

УДК 662.642:621.926.7

Б.С.Кустов, Н.В.Мерзляков (6 курс, каф. МПУ), Л.М.Яковис, д.т.н., проф.

ПРИБЛИЖЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С САМОВЫРАВНИВАНИЕМ

Для широкого класса непрерывных технологических процессов разнообразные проблемы динамической оптимизации могут быть формализованы в виде задачи минимизации математического ожидания средних потерь на длительном интервале функционирования [1]

$$\lim_{T \rightarrow \infty} M \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T F(v(t), u(t)) dt \right\} \longrightarrow \min. \quad (1)$$

Модель технологического процесса обычно задается зависимостью вектора выходных переменных $v(t)$ от значений векторов управляющих воздействий $u(\tau)$ и контролируемых случайных возмущений $r(\tau)$ в предшествующие моменты времени τ , искажаемой неконтролируемыми случайными возмущениями $w(t)$

$$v(t) = f(u(\tau), r(\tau) : \forall \tau \in (-\infty, t)) + w(t). \quad (2)$$

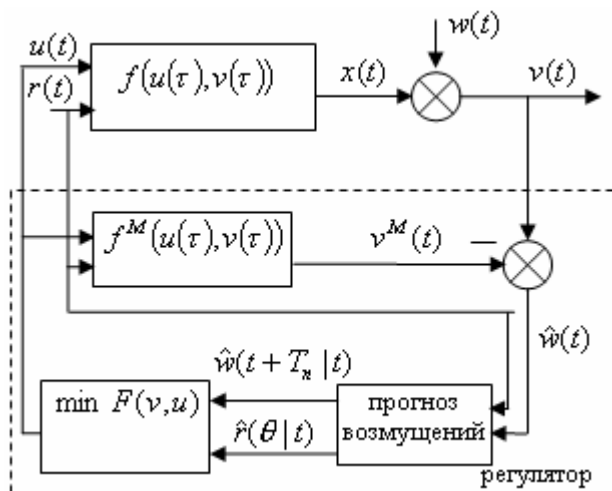


Рис. 1

При наличии характерных для технологических процессов перекрестных связей, сложной динамики, содержащей наряду с инерционными звеньями элементы чистого запаздывания, и ограничений $u(t) \in G_u$ задача нахождения оптимального управления (1), (2) не имеет точного решения даже в простых вариантах [2]. Один из подходов к приближенному решению состоит в применении схемы условного прогнозирования [3]. Ее суть заключается в том, что на каждом шаге управления с использованием обратной связи строится перспективный прогноз случайных возмущений, а затем с его

применением формируется многоходовая программа, опирающаяся на критерий (1), динамическую модель (2) и учитывающая ограничения, после чего реализуется начальный шаг намеченной программы. В данной работе рассматривается упрощенный вариант указанной схемы, где вместо сложной задачи расчета оптимальной программы с учетом динамики объекта решается существенно более простая задача статической оптимизации.

В соответствии с методикой условного прогнозирования блок-схема предлагаемого многомерного регулятора содержит цепь внутренней обратной связи, которая служит для получения оценки приведенных к выходу неконтролируемых возмущений $\hat{w}(t)$. В блоке прогноза возмущений с применением одного из известных методов прогнозирования случайных процессов осуществляется экстраполяция возмущений $r(t)$ и $w(t)$. Далее путем замены неизвестных значений возмущений спрогнозированными осуществляется переход от

стохастической задачи оптимизации к детерминированной. При этом должна быть определена программа $\mathbf{u}(\tau)$ для $\tau \in [t, \infty)$, минимизирующая целевую функцию

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T-t} \int_0^{T-t} F(\mathbf{v}(\tau), \mathbf{u}(\tau)) d\tau \quad (3)$$

при ограничениях

$$\mathbf{v}(\tau) = \mathbf{f}(\mathbf{u}(\theta), \hat{\mathbf{r}}(\theta|t) : \forall \theta \in (-\infty, \tau)) + \hat{\mathbf{w}}(\tau|t), \quad \mathbf{u}(\tau) \in \mathbf{G}_u \text{ для } \tau \in [t, \infty), \quad (4)$$

где $\hat{\mathbf{r}}(\theta|t)$ и $\hat{\mathbf{w}}(\tau|t)$ – оценки соответствующих сигналов по данным контроля, полученным к текущему моменту времени t .

Для приближенного решения этой, как правило, весьма сложной задачи предлагается использовать следующие соображения эвристического характера. Суть задачи оптимального программного управления состоит в минимизации целевой функции $F(\mathbf{v}, \mathbf{u})$ в каждый момент времени $\tau \in [t, \infty)$. Ограничимся рассмотрением кусочно-постоянных управляющих воздействий таких, что длительность каждой «ступеньки» T_n превосходит длительность переходного процесса в динамической системе (4), и поставим более скромную цель минимизации целевой функции к концу каждого «ступенчатого» цикла. При такой постановке динамическая задача минимизации функционала (3) распадается на ряд автономных задач статической оптимизации для каждого цикла управления, причем в рамках методики условного прогнозирования важен лишь первый цикл, который начинается в момент t и заканчивается в момент $t+T_n$.

Условие минимизации $F(\mathbf{v}, \mathbf{u})$ к концу цикла приводит к задаче статической оптимизации

$$\min_{\mathbf{u}} \{F(\mathbf{v}, \mathbf{u}) \mid \mathbf{v} = \overline{\mathbf{f}}(\mathbf{u}, \hat{\mathbf{r}}(\theta|t) : \forall \theta \in (-\infty, t+T_n)) + \hat{\mathbf{w}}(t+T_n|t), \mathbf{u} \in \mathbf{G}_u\}, \quad (5)$$

где функция $\overline{\mathbf{f}}$ определяет установившуюся реакцию объекта с самовыравниванием (1) на постоянное управляющее воздействие \mathbf{u} и спрогнозированные возмущения.

Найдя решение этой задачи \mathbf{u}^{opt} одним из методов нелинейного или линейного программирования (в зависимости от вида критериальной функции F , статической модели $\overline{\mathbf{f}}$ и типа ограничений \mathbf{G}_u), определим тем самым искомое управляющее воздействие в текущий момент t , положив $\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}^{opt}$.

Средствами системы имитационного моделирования Simulink был выполнен сравнительный анализ предложенного регулятора (который можно назвать многомерным предиктором) с многомерным ПИ-регулятором, настраиваемым с использованием т.н. комбинированного метода [4]. Моделирование проводилось при случайных возмущениях применительно к линейному инерционному объекту с запаздыванием, динамика которого задавалась передаточной матрицей $\mathbf{H}(p) = \{k_{ij} \exp(-p\tau_{ij}) / (T_{ij}p + 1)\}$, $i, j = 1, 2$. Выполненные модельные эксперименты показали, что предиктор обеспечивает лучшее качество стабилизации, оцениваемое по среднеквадратичному критерию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бахтадзе А.В., Яковис Л.М. XXXIII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвуз. научно-техн. конф., Ч. IV - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. С. 17-19.
2. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Наука, 1986.
3. Перельман И.И. Автоматика и телемеханика. 1978, №9, с.146-160.
4. Кустов Б.С., Яковис Л.М. XXXIII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвуз. научно-техн. конф., Ч. IV - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. С. 11-13.