

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**Кузбасский научный центр Сибирского отделения
Академии инженерных наук имени А.М. Прохорова**

**Кемеровское региональное отделение САН ВШ
ООО «Объединённая компания Сибшахтострой»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ
И ПРОИЗВОДСТВЕ
AS' 2019**

**ТРУДЫ XII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

(с международным участием)

**Новокузнецк
2019**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия

д.т.н., профессор С.М. Кулаков,
д.т.н., профессор Л.П. Мышляев

С 409 Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2019: труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) / Мин-во науки и высшего образования РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т [и др.]; под общ. ред.: С. М. Кулакова, Л. П. Мышляева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. - 376 с.: ил.

ISBN 978-5-7806-0536-2

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам автоматизации управления технологическими процессами и предприятиями, социально-экономическими системами, образованием и исследованиями. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ОК «Сибшахтострой» (г. Новокузнецк),
ООО «АТЭСКО Сибирь» (г. Новосибирск),
ООО «Научно-исследовательский центр систем управления»
(г. Новокузнецк)

ISBN 978-5-7806-0536-2

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	5
ИНТЕГРАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА (К 60 –ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ «АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ») Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Ивушкин А.А.	7
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С НАКОПЛЕНИЕМ ОПЫТА ВЫРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ Кулаков С.М., Ляховец М.В., Койнов Р.С., Тараборина Е.Н.	9
СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СРЕДЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ В СОЧЕТАНИИ С ВЕЙВЛЕТ-МОНИТОРИНГОМ ТЕКУЩИХ РЕЖИМОВ Федосенков Д.Б., Симикова А.А., Федосенков Б.А.	16
О НАТУРНО-МОДЕЛЬНОМ ПОДХОДЕ И ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ Евтушенко В.Ф., Ивушкин А.А., Венгер К.Г., Мышляев Л.П., Макаров Г.В.	21
КОНЦЕПЦИЯ «ИНДУСТРИЯ 4.0». НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПИРОМЕТАЛЛУРГИИ Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю., Шнайдер Д.А., Краснобаев А.В.	25
ЦИФРОВИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ Мышляев Л.П., Венгер К.Г., Грачев В.В.	29
СЕКЦИЯ 1 АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ	33
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В РЕГИОНАХ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА Литвинцева Г.П.	35
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЫРЬЕВЫМИ И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ Гурин И.А., Спирин Н.А., Истомин А.С., Носков В.Ю.	40
ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕНОСА ОБЪЕКТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦИКЛ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ РОМЫШЛЕННОГО РОБОТА Лицин К.В., Меркулин П.О., Фукс Е.А.	44
РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ПО КОМПЛЕКСНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ УГЛЯ И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ Мурко В.И., Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Чаплыгин В.В., Литвинов Ю.А., Волков М.А.	48

4. Емельянов С.В. Методы идентификации промышленных объектов в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев [и др.] – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2007. – 307 с.

5. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: монография : в 3 т. Т.2: Системы автоматизации производственного назначения/ Л.П. Мышляев, С.Ф. Киселев, С.М. Кулаков, и др.; Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин, Г.П. Сазыкин [и др.] ; под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 483 с.

6. Теория и практика систем автоматизации управления на базе натурно-модельного подхода : научно-справочное издание / Л.П. Мышляев ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 86 с.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С НАКОПЛЕНИЕМ ОПЫТА ВЫРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Кулаков С.М., Ляховец М.В., Койнов Р.С., Тараборина Е.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Введение

