

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Н.Н. Бахтадзе, В.А. Лотоцкий

Рассмотрен ряд проблем управления на разных уровнях производственного процесса. Предложены алгоритмы идентификации технологических процессов, основанные на построении виртуальных моделей с использованием цеховых архивов и базы знаний. Представлена процедура ассоциативного поиска для построения виртуальных моделей.

Ключевые слова: идентификация технологических процессов, база знаний, модели ассоциативного поиска, виртуальные анализаторы качества.

ВВЕДЕНИЕ

В то время, когда еще не был официально учрежден Институт проблем управления РАН, научные результаты его предтечи — Комиссии по телемеханике и автоматике — отличались органичным сочетанием блестящих теоретических достижений с достойными прикладными разработками (под водой, в ближнем космосе, в тяжелой промышленности).

Работы по управлению технологическими процессами, наряду с управлением подвижными объектами, стали основой трудов коллектива, который в июне 1939 г. был назван Институтом автоматики и телемеханики.

Среди лабораторий Института выделяется группа лабораторий, научные разработки которых имеют выраженную инновационную направленность в области промышленного производства, их характеризует сочетание строгих математических результатов с практичными инженерными разработками.

Так, в лаборатории, руководимой д-ром техн. наук Э.Л. Ицковичем, создана общая методология текущего анализа, оперативной диагностики и прогнозирования нестационарных многомерных процессов. Разработан метод обнаружения изменений свойств систем в режиме получения текущих наблюдений, предусматривающий совместный анализ изменений в компонентах процесса и в связях между компонентами и основанный на

проверке согласованности изменений в компонентах и связях.

Предложены алгоритмы анализа систем, описываемых случайными многомерными нестационарными процессами, в которых в неизвестные моменты времени изменяются их свойства. Разработана общая методология экономически обоснованного развития автоматизации производства, опирающаяся на метод анализа текущего уровня автоматизации производства; метод эффективного распределения ограниченных финансовых ресурсов на намечаемые мероприятия по автоматизации; метод обработки экспертных оценок при проведении конкурсов (тендеров) на продукцию, работы, услуги по построению АСУТП, который позволяет исключить субъективные предпочтения при сопоставлении разных средств или систем одного класса и анализировать работу экспертов, их компетентность и объективность; метод оценки эффективности систем автоматизации на всех этапах их жизненного цикла; метод аудита эксплуатируемых АСУТП. Основу методов составляют теория многокритериального выбора, задачи эффективности инновационных проектов, компьютерная поддержка принятия решений.

В лаборатории, возглавляемой д-ром техн. наук Л.Р. Соркиным, разработан и исследован новый принцип создания оптимизационных моделей календарного планирования на основе событийного подхода, предназначенных для построения расписаний смешения нефтепродуктов. В соответствии с этим принципом процесс смешения разделяется



на последовательность определенных этапов и шагов с переменной длительностью. Основное преимущество таких моделей по сравнению с ранее известными состоит в том, что размерность задачи по дискретным и непрерывным переменным существенно ниже. Предложенный подход позволил создавать оптимизационные модели, которые предоставляют возможность определять режимы работы системы смешения так, чтобы отклонения возможной отгрузки приготовленной продукции от заданного графика отгрузки были бы по возможности минимальными.

Выраженная прикладная направленность свойственна решениям задач оптимальной в среднеквадратическом смысле фильтрации и дифференцирования; помехозащищенной идентификации параметров динамических объектов управления; синтеза оптимального по степени устойчивости управления; построения оптимальных по степени устойчивости помехозащищенных адаптивных промышленных регуляторов; комплексного синтеза многомерных алгоритмов управления сложными электрическими и электромеханическими преобразователями энергии; создания аналоговых и цифровых алгоритмов идентификации и управления для нелинейных преобразователей энергии, таких как асинхронный, синхронный и вентильный электропривод, автономный инвертор напряжения (работы лаборатории, руководимой д-ром техн. наук А.М. Шубладзе).

Основные теоретические достижения лаборатории идентификации систем управления в 1960-е гг. состояли в разработке теории *адаптивной* идентификации нестационарных систем, постановке и обосновании *минимаксного (игрового)* подхода к идентификации, синтезе методов и алгоритмов *идентификации и управления* в единой системе (адаптивной замкнутой системе управления с идентификатором — АСИ). В действительности АСИ — одна из немногих реально работающих систем, приближённо, но эффективно реализующих принципы теории дуального управления А.А. Фельдбаума.

