

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРОГНОСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ «МАТРИЦА»

А. А. МУСАЕВ¹, В. А. НИКИТИН²

¹Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,
²ОАО «Севзапмонтажавтоматика»

¹СПИИРАН, 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178; ²ОАО «СЗМА»,
пер. Каховского, д., 10, Санкт-Петербург, 199155

¹<amusaev@szma.com>, ²<vladimir_nikitin@szma.com>

УДК 658.5.011.56:681.3

Мусаев А. А., Никитин В. А. Программно-алгоритмический комплекс прогностического управления «Матрица» // Труды СПИИРАН. Вып. 4. — СПб.: Наука, 2007.

Аннотация. Статья посвящена вопросам применения методологии прогностического управления (Advanced Process Control, APC) в задачах управления технологическими процессами. В качестве базового инструментария предлагается использовать разработанный авторами программно-алгоритмический комплекс «Матрица», позволяющий на основе предварительного анализа статистических и динамических характеристик ретроспективных данных формировать прогностические модели управления. Использование прогностических моделей дает возможность, в свою очередь, оптимизировать процесс многопараметрического управления в соответствии с выбранным критерием эффективности и имеющимися ограничениями. — Библ. 10 назв.

УДК 658.5.011.56:681.3

Musayev A. A., Nikitin V. A. Matrix — the Software-Algorithmic Complex for APC Applications // SPIIRAS Proceedings. Issue 4. — SPb.: Nauka, 2007.

Abstract. The article is devoted to APC (Advanced Process Control) applications in processes automated control. Developed program complex “Matrix” is offered to elaborate forecasting models and, in turn, to optimize multiple process control according to the chosen criterion of efficiency and available restrictions. — Bibl. 10 items.

1. Состояние вопроса, задачи проекта

Современные автоматизированные системы управления, как правило, ориентированы на реализацию в некотором априори заданном классе объектов управления. При этом сложность объектов управления (ОУ), определяемая множественностью взаимосвязанных параметров и не полностью определенными динамическими процессами, описывающими эволюцию состояния (обычно нелинейную и нестационарную), существенно затрудняет проектирование и эксплуатацию оптимальных схем управления.

В то же время большинство подобных систем управления допускают возможность оптимизации, базирующейся на накопленной статистике управления и реализуемой в виде программно-алгоритмической надстройки над уже существующей АСУ. Данный факт в совокупности с возможностью получения существенного экономического или иного эффекта послужил стимулом к разработке идеологии улучшенного (или прогрессивного) управления (Advanced Process Control, APC) [2, 5, 6]. При этом различные реализации прогностического управления технологий могут формироваться на основе различных методологических платформ. Самое широкое применение получила система на основе управления с прогностической моделью (Model Predictive Control, MPC), способной иметь дело с интерактивными параметрами процессов, моделировать сложные динамические характеристики, удерживать процесс в заданных пределах, надежно реагировать на нарушения в процессе и неполадки и т. п. [5, 9].

Общим для систем с прогностической моделью является ориентация на построение и последовательную коррекцию прогностических моделей, отражающих уникальные и постоянно изменяющиеся процессы эволюции состояния объекта управления (ОУ). При этом «информационным сырьем» для формирования моделей служит совокупность ретроспективной информации, хранящейся в базах данных (БД) и отражающей накопленный опыт управления объектом, и оперативных данных, получаемых в процессе текущего мониторинга состояния ОУ, параметров входных и выходных потоков. При этом кроме традиционного математического инструментария, основанного на многомерных статистических методах и теории динамических систем, часто используются новейшие технологии компьютерной математики, такие как искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, методы ассоциативных связей и т.п.

Достаточно очевидно, что создание абсолютно уникальных оптимизационных модулей является экономически нецелесообразным. Действительно, вся оптимизация базируется на общих математических алгоритмах, а сами ОУ легко группируются в некоторые функциональные классы. В соответствии с этим можно выделить два базовых направления создания программно-алгоритмического обеспечения задач улучшенного (или аналитического) управления. Первое направление, представленное технологиями интеллектуального анализа данных, или Data Mining (раскопки знаний в базах данных), сводится к созданию программно-алгоритмических комплексов (ПАК), базирующихся на определенном классе математического инструментария [3, 4, 7]. Развитие данного направления привело к появлению достаточно большого числа коммерческих разработок стоимостью от нескольких сотен до десятков тысяч долларов США. Наиболее широкое применение данные ПАК нашли в сфере бизнеса и финансового анализа [4, 7].