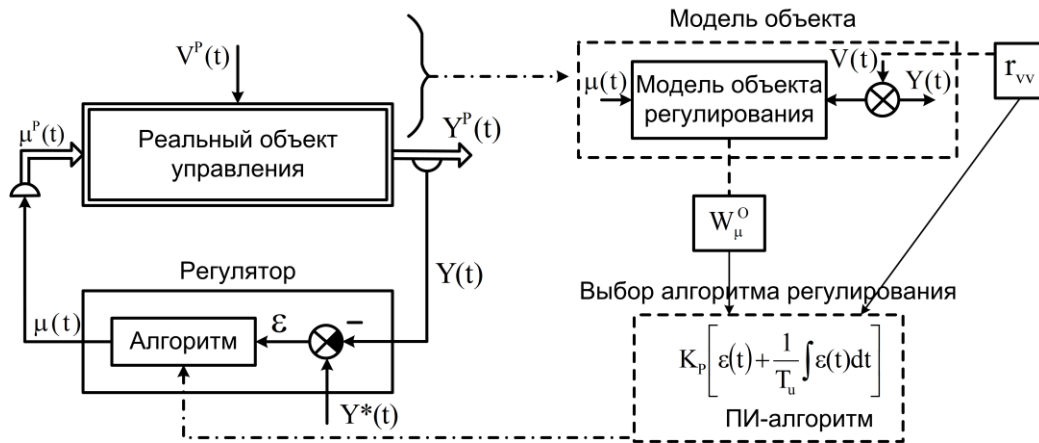
Проблема автоматизированного управления слабо (плохо) формализуемыми (сложными) технологическими объектами (СФТО), к числу которых относятся многие технологические агрегаты и человеко-технические комплексы разных отраслей промышленности, сегодня не может быть признана эффективно решённой на базе традиционного (модельного) подхода. Суть последнего состоит в идентификации объекта управления, то есть в построении математической модели каналов управления и каналов влияния контролируемых возмущающих воздействий объекта, а в случае человеко-технических комплексов – в построении нормативных моделей и синтезе на их основе алгоритмов (механизмов) выработки и реализации управляющих воздействий.

Недостаточная эффективность модельного подхода к созданию систем автоматизированного управления СФТО обусловлена: интенсивностью, сложностью, многосвязностью и нестационарностью внутренних процессов; неполнотой и ошибками контроля многочисленных параметров; многорежимностью работы, многовариантностью выпускаемых продуктов; изменчивостью характеристик объекта в процессе эксплуатации. Перечисленные свойства и особенности СФТО, в сочетании с недостаточной эффективностью управления ими побуждают искать другие подходы к принятию управляющих решений. Например, полезно обратиться к модификации и алгоритмизации широко известной и применяемой в организации деятельности людей концепции «лучших практик» («best practice»), применительно к практикам управления СФТО [1, 2]. В области управления технологическими агрегатами и комплексами агрегатов черной металлургии в этом направлении можно выделить два поднаправления исследования [3-7]. В данном докладе кратко проанализирован традиционный (модельный) подход к построению автоматических управляющих систем [8, 9], [10], [11, 12], дана характеристика двух вышеуказанных натурно-модельных разработок, конкретизирующих лучшие практики управления СФТО в металлургии и, более подробно представлен авторский подход к алгоритмизации накопления опыта управления СФТО, основанный на методе прецедентов [13-15].

1. Традиционный модельный подход к построению систем автоматического управления технологическими процессами

Отличительной особенностью классического метода синтеза алгоритма управления с обратной связью является использование математической модели каналов объекта, а также модели влияния приведённого неконтролируемого возмущения. В простом случае структура алгоритма выбирается из числа типовых (П, И, ПИ, ПИД и др.), а его настройки определяются на основе эмпирических формул или посредством решения задачи оптимизации по крите-

рию минимальной дисперсии ошибок регулирования, рисунок 1, [8, 9].