Практические разработки поначалу были ориентированы на оценку и повышение точности обработки деталей в машиностроении, но постепенно из задач управления шлифовкой шарикоподшипников выросла проблема стабилизации процесса производства цельнокатаных стальных труб. В 1976 г. эта прикладная разработка группы сотрудников Института совместно со специалистами Первоуральского новотрубного завода была отмечена Государственной премией СССР. Большую роль в этой работе сыграл В.М. Чадеев.

В последующие годы неизменным стержнем научных работ лаборатории были и остаются фунда-

ментальные и прикладные исследования процессов идентификации. Области применения теории расширяются — кроме металлургии, химическая, нефтехимическая и другие отрасли промышленности, транспорт.

В сфере фундаментальных разработок лаборатория, руководимая д-ром техн. наук В.А. Лотоцким, занималась (и концептуально, и алгоритмически) идентификацией динамических нелинейных и нестационарных систем и исследованиями в таких областях, как надёжность (информационная и аппаратурная), резервирование, управление запасами и массовое обслуживание, а также методами имитационного моделирования и их применением к проектированию крупных автоматизированных технологических комплексов.

В последних десять лет разработаны методы синтеза основного контура в линейных системах с неполной информацией о статистических характеристиках внешних возмущений, выполнено исследование вырожденных задач и условий вырожденности линейно-квадратичных задач синтеза для линейных объектов со стационарными возмущениями. Получены условия вырожденности задач синтеза для различных классов сингулярных возмущений с априорно заданной локализацией частотного спектра.

Разрабатываются и внедряются алгоритмы идентификации и управления производственными процессами на различных уровнях производственного управления: от управления технологическими процессами и оперативного управления производством до управления ресурсами производства и маркетингом производимой продукции. Разработаны методы автоматизации управления технологическими процессами на основе синтеза робастно-оптимальных систем и идентификационного подхода к построению внутренних моделей внешних возмущений. Разработаны методы автоматизации управления текущим коммерческим бюджетированием и ценообразованием продукции предприятий с применением методов управления запасами. Созданы методы разработки программ стимулирования сбыта производимой продукции с применением моделей и алгоритмов оптимального планирования инвестиционных проектов.

Методы идентификации нелинейных объектов на основе нечетких алгоритмов ассоциативного поиска представляют собой механизм использования базы технологических знаний предприятия в системах управления реального времени. Алгоритмы, использующие аппарат нечеткой логики, продемонстрировали высокую точность в различных приложениях: идентификации технологических



процессов непрерывных и полунепрерывных промышленных производств (в частности, химических и нефтехимических), энергообъектов.

1. ОСОБЕННОСТИ И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Современное производство характеризуется тем, что существенное продвижение в области создания высокотехнологичных программных и аппаратных средств обусловило реальность оперативного и достоверного информационного обеспечения технологического персонала и лиц, принимающих административно-хозяйственные решения. Значительные успехи достигнуты в области средств отображения технологической информации, систем хранения больших массивов технологических данных, систем мониторинга производственной ситуации и поддержки принятия решений на их основе. Значительным и мощным средством оперативного управления явилось создание корпоративных баз знаний, дающих возможность более глубокой проработки текущей технологической информации — как для целей управления, так и для анализа внештатных ситуаций.

Создание единого информационного пространства предприятий и холдингов уже сегодня позволяет преодолеть непродуктивность разделения тактических задач оперативного управления технологическими процессами и стратегических задач управления производством, все еще практикуемого на предприятиях. Практика подтверждает, что для решения задач управления на всех уровнях: уровне проектирования (САПР), уровне программируемых логических контроллеров — ПЛК, АСУТП (в современной терминологии это системы типа SCADA — Supervisory Control and Data Acquisition) или DCS (Distributed Control Systems), систем оперативного управления производством — MES (Manufacturing Execution Systems), наконец, систем класса ERP (Enterprise Resource Planning) — планирование ресурсов предприятия или MRP, или MRP-II (Manufacturing Resource Planning) — планирование ресурсов производства, могут быть использованы одни и те же информационные массивы и применены идентичные алгоритмические средства.