Второе направление разработок в сфере аналитического управления связано с созданием ПАК, ориентированных на конкретный класс объектов анализа или/и управления. В частности, возникли решения в области промышленной автоматизации, связанные с оптимизацией управления технологическими установками определенного класса, технологическими производственными циклами и т. п. [2, 5].

Оба указанных выше направления нашли широкое применение в различных предметных областях, продемонстрировав крайне высокую экономическую отдачу при сравнительно невысоких инвестиционных затратах. В то же время их реализация выявила существенные проблемы и ограничения по возможности их применения, важнейшими из которых являются:

1) неполнота и низкое качество «сырых данных» (Raw Data), полученных в процессе мониторинга состояния ОУ и используемых для построения и коррекции базовых математических моделей;

2) крайне высокие требования к точности идентификации протекающих процессов, связанные с соизмеримостью относительного выигрыша с флуктуационными характеристиками систем мониторинга и эволюции состояния самого ОУ;

3) необходимость дополнительных инвестиций, обусловленных сложностью стыковки и адаптации готовых комплексных АРС решений с уже развернутыми автоматизированными системами управления;

4) закрытость алгоритмического обеспечения как коммерческого продукта, его недоступность для оперативной адаптации со стороны пользователя, а порой и для настройщиков систем прогностического управления;

5) сложность эффективного применения аналитических надстроек для пользователей, не обладающих достаточным уровнем математической подготовки.

Перечисленные проблемы существенно влияют на эффективность внедрения и применения технологий аналитического управления. Рассмотренный в настоящей статье программно-алгоритмический комплекс, основанный на MPC технологиях (и получивший наименование «Матрица»), ориентирован на частичное разрешение перечисленных ограничений.

Основная задачей «Матрицы» как проекта являлась разработка многофункциональной программно-аналитической платформы, предназначенной для анализа, оценивания, прогнозирования и контроля состояния сложных динамических систем (СДС) и оптимизации процессов управления. Данная разработка сформирована в виде некоторого интеллектуального «конструктора», образованного совокупностью функциональных программно-алгоритмических модулей (ПАМ).