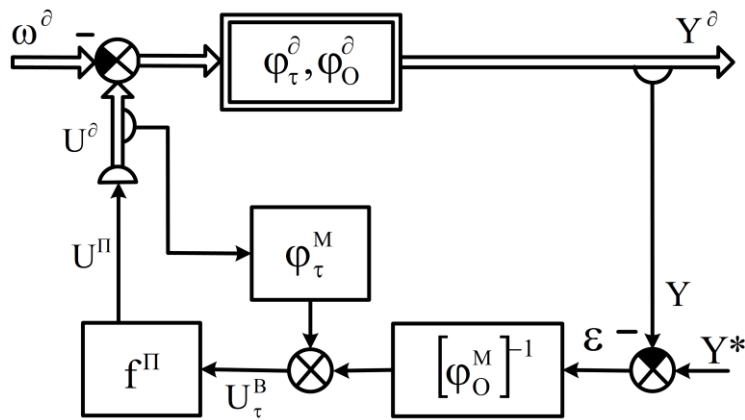


Обозначения: $Y^p(t), \mu^p(t), V^p(t)$ – реальное выходное воздействие, управляющее воздействие, неконтролируемые возмущающие воздействия объекта в момент t ; $Y(t), Y^*(t), \mu(t)$ – измеренное и заданное выходные, а также управляющее воздействие объекта в момент t ; $V(t)$ – эквивалентное возмущение, приведенное к выходу объекта; r_{vv}, W_{μ}^O – автокорреляционная функция и оператор объекта;

K_p, T_u – настроечные параметры ПИ-алгоритма.

Рисунок 1 – Классическая схема синтеза (выбора) алгоритма регулирования

Оригинальной разработкой профессора СибГИУ В.П. Авдеева и его коллег является ВПР – восстановительно-прогнозируемый регулятор, [10], в структуру алгоритма которого в явном виде входит модель канала регулирования, рисунок 2.



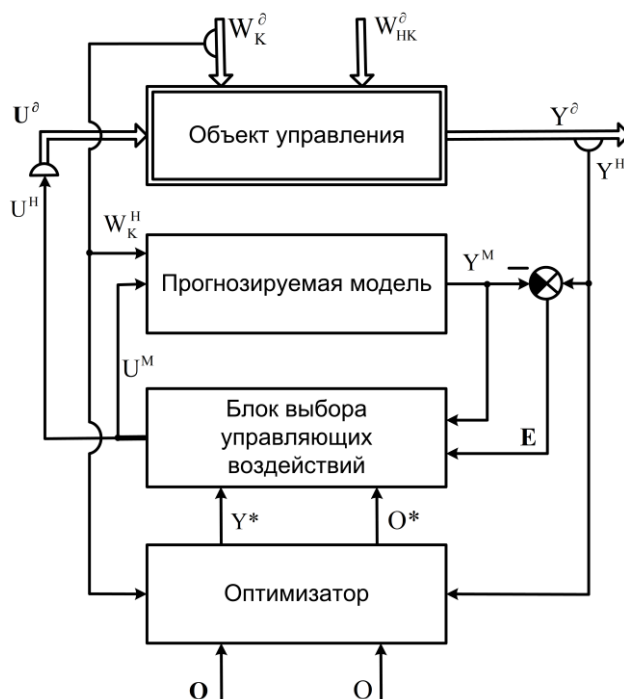
Обозначения: $U^δ, Y^δ, ω^δ, φ_O^δ, φ_τ^δ$ – действительные управляющее, выходное, возмущающее воздействия, а также оператор канала регулирования и оператор запаздывания; $Y, U^B_τ, U^Π$ – выходная переменная, восстановленное идеальное управляющее воздействие, прогнозируемое управляющее воздействие; $φ_O^M, φ_τ^M$ – модельные операторы канала регулирования и запаздывания; $[φ_O^M]^{-1}$ – обратный оператор модели канала регулирования; $f^Π$ – оператор прогнозирования; $\uparrow, \downarrow$ – условное обозначение исполнительного механизма и датчика измерительной информации.

Рисунок 2 - Структура упрощенного ВПР (без компенсатора возмущений и корректирующего контура)

Основными операциями ВПР являются: оценка отклонения регулируемой переменной от задания, ретроспективное восстановление идеального регулирующего воздействия (с использованием обратной модели канала регулирования), коррекция управления с учетом опе-

ратора запаздывания, экстраполяция временного ряда идеальных управляющих воздействий, реализация экстраполированного управляющего воздействия.