Для формирования единого информационного пространства предприятия необходимо обеспечение корректного обмена данными между различными приложениями, гарантирующего мобильную надежную связь всех его подсистем. Существенную проблему представляет доминирование скорости развития информационных технологий над темпом обновления производственного оборудования. Она будет решаться по трем основным

направлениям: *стандартизация, использование связующего программного обеспечения и внедрение глобальных промышленных серверов.*

Текущая технологическая информация, содержание архива (с возможностью восстановления производственных ситуаций прошедших периодов) и содержание базы знаний предприятия предоставляют возможность построения в режиме реального времени моделей любого звена всей цепочки производства и создания на основе этих моделей интегрированной системы управления производством, охватывая как технологический цикл, так и административно-хозяйственный и маркетинговый процессы, относящиеся к логистическому циклу. Результаты моделирования различных участков производственного процесса не становятся элементами сложной модели на более высоком уровне, а лишь формируют для нее значения вектора входной информации. По сути, недостаточность априорной информации об исследуемом процессе компенсируется дополнительными (виртуальными) измерениями. Этот подход к разработке интегрированных систем управления на базе виртуальных анализаторов (ВА) получил название *идентификационного анализа.*

Реальностью сегодняшнего дня на отечественных предприятиях становится сопровождение перевода предприятий на новые технические средства автоматизации разработкой и внедрением систем усовершенствованного управления, таких, которые бы использовали все возможности микропроцессорной техники и приносили заведомо большой технологический и экономический эффект.

Под системами усовершенствованного управления технологическими процессами (СУУТП) понимается широкий класс систем от расширенного регулирования (компенсаторы, системы управления соотношением, упредители Смита и др.) до систем многомерного управления крупными технологическими объектами. В состав последних включают наборы виртуальных анализаторов, что позволяет непосредственно управлять товарными качествами продуктов в автоматическом режиме. Среди многочисленных подходов к усовершенствованному управлению наибольшее распространение во многих отраслях промышленности получила технология, основанная на применении прогнозирующих моделей, как эффективнее всего приспособленная для робастного управления крупными объектами со множеством перекрестных связей. В состав СУУТП входят встроенные оптимизаторы, позволяющие оптимизировать работу технологических объектов по экономическим критериям при наличии достаточного числа степеней свободы. Одна из основных тенденций развития СУУТП состоит в распространении более со-



вершенных технологий разработки и поддержки виртуальных анализаторов, использующих современные достижения прикладной статистики, робастного управления и др.

2. СОВРЕМЕННЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Особенность функционирования программно-алгоритмических комплексов, называемых *виртуальными анализаторами*, реализующих подход к построению моделей на базе идентификационного анализа, заключается в том, что они осуществляют построение модели конкретного производственного процесса, используя (помимо текущих и архивных данных) модели на других уровнях производственного управления. При этом существенно, что модели на определенном уровне включают в себя результаты моделирования других участков производственного процесса в качестве компонент вектора входной информации. Можно говорить о формировании дополнительных виртуальных измерений, в какой-то мере компенсирующих недостаточность априорной информации об исследуемом процессе.

Различают два аспекта особенностей ВА такого типа. Прежде всего, независимо от моделей и методов, на основе которых они функционируют, посредством идентификационного анализа реализуется адаптивный подход к настройке моделей. При построении таких моделей используется весь спектр опытных данных (оперативных, архивных, ретроспективных — из базы знаний и экспертных заключений, текущих значений параметров моделей на других участках). Далее, в качестве дополнительного источника априорной информации для идентификации исследуемого процесса могут использоваться модели других производственных процессов, и, кроме того, — рекомендуемые управляющие воздействия различных регуляторов (которые, возможно, функционируют только в режиме советчика).

По сути, идентификационный анализ представляет собой расширение идентификационного подхода к построению моделей, ставшее возможным в условиях функционирования на предприятиях распределенных информационных систем [1].

Соответственно, в современных ВА могут быть применены как широкий спектр традиционных алгоритмов и методов анализа данных и теории управления, так и нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы. Если точность и эффективность идентификационного анализа оказываются удовлетворительными согласно выбранному критерию, то полученные с помощью ВА

модели могут быть использованы в реальных системах управления.

Виртуальные анализаторы могут быть использованы и в целях поддержки принятия решений оператором технологической установки — в качестве приложения к системам управления, формирующего прогноз показателей качества выпускаемой продукции в режиме реального функционирования технологического процесса. Рекомендуемые управляющие воздействия или значения необходимых технологических показателей, получаемых посредством мониторинга производственной ситуации, предоставляются оператору либо непосредственно на мнемосхеме системы управления, либо посредством автономного интерфейса. Алгоритмы идентификации, применяемые в современных ВА, основаны на экспертных знаниях. Используются как экспертные знания самого лица, принимающего решение, так и базы знаний производства.

