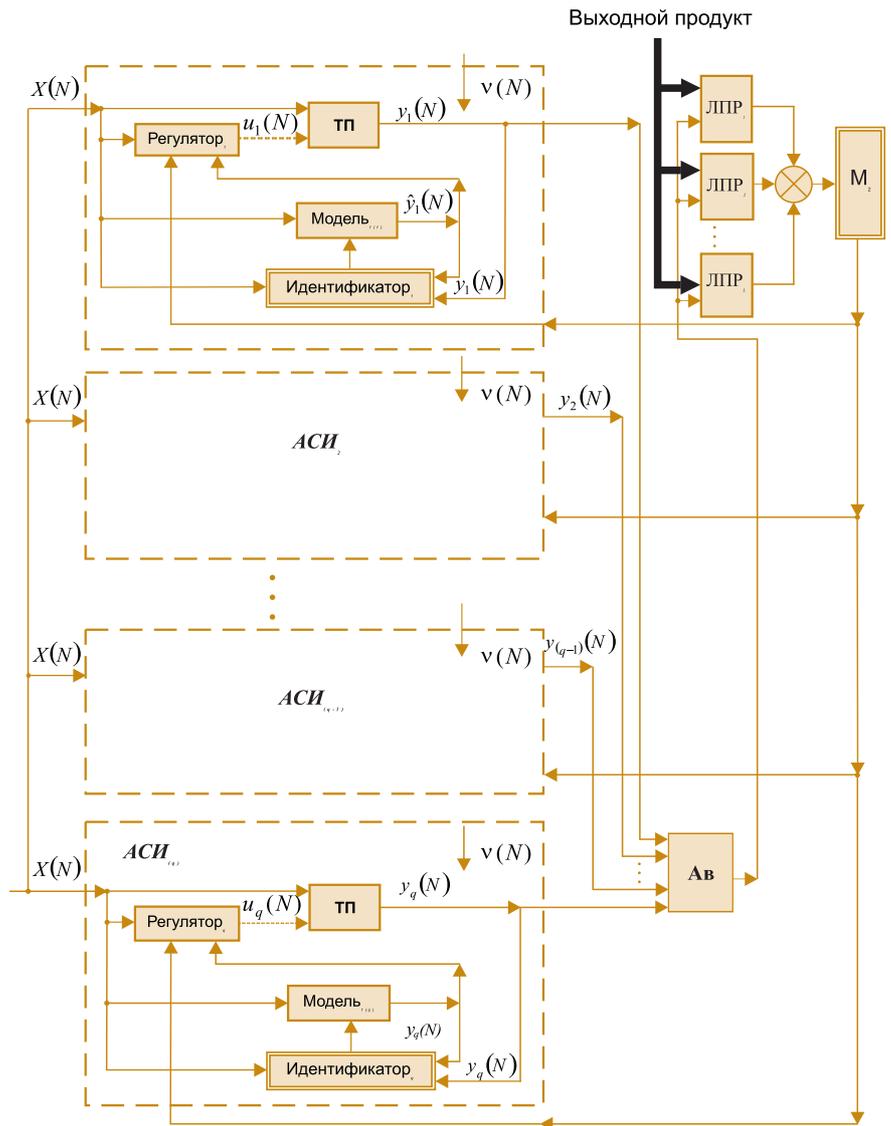


Рис. 2. Структура адаптивной системы управления многомерным многосвязным объектом на основе прогнозирующей модели с вектором входов  $X(N)$ , вектором выходов  $Y(N)$ , идентификатором и внешним контуром управления на основе вербальной модели  $M_2$  (где АВ – векторный анализатор)



Рис. 3. ПЛК Modicon TSX Premium

стационарностью параметров поступающих виноматериалов, целесообразен переход от оптимального управления к локально-оптимальному – адаптивному управлению.

В силу того, что параметры виноматериала могут существенно отличаться от партии к партии, на первой стадии ТП производится смешение различных партий виноматериалов. Эту смесь – купаж, будем называть новой партией материала, поступающего на вход ТП виноделия. Усреднение параметров;  $b_k(N)$ ,  $k = \overline{1, n}$ ,  $a_h(N)$ ,  $h = \overline{1, m}$ , осуществляемое на первой стадии ТП, позволяет практически использовать гипотезу о несущественном изменении параметров сырья от партии к партии. Это означает, что подстройка коэффициентов уравнения, описывающего ТП, для любой новой партии виноматериала осуществляется достаточно быстро.