Более эффективными, по отношению к типовым системам, и более сложными считаются так называемые системы APC (Advanced Process Control), то есть системы усовершенствованного управления многомерными технологическими объектами, главным компонентом которых является прогнозирующая модель объекта и алгоритмы прогнозирующего управления (Model Predictive Control – MPC), [11,12]. Они нашли широкое применение на нефтеперерабатывающих, химических, целлюлозно-бумажных и других предприятиях мира. Схема системы управления с прогнозирующей моделью показана на рисунке 3. По отношению к ПИД-регуляторам MPC дают на указанных предприятиях эффект в пределах 0,5-5,0 млн. долларов на одну установку в год, [12]. Алгоритм выбора управляющих воздействий использует численную оптимизацию для отыскания управлений U^H на горизонте управления с использованием прогнозов Y^H на интервал динамической памяти объекта.



Обозначения: $U^\delta, Y^\delta, W_K^\delta, W_{HK}^\delta$ – действительные управляющие, выходные, а также контролируемые и неконтролируемые возмущающие воздействия (возмущения) объекта управления;

U^H, Y^H, W_K^H – натурные сигналы управления, выходные сигналы объекта и сигналы контролируемых возмущений; U^M, Y^M – модельные сигналы управления и выходные сигналы объекта;

Y^*, O^* – заданные значения выходных воздействий объекта и ограничения на управления;

Q, O – целевые функции и ограничения оптимизатора.

Рисунок 3 – Структура системы управления с прогнозирующей моделью

Рассмотренные эффективные структуры систем автоматического управления технологическими объектами характеризуются неявным [8, 9] или явным [10-12] использованием функциональной или сущностной модели объекта управления, которая является адекватной длительное время или может быть своевременно обновлена (при существенном изменении свойств объекта) с помощью встроенной в управляющую систему подсистемы идентификации. Такие системы малоэффективны для слабо (плохо) формализуемых объектов, например, коксохимических комплексов, доменных печей, кислородных сталеплавильных конвертеров и дуговых сталеплавильных печей. Для них целесообразно создавать системы управления, основанные не на модельном, а натурно-модельном и (или) натурном подходах, [16].

2. Характеристика известных методов и систем управления СФТО с накоплением

опыта управления

2.1. Прогнозирование и управление на основе множества типопредставительных ситуаций

В работах [3, 4, 5] предложено осуществлять накопление и использование опыта прогнозирования и принятия решений в системах управления в виде множества типопредставительных ситуаций (ТПС). При этом под ТПС понимается взаимосвязанная совокупность: структуры, информационного отображения объекта, внешних и внутренних условий его функционирования, параметров каналов управления и контролируемых внешних воздействий, реализаций приведённых возмущающих воздействий, критериев эффективности управления.

Конечное множество ТПС рассматривается в качестве натурно-модельного блока, на основе которого принимаются управляющие решения и (или) прогнозы. Так, например, в системе прогнозирующего управления коксохимическим производством металлургического комбината используется более 50 ТПС, [5].

Процедура выбора управлений на базе ТПС включает следующие основные действия: сбор данных о текущей ситуации в системе управления; распознавание класса, к которому относится текущая ситуация; принятие эффективного управляющего воздействия (или прогноза), рекомендованного для выбранного класса ситуаций; коррекция рекомендованного воздействия (прогноза) с учётом отличий характеристик текущей ситуации от характеристик типичного представителя класса, реализация сформированного управляющего воздействия. Внедрение метода ТПС подробно представлено в работе [5], которая является наглядным примером эффективного управления СФТО.

2.2. Управление агрегатом циклического действия по образцовым циклам.

В работах [6, 7] рассматривается конкретный пример применения метода управления по образцовым циклам, а именно - управление плавкой стали в кислородном конвертере по образцовым плавкам. Все плавки стали разделены на классы в зависимости от их входных (начальных) и выходных (конечных) переменных. Классификация плавов стали предполагает использование следующих элементов: содержание кремния, марганца, фосфора, серы в жидком чугуна; температура и масса жидкого чугуна; содержание углерода, фосфора, серы в стали; температура стали; основность шлака, минутный расход дутья; положение продувочной фурмы. Диапазон значений каждой из названных переменных разбит на несколько (до 5-ти) поддиапазонов. Такому разбиению соответствует не более 65-ти классов. Если входные и заданные выходные значения переменных предстоящей плавки совпадают с одной из ранее произведенных образцовых (эффективных) плавов, информация о параметрах которых хранится в базе данных, то значения управляющих воздействий для предстоящей плавки принимаются такими же как в найденной образцовой плавке.