С помощью ВА, основанных на технологических знаниях, реализуется интеллектуальный подход к построению идентификационных моделей. Различают два типа знаний: *декларативные* и *процедурные*, или *процедуральные* [2]. К первому относят описание различных фактов, явлений, наблюдений, формулирование теорий, ко второму — различного рода умения и навыки. Эксперты (люди, овладевшие теорией и навыками в данной области) отличаются от новичков структурой и способом мышления, в частности, стратегией поиска решений [3]. Если человек не является экспертом, он использует так называемый «обратный вывод» (*backward reasoning*), когда на основе полученной информации о текущем состоянии процесса он перебирает варианты решений и ищет аргументы в пользу того или другого. Эксперту не требуется анализ текущей информации, он использует в процессе принятия решения так называемый «прямой вывод» (*forward reasoning*), при котором стратегия принятия решений по формированию экспертом управляющего воздействия создается на подсознательном уровне, является невербализуемой. Таким образом, в аспекте *информационного подхода* (*computational view of thought*) [4] эффективность системы в значительной степени будет определяться квалификацией эксперта и априорной информацией, которой он будет располагать. В рамках такого подхода *знание* определяется как определенный набор реально существующих элементов — символов, которые хранятся в памяти человека, обрабатываются в процессе мышления и определяют поведение. Символы, в свою очередь, могут быть определены структурой и характером межнейронных связей [5].



Процесс обработки знаний в интеллектуальной системе сводится к восстановлению (ассоциативному нечеткому поиску) знания по его фрагменту [6]. При этом знание можно интерпретировать как ассоциативную связь между *образами*. Процесс ассоциативного поиска может происходить либо как процесс восстановления образа по частично заданным признакам (или восстановления фрагмента знания в условиях неполной информации; как правило, именно этот процесс имитируется в различных моделях ассоциативной памяти), либо как процесс поиска связанных ассоциативно с данным образом других образов, привязанных к другим моментам времени (эти образы могут иметь смысл причины или следствия данного образа).

Известны различные схемы ассоциативного поиска [7]. Так, во фреймовых системах задача поиска реализуется в виде сопоставления (matching) фреймов. В семантических сетях поиск осуществляется путем сопоставления фрагментов сети и графа-запроса. Применительно к решению дискретных задач многокритериального выбора эффективным оказался подход, основанный на методе *вербального анализа решений*. В рамках такого подхода производится декомпозиция описания объектов по многим критериям на их частичные описания меньшей размерности, которые предлагаются лицу, принимающему решения, для сравнения (в предположении попарно равных оценок по критериям, не вошедшим в такие описания).

В работе [7] предложена модель, описывающая процесс ассоциативного мышления как последовательный процесс вспоминания на основе применения *ассоциаций* — пары образов, характеризующихся своим набором признаков. Такая модель представляется промежуточной генерацией между моделями нейронных сетей и логическими моделями, используемыми в классических системах искусственного интеллекта.

В настоящей работе предложен подход к формированию поддержки принятия решения об управлении оператором, основанный на динамическом моделировании процедуры ассоциативного поиска.

3. АЛГОРИТМ НЕЛИНЕЙНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Для идентификации сложных нелинейных динамических объектов, таких как технологические процессы непрерывных и полунепрерывных производств, в работе [8] был предложен алгоритм идентификации с непрерывной самонастройкой в режиме реального времени на основе построения *виртуальных моделей*. Алгоритм позволял в режиме советчика корректировать качество основных по-

казателей выпускаемого продукта на основе статистической обработки данных приборных измерений и лабораторного контроля.

В каждый момент времени создается новая модель. Для построения модели формируется временная база данных архивной и текущей технологической информации. После определения прогноза выхода по текущему состоянию объекта эта виртуальная база уничтожается без запоминания.

Линейная динамическая прогнозирующая модель имеет следующий вид:

$$y_N = \sum_{i=1}^m a_i y_{N-i} + \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^S b_{js} x_{N-j,s}$$

где y_N — прогноз выхода объекта на момент времени N , x_N — вектор входных воздействий, m — глубина памяти по выходу, n — глубина памяти по входу, S — размерность вектора входов, a_i и b_{js} — настраиваемые коэффициенты.