В приложении к ТП виноделия уравнение модели объекта управления принимает следующий вид:

$$\hat{y}(N) = \hat{a}_1(N)\hat{y}(N-1) + \hat{a}_2(N)\hat{y}(N-2) + \sum_{j=1}^n \hat{b}_j(N)x_j(N).$$

#### Режимы управления ТП виноделия

В ходе обработки  $k$ -партий виноматериалов получим  $k$ -уравнений, аналогичных уравнению (1), описывающих ТП для каждой партии.

Прогнозирующие модели, построенные по этому принципу, позволяют оценить возможные значения параметров качества вина  $\hat{y}_i$ ,  $i = \overline{1, q}$  по наблюдаемым значениям оценок выхода в предыдущий и настоящий моменты времени (либо по измеряемым значениям выхода), по наблюдаемым значениям неуправляемых  $X^T(N) = (x_1(N), x_2(N), \dots, x_n(N))$  и управляемых входов  $U^T(N) = (u_1(N), u_2(N), \dots, u_r(N))$ .

Эти модели порождают локально-оптимальные управляющие воздействия на каждом из рассматриваемых интервалов ТП виноделия.

Рассмотрим адаптивный регулятор без ограничений на амплитуду сигнала, обеспечивающий поддержание

любого значения прогноза выхода, а, следовательно, и выхода при отсутствии ненаблюдаемых помех. С этой целью рассмотрим адаптивную систему только с одним управляемым входом:  $r = 1$  (одномерный регулятор). Для упрощения записи в модели объекта для прогноза выхода признак принадлежности к соответствующей партии виноматериала будем опускать, то есть  $\hat{y}(N|_r) = \hat{y}(N)$  и аналогично для каждой последующей партии. Таким образом, для первой партии виноматериала модель объекта с одним входом примет вид:

$$\hat{y}(N) = \hat{a}_1(T_1)\hat{y}(N-1) + \hat{a}_2(T_1)\hat{y}(N-2) + \sum_{j=1}^n \hat{b}_j(T_1)x_j(N) + cu(N).$$

Уравнение регулятора будет выглядеть следующим образом:

$$u(N) = \frac{\left[ \hat{y}(N) - (\hat{a}_1(T_1)\hat{y}(N-1) + \hat{a}_2(T_1)\hat{y}(N-2) + \sum_{j=1}^n \hat{b}_j(T_1)x_j(N)) \right]}{c}. \quad (2)$$

Адаптивный регулятор (2) соответствует ТП виноделия, когда единственным управляемым входом является температура тепло- или хладоносителя в "рубашке" технологического резервуара с виноматериалом.

Работы по программной реализации многомерных адаптивных регуляторов для ТП виноделия ведутся совместно специалистами МГТА, ИПУ РАН с использованием технических и программных средств компании Schneider Electric на базе ПЛК Modicon TSX Premium (рис. 3).

#### Список литературы

1. Жиров М.В., Макаров В.В. Адаптивная идентификация нестационарных ТП с марковскими параметрами в задачах стохастического управления // АИТ. 2002. №2.
2. Жиров М.В., Макаров В.В. Адаптивная идентификация и управление нестационарными ТП // Тр. Международной конференции "Параллельные вычисления и задачи управления", РАСО 2001. М.: ИПУ РАН, 2001.
3. Жиров М.В., Макаров В.В. Адаптивная система управления нестационарными ТП с идентификатором и ЛПП во внешнем контуре // Тр. II Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления", SICPRO 2003. М.: ИПУ РАН, 2003.

*Жиров Михаил Вениаминович – канд. техн. наук, профессор Московской государственной технологической академии, Макаров Вадим Владимирович – канд., техн. наук, доцент Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.*

*E-mail: makfone@ipu.rssi.ru*

17 февраля 2004 г. состоится 5-й семинар АВОК "Программное обеспечение для систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплоснабжения"

**Организатор:** Некоммерческое Партнерство "Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике" (НП "АВОК")

**Цель семинара:** представить перед аудиторией специалистов ПО для проектирования, расчета систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплоснабжения, подбора оборудования, электронные каталоги.

**Посещение семинара** – бесплатное, по пригласительным билетам. Забронировать пригласительные билеты можно уже сейчас, заполнив регистрационную форму на сайте АВОК в Интернете или направив по факсу письменную заявку с указанием фамилий участников.

**Место проведения:** Москва, ул. Новый Арбат, д. 36, Сектор "А".

[Http://www.avok.ru](http://www.avok.ru) Контактный телефон (095)921-60-31.