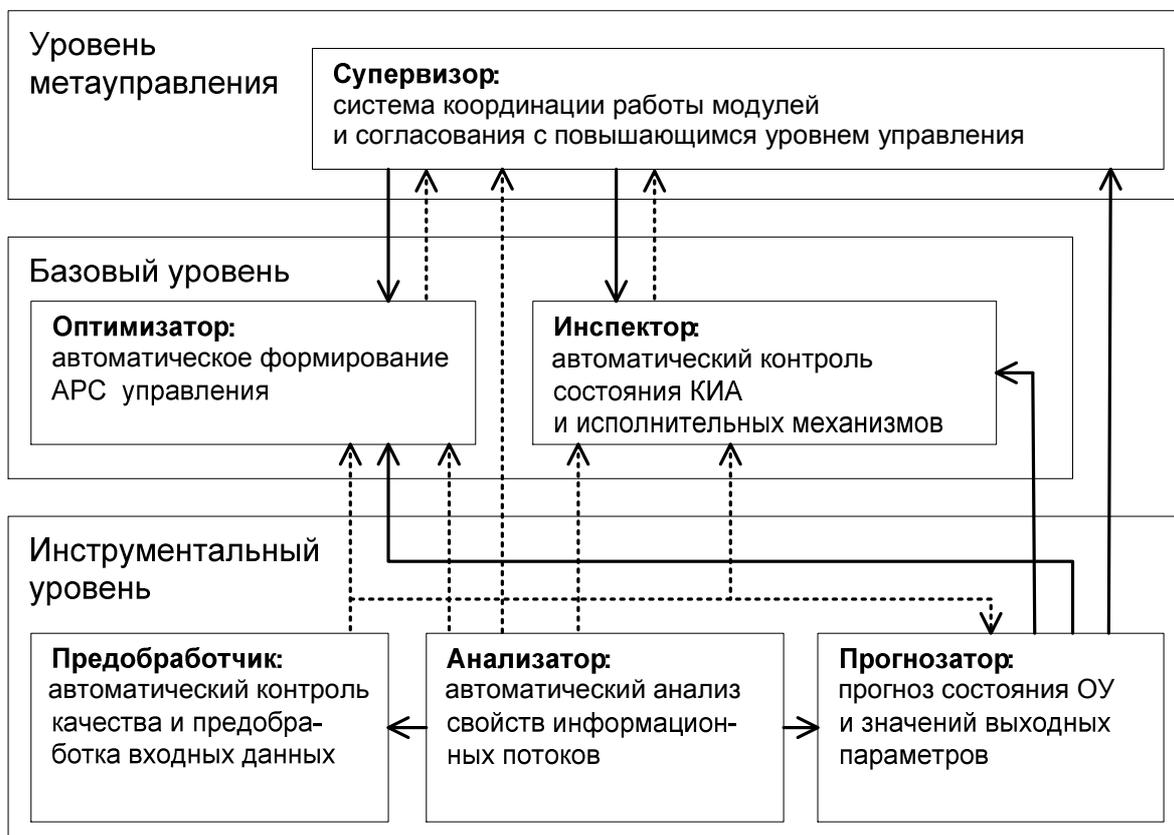


Рис. 1. Функциональная структура «Матрицы»

Из приведенного рисунка видно, что структура «Матрицы» включает в себя следующие ПАМ: предобработки данных («предобработчик»), анализа данных («анализатор»), прогноза, формирования прогностических сценариев эволюции состояния объекта анализа («прогнозатор»), оптимизации и поддержки управленческих решений («оптимизатор»), контроля, оценки состояния и диагностирования контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) и исполнительных устройств («инспектор»), координации работы модулей, согласования с вышестоящим уровнем управления, технико-экономического анализа («супервизор»).

В соответствии с указанной структурой ПАК обладает следующими функциональностями:

1. Автоматизированная предобработка массивов исходных данных включает в себя:

- ◆ восстановление пропусков в таблицах наблюдений (одиночных и групповых);
- ◆ выявление и обработку аномальных наблюдений и скрытых корреляционных несоответствий;
- ◆ сглаживание случайных шумов наблюдений;
- ◆ выявление мультиколлинеарности в исходных данных;
- ◆ нормировку данных.

2. Автоматизированный анализ статистических и динамических характеристик исходных данных включает в себя:

- ◆ дескриптивный статистический анализ каждого наблюдаемого параметра;
- ◆ анализ динамических характеристик каждого наблюдаемого параметра;
- ◆ выявление значимых взаимосвязей для каждого наблюдаемого параметра;
- ◆ идентификацию формы (характера) взаимосвязей между любыми парами наблюдаемых параметров;
- ◆ выявление аномальных наблюдений и корреляционных несоответствий в группах наблюдаемых параметров;
- ◆ визуализация отклонений текущих значений групп наблюдаемых параметров от соответствующих значений на предыдущем шаге или от усредненных значений на N предшествующих шагах;
- ◆ корреляционный анализ групп наблюдаемых параметров;
- ◆ обобщенное (агрегированное) представление групп наблюдений и их визуализацию.

3. Прогнозирование выходных характеристик и/или состояния объекта управления на основе следующих методов:

- ◆ многомерной регрессии;
- ◆ канонических корреляций;
- ◆ эволюционно-генетического моделирования;
- ◆ искусственных нейронных сетей;
- ◆ прецедентного анализа данных;
- ◆ калмановской фильтрации.

4. Оптимизация процесса управления сложной динамической системы на основе:

- ◆ полного перебора вариантов значений предикатов в окрестности ожидаемого значения целевой функции;
- ◆ случайного поиска в пространстве допустимых значений предикатов;
- ◆ обратного оценивания параметров управления.

5. Контроль состояния объекта управления и каналов мониторинга на основе прогностического анализа невязок измерений и корреляционной структуры контролируемых параметров.

6. Формирование взаимосвязи системы оптимизации управления и контроля состояния объекта управления с вышестоящими и нижестоящими уров-

нями управления с учетом результатов текущего технико-экономического анализа.

3. Реализация MPC программно-алгоритмического комплекса

Важной особенностью проекта является построение всех ПАМ «Матрицы» по единой унифицированной схеме, приведенной на рис. 2.