Оригинальный динамический алгоритм состоит в построении в каждый момент времени аппроксимирующей гиперповерхности пространства входных векторов и соответствующих им одномерных выходов. Для построения виртуальной модели, соответствующей некоторому моменту времени, выбираются векторы, в определенном смысле близкие к текущему входному вектору. Критерии отбора точек могут быть различными. Размерность этой гиперповерхности выбирается эвристически. Далее на основе классического (не рекуррентного) метода наименьших квадратов определяется значение выхода в следующий момент времени.

Такой алгоритм не строит единственную аппроксимирующую модель реального процесса — он строит новую модель для каждого момента времени, будучи при этом эффективным алгоритмом идентификации, поскольку оценки параметров в любой момент времени являются наилучшими в смысле среднеквадратической ошибки. Каждая точка глобальной нелинейной поверхности регрессии получается в результате использования линейных «локальных» моделей.

Критерий отбора входных векторов из архива для построения виртуальной модели в данный момент времени по текущему состоянию объекта состоял в том [2], что на первом шаге выбиралась точка (S -мерный вектор входов, где S — число анализируемых агрегатов), для которой модуль разности первой компоненты и, соответственно, первой компоненты текущего входного вектора принимал минимальное значение по всему массиву архива входов. Далее из ранжированных по убыванию модулей разностей первых компонент выбиралась точка в пространстве входов, для которой мини-



мальное значение принимал модуль разности вторых компонент, и так далее. По такой схеме отбирались R точек, $R \geq S$, без гарантии, что получаемая система линейных уравнений будет иметь решение.

В целях преодоления проблемы разрешимости соответствующей системы уравнений и с целью повышения быстродействия можно применить следующий подход.

Введем в качестве расстояния (нормы в \mathfrak{R}^S) между точками S -мерного пространства входов величину

$$d_{N,N-j} = \sum_{s=1}^S |x_{Ns} - x_{N-j,s}|, \quad \forall j = 1, \dots, n,$$

где x_{Ns} — компоненты вектора входов в текущий момент времени N .

В силу одного из свойств нормы («неравенство треугольника») имеем:

$$d_{N,N-j} \leq \sum_{s=1}^S |x_{Ns}| + \sum_{s=1}^S |x_{N-j,s}|, \quad \forall j = 1, \dots, n.$$

Пусть для текущего вектора входов x_N

$$\sum_{s=1}^S |x_{Ns}| = d_N.$$

Для построения аппроксимирующей гиперповерхности для вектора x_N отберем из архива входных данных такие векторы $x_{N-j}, j = 1, \dots, n$, что для некоторого заданного D_N будет выполнено условие:

$$d_{N,N-j} \leq d_N + \sum_{s=1}^S |x_{N-j,s}| \leq D_N, \quad \forall j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где D_N может быть выбрано, например, из условия

$$D_N \geq 2d_N^{\max} = 2 \max_j \sum_{s=1}^S |x_{Ns}|.$$

Если в выбранной области не наберется достаточного числа входов для применения метода наименьших квадратов, то выбранный критерий отбора точек в пространстве входов можно будет ослабить путем увеличения порога D_N .

Предлагаемая процедура построения аппроксимирующей поверхности обладает более высоким быстродействием по сравнению с обычным перебором, поскольку величины $d_{N-k} = \sum_{s=1}^S |x_{(N-k),s}|$,

$k = 1, \dots, N-1$, для всех моментов времени, предшествующих N , могут быть на этапе обучения однократно определены и ранжированы, а по мере поступления нового входа этот ряд пополняется новым членом.

Для широкого ряда технологических процессов химического и нефтехимического профиля алгоритм продемонстрировал высокую точность прогнозирования. Однако ряд моментов требовал дополнительных исследований, в частности, возможные методы построения, сортировки и отбора данных, определение структуры модели.

Для повышения быстродействия можно применить способ отбора входных векторов из технологического архива для построения виртуальной модели в данный момент времени по текущему состоянию объекта, имитирующий ассоциативный поиск оптимального решения оператором-экспертом в той или иной производственной ситуации.

Если в качестве расстояния между векторами входов размерности S выбрать сумму модулей разностей их компонент, то текущий вектор входных параметров можно условно как бы окружить «виртуальной оболочкой», т. е. выбрать из архива определенное число входных векторов, расстояния от каждого из которых до текущего входного вектора попадет в определенный диапазон.

4. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ АЛГОРИТМА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ КАК ПРОЦЕДУРЫ АССОЦИАТИВНОГО ПОИСКА

Вопрос о быстродействии алгоритма на базе виртуальных моделей весьма существенен для обеспечения возможности прогнозирования параметров технологических процессов и зачастую становится ключевым. Для его решения применим подход, основанный на использовании для прогнозирования модели ассоциативного мышления оператора технологической установки.

Рассмотрим, например, следующий подход (аналогичный предложенному в работе [5]) для построения процедуры ассоциативного поиска, имитирующего интуитивное прогнозирование производственной ситуации оператором. По сути, наиболее адекватный прогноз ситуации будет осуществлен тем быстрее, чем скорей будет сформирован из архива набор входных векторов (в произвольные прошлые моменты времени), который и составит виртуальную оболочку текущего вектора входов.

Пусть множества значений технологических параметров (которые являются компонентами вектора входов), а также значения выходов системы в предыдущие моменты времени вместе составляют множество признаков, формирующих образ выхода.



В процессе *ассоциативного вспоминания* используются образы, описываемые определенным набором признаков. Обозначим образ, инициирующий ассоциативный поиск, через P и, соответственно, образ-результат ассоциативного поиска — через R . Пару образов (P, R) назовем ассоциацией A или $A(P, R)$. Множество всех ассоциаций на множестве образов составляет *память* или *базу знаний* интеллектуальной системы.

В нашем случае в качестве начального образа ассоциативного поиска P^a будем рассматривать текущий вектор входов x_N . Конечным образом ассоциативного поиска R^a будет аппроксимирующая оболочка, состоящая из входных векторов из технологического архива, построенная с помощью описанного в § 3 алгоритма. Эта оболочка представляет собой как бы образ текущего входного вектора, посредством которого мы прогнозируем выход. Алгоритм реализует процесс восстановления образа R^a , исходя из начального образа P^a (т. е. процесс ассоциативного поиска) и может быть описан предикатом $\Omega = \{\Xi_i(P_i^a, R_i^a, T^a)\}$, где $P_i^a \subseteq P$ и $R_i^a \subseteq R$, T^a — время ассоциативного поиска.

Ассоциативный поиск, принимающий значение *TRUE*, называется успешным, а принимающий значение *FALSE* — неудачным. Ассоциативный поиск $\Xi(P^a, R^a, T^a)$, использующий только одну ассоциацию, содержащуюся в памяти интеллектуальной системы (т. е. на первом же шаге выбирающий из архива нужный набор векторов), называется *элементарным ассоциативным поиском* [5].

Для алгоритма, представленного в § 3, этот предикат является высказывательной функцией, утверждающей истинность либо ложность принадлежности текущего входного вектора определенной области в пространстве входов.

Конечно, решение может быть не единственным. В этом случае выбирается любое из них (задача оптимизации пока не рассматривается).

Если не найдется в архиве ни одной гиперповерхности, удовлетворяющей условию (1), можно либо повысить уровень порога, либо для определенной гиперповерхности (образа нашего входного вектора) заменить один из признаков на более подходящий. Формально это означает, что из набора архивных векторов входов исключается «самый плохой» (находящийся дальше всех других от текущего входа в смысле выбранного критерия) и включается другой, более подходящий, и т. д.

Процесс принятия решений оператором об управляющем воздействии в любой момент времени основывается на интуитивном прогнозировании

оператором выхода по состоянию, и его можно представить как ассоциативный поиск (процесс вспоминания) образов, инициируемый начальным входным образом (т. е. значением текущих компонент входного воздействия). В общем случае этот процесс можно представить как ассоциативный поиск, раскладываемый в цепочку элементарных ассоциативных поисков. Можно выделить два вида цепочек [5]:

— с забыванием, когда все образы, восстановленные в результате предыдущих ассоциативных поисков, не учитываются в процессе выполнения текущего ассоциативного поиска; именно такая цепочка возникает в процессе формирования виртуальных моделей;