Данный метод в своей основе аналогичен методу принятия управленческих решений по типопредставительным ситуациям, ТПС. Но он не предполагает оперативную корректировку управлений с применением пересчетной модели (модели объекта «в малом»), и является примером натурального подхода к управлению СФТО, к которым относится процесс выплавки стали в конвертере.

3. Прецедентный метод накопления и использования опыта принятия решений в человеко-машинной системе управления СФТО

Суть метода принятия решений на основе прецедентов широко известна и наглядно отображается так называемым CBR-циклом прецедентного принятия решения, [13, 14]. Вместе с тем алгоритмические основы прецедентного подхода к принятию управленческих решений в автоматизированных (человеко-машинных) системах управления технологическими процессами находятся, пока ещё, на начальном этапе своего развития, [15, 16, 17].

Прежде всего, необходимо модифицировать CBR-цикл принятия решений, рассматривая его как цикл выработки управляющих воздействий на основе информации о ситуации в системе управления (о внешних воздействиях, параметрах состояния агрегата, выходных воздействиях, прошлых и текущих управлениях, цели управления и ограничениях). На ри-

сунке 4 показан такой модифицированный цикл выработки управляющих воздействий на основе прецедентов (цикл прецедентного управления – ЦПУ).



Рисунок 4 – Модифицированный цикл выработки и реализации управляющих решений в системе управления СФТО

Актуальными задачами, относящимися к модифицированному CBR-циклу (ЦПУ) являются: разработка функциональной схемы системы управления СФТО; построение информационной модели прецедента, выбор наилучшего (оптимального) прецедента из множества актуальных, на данный момент, прецедентов и другие. На примере разработки программы управления предстоящей плавкой стали в кислородном конвертере, включающий количество и моменты дачи шихтовых материалов, графики расхода дутья и положение продувочный формы, массу и ритм подачи шлакообразующих, температуру расплава, разработаны: общая схема системы управления, рисунок 5; структура информационной модели прецедента, рисунок 6.

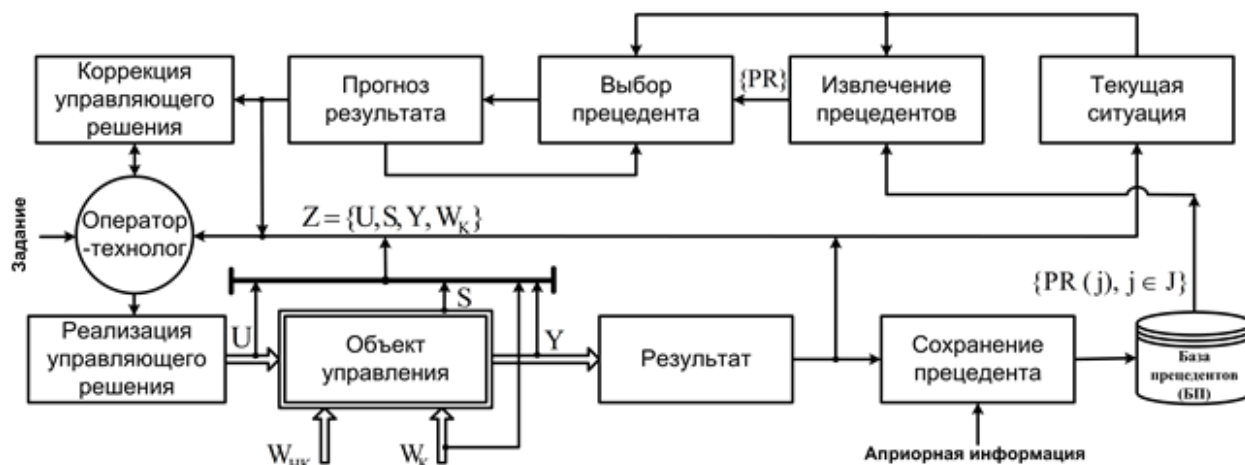


Рисунок 5 – Схема процесса управления СФТО