Рис. 2. Структура функционального модуля

Структура модуля состоит из двух уровней. Базовый уровень исполнительный математики может формироваться на различных методах прикладной математики и практически не зависит от предметной области. Унификация реализации данного модуля достигается за счет применения уровня HMI интерфейса, обеспечивающего учет всех особенностей предметной области и решаемой задачи. Таким образом, уровень интерфейса выполняет роль согласующего буфера между унифицированными алгоритмами обработки данных и специфическими особенностями конкретной задачи в выбранной предметной области. Кроме того, данный уровень модуля обеспечивает возможность «общения» ПАМ с настройщиком и оператором (т. е. функционирует в качестве человеко-машинного интерфейса), в нем реализуются опции настройки модуля и здесь же визуализируются выходные данные, отображающие качество решения соответствующих задач.

Математический инструментарий «Матрицы», включающий в себя основные методы многомерного статистического анализа и компьютерной математи-

ки, используемые при создании проекта, приведены в табл. 1. В ней же указаны перечни модулей «Матрицы», в которых данные методы применяются.

Таблица 1

Математический инструментарий «Матрицы»

Методы	Задачи	Модули
Многомерный регрессионный анализ	Моделирование процессов, оценка значений отдельных параметров по связанным с ними предикатам	Предобработчик, анализатор, прогнозатор, оптимизатор, инспектор
Канонические корреляции	Моделирование процессов, оценка значений групп параметров по связанным с ними предикатам	Прогнозатор, оптимизатор, инспектор
Проверка статистических гипотез	Проверка принадлежности, стационарности, независимости, нормальности	Предобработчик, анализатор, инспектор
Статистическая фильтрация	Фильтрация стохастической компоненты наблюдений (фильтр Калмана, экспоненциальный фильтр и др.)	Предобработчик, анализатор, прогнозатор
Нейросетевые технологии	Прогнозирование значений многомерных случайных процессов	Прогнозатор
Эволюционное моделирование	Прогнозирование многомерных случайных процессов с последовательной адаптацией структуры модели	Прогнозатор
Генетические алгоритмы	Оптимизация с элементами случайного поиска на основе генетических технологий	Прогнозатор, оптимизатор
Дискриминантный анализ	Классификация состояния при наличии обучающих данных	Инспектор
Кластер-анализ	Классификация «без учителя»	Инспектор
Ассоциативные методы	Прогнозирование нестационарных случайных процессов, прецедентное управление	Прогнозатор, оптимизатор
Деревья решений	Контроль состояния и диагностика многомерных взаимосвязанных структур	Инспектор

Перечень математических методов, представленных в табл. 1, позволяет структуризировать алгоритмическое обеспечение «Матрицы» так, как это показано на рис. 3. В основу MPC технологии, учитывающего специфику конкретного ОУ, положены традиционные методы многомерного статистического анализа (регрессионный анализ, канонические корреляции и др.). Применение новых технологий компьютерной математики, широко используемых в Data Mining (эволюционное моделирование, нейросетевые технологии и т. д.) позволяет существенно расширить сферу использования статистических алгоритмов путем построения достаточно эффективных прогностических сценариев развития ситуаций при наличии нестационарных возмущающих и управляющих воздействий.

Ряд новых математических технологий относится к методам искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI) и основан на использовании баз знаний, теории саморазвивающихся и самоорганизующихся систем [1].