— с запоминанием, когда начальным образом для текущего ассоциативного поиска служит образ, формируемый с учетом истории поиска на предыдущих этапах. В случае алгоритма, описанного в § 3, в архиве сохраняются координаты используемых на предыдущих этапах аппроксимирующих гиперповерхностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе представлены реалии и некоторые тенденции развития методов и алгоритмов управления производственными процессами на разных уровнях — от управления технологическими процессами до эффективной поддержки принятия решений в управлении бизнес-процессами предприятий. Перечисленные разработки характеризуются получением оригинальных научных результатов, не имеющих отечественных аналогов и успешно конкурирующих с зарубежными разработками аналогичной направленности. В частности, рассмотрена методология разработки виртуальных анализаторов для ряда производственных задач, предусматривающая процедуру ассоциативного поиска, основанную на использовании технологических знаний. В качестве важного примера рассмотрены методы разработки интеллектуальных виртуальных анализаторов технологических процессов непрерывного и полунепрерывного типа. Для формирования поддержки принятия решений об управлении оператором технологической установки применяются алгоритмы ассоциативного поиска, содержащие цепочки ассоциаций без запоминания и с запоминанием любой возможной глубины. В последнем случае процесс успешного ассоциативного поиска заметно ускоряется благодаря экспертным знаниям, которыми в процессе реального функционирования непрерывно пополняется база знаний производства.

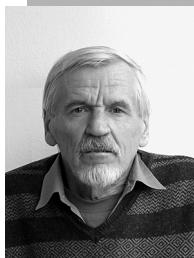


ЛИТЕРАТУРА

1. *Associative Search Models in Industrial systems* / N. Bachtadze, V. Lototsky, E. Maximov, B. Pavlov // IFAC International Workshops Intelligent Assembly and Disassembly (IAD'07) & Intelligent Manufacturing Systems (IMS'07). — Alicante, Spain, 2007. — Vol. 1. — P. 120–126.
2. Ларичев О.И., Нарыжный Е.В. Компьютерное обучение процедуральным знаниям // Психологический журнал. — 1999. — Т. 20. — № 6. — С. 53–61.
3. Patel V.L., Ramoni M.F. Cognitive Models of Directional Inference in Expert Medical Reasoning / In: Feltovich P., Ford K., Hofman R. (Eds.) Expertise in Context: Human and Machine. — Menlo Parc, CA: AAAI Press. 1997.
4. Hunt E. Cognitive Science: Definition, Status and Questions // Annual Review of Psychology. — 1989. — Vol. 40.
5. Newell A., Simon H.A. Human Problem Solving. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc., 1972.
6. Gavrilov A.V. The Model of Associative Memory of Intelligent System // The 6-th Russian-Korean Intern. Symp. on Science and Technology. Proceedings. — Novosibirsk, 2002. — Vol. 1. — P. 174–177.
7. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решения. — М.: Физматлит, 1996.
8. Системы управления качеством производства минеральных удобрений на основе виртуальных анализаторов / Н.А. Туманов, Д.Н. Туманов, В.М. Чадеев, Н.Н. Бахтадзе // Автоматизация в промышленности. — 2003. — № 8. — С. 33–36.



Бахтадзе Наталья Николаевна — д-р техн. наук, зав. лабораторией идентификации систем управления ИПУ. Ученый секретарь секции «Системы управления технологическими процессами» Ученого совета ИПУ. Около тридцати лет работает в области адаптивного управления, идентификации систем управления, управления производственными процессами. Автор около 100 научных работ. ☎(495) 334-92-01, ✉ bahfone@ipu.ru.



Лотоцкий Владимир Алексеевич — д-р техн. наук, профессор, зав. отделом идентификации и управления производственно-техническими системами ИПУ. Председатель секции «Системы управления технологическими процессами» Ученого совета ИПУ. Более сорока лет работает в области адаптивного управления, идентификации систем управления, управления запасами. Автор около 200 научных работ. ☎(495) 334-92-01, ✉ lotfone@ipu.ru.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН организует и регулярно проводит следующие научные конференции и семинары

- Всероссийская молодёжная научная конференция по проблемам управления;
- Всероссийская конференция по управлению движением кораблей и специальных аппаратов;
- Международная конференция «Идентификация систем и проблемы управления» (SICPRO);
- Международная научно-практическая конференция «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций»;
- Международная конференция «Параллельные вычисления и задачи управления» (PACO);
- Международная конференция «Перспективы использования новых технологий и научно-технических решений в ракетно-космической и авиационной промышленности»;
- Международная конференция по проблемам управления;

(Продолжение на стр. 102)