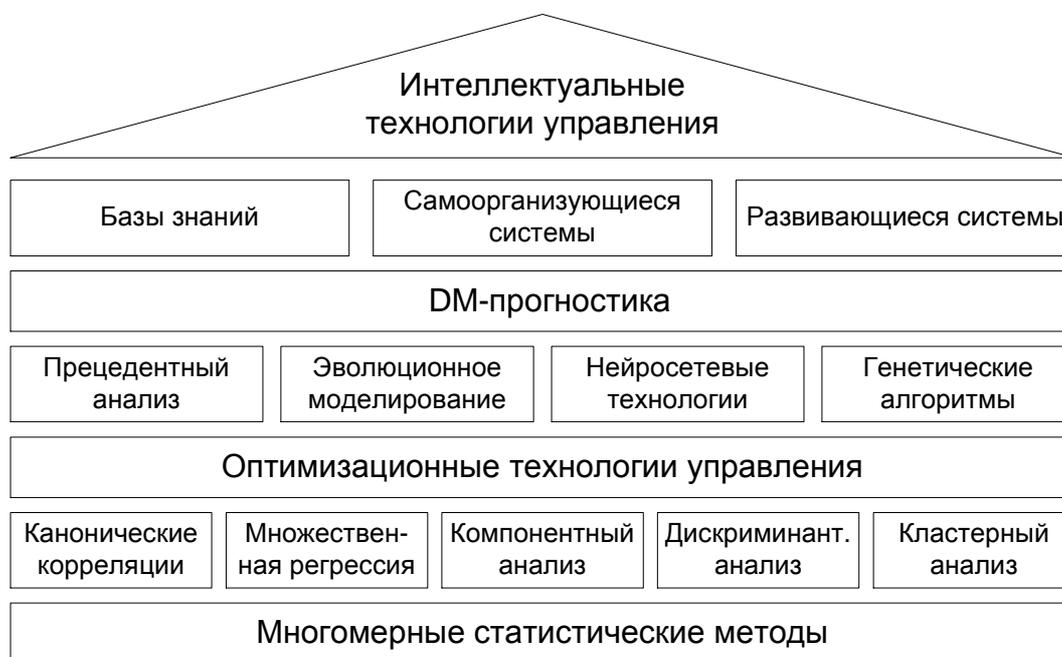


Рис. 3. Структуризации алгоритмического обеспечения «Матрицы»

На рис. 4. приведен пример применения «Матрицы» как аналитической надстройки АСУ технологического процесса (АСУТП) промышленного предприятия. Объект управления — технологический процесс (ТП), подлежит мониторингу, осуществляемому соответствующей подсистемой АСУТП. Данные мониторинга, вместе с результатами лабораторных анализов входных и выходных материальных потоков, периодически выполняемых заводской лабораторией, поступают в систему оперативного управления ТП. Дежурный оператор вместе с цеховым технологом формирует решение по управлению и реализует его средствами исполнительных механизмов АСУТП. ПАК «Матрица» может выступать либо в роли системы поддержки принятия решения (СППР), либо в роли блока управления автоматического контура управления. Во втором варианте дежурные оператор выступает в роли супервизора, контролирующего процесс автоматического управления.

Практически значимые функциональности, формируемые базовым уровнем МРС комплекса, позволяют оптимизировать управление ТП (например, за счет снижения запаса по качеству или поиска энергосберегающих и ресурсосберегающих режимов). Кроме того, использование элементов «Матрицы» дает возможность:

- ◆ осуществлять контроль качества управления со стороны дежурной смены;
- ◆ наглядно визуализировать результаты текущего управления;
- ◆ формировать прогностические сценарии изменения состояния установки и качества выходной продукции под влиянием тех или иных управлений;
- ◆ анализировать текущее состояние технологической установки, КИА и исполнительных систем АСУТП и т. п.

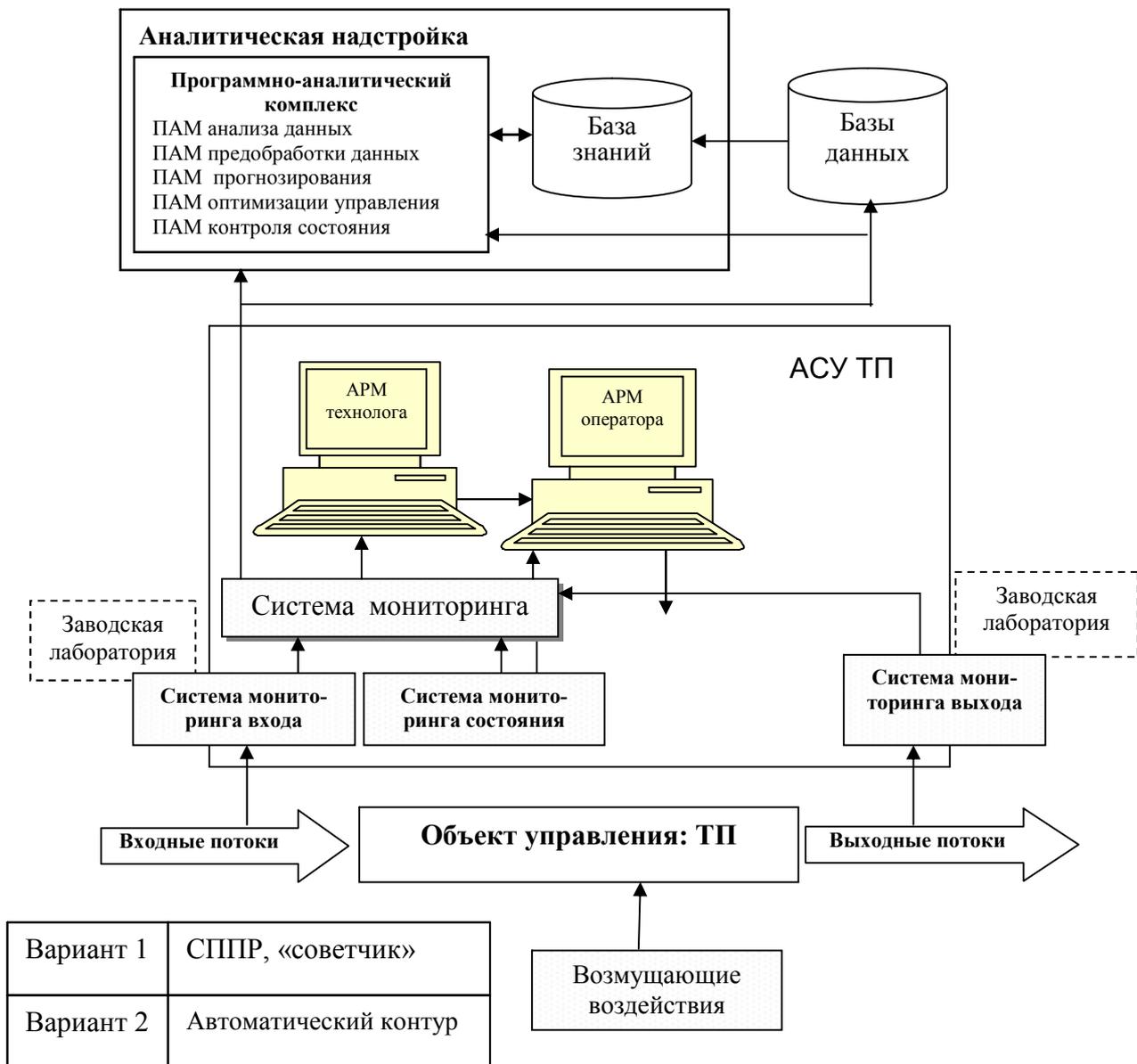


Рис. 4. Пример применения «Матрицы» как аналитической надстройки над АСУ ТП.

4. Заключение

Дальнейшее развитие «Матрицы» связано с использованием технологий искусственного интеллекта, в частности, с созданием унифицированной (для заданной ПрО) базы знаний, совмещающей в себе количественные и качественные описания ситуаций. Указанные описания образуют в совокупности некоторый аналог производственного опыта, позволяющий методами ассоциативного поиска формировать основания для оптимальных решений и осуществлять прогноз развития нестационарных (в том числе аварийных) ситуаций.

Следует заметить, что введение системы мониторинга среды взаимодействия, позволяющее получить количественные сведения о возмущающих воздействиях, позволяет повысить качество прогнозирования состояния ОУ и управления протекающими процессами.

Литература

- [1] *Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001. 382 с.
- [2] *Гроссдиер П.* Залог успеха проектов прогрессивных средств управления процессами // Нефтегазовые технологии. 2005. № 2, С. 56–58.
- [3] *Дюк В., Самойленко А. П.* Data Mining: Учебный курс. СПб.: Питер, 2001. 366 с.
- [4] *Киселев М., Соломатин Е.* Средства добычи знаний в бизнесе и финансах // Открытые системы. 1997. № 4, С. 41–44.
- [5] *Кэней У. М.* Получаете ли Вы максимальные прибыли от своих прогрессивных систем управления процессами? // Нефтегазовые технологии. 2005. № 10, С. 67–70.
- [6] *Лебединский А. А., Дозорцев В. М., Кнеллер Д. В.* Усовершенствованные АСУТП на основе Profit Controller разработки корпорации «Honeywell» // Автоматизация в промышленности. 2004. № 6, С. 39–41.
- [7] *Мусаев А. А.* Интеллектуальный анализ данных: Клондайк или Вавилон? // Банковские технологии. 1998. № 11–12. С. 79–82.
- [8] *Сахаров А. А.* Концепции построения и реализации информационных систем, ориентированных на анализ данных // СУБД. 1996. № 4. С. 55–70.
- [9] *Samacho E. F., Bordons C.* Model predictive control. London: Springer-Verlag, 2004. 405 p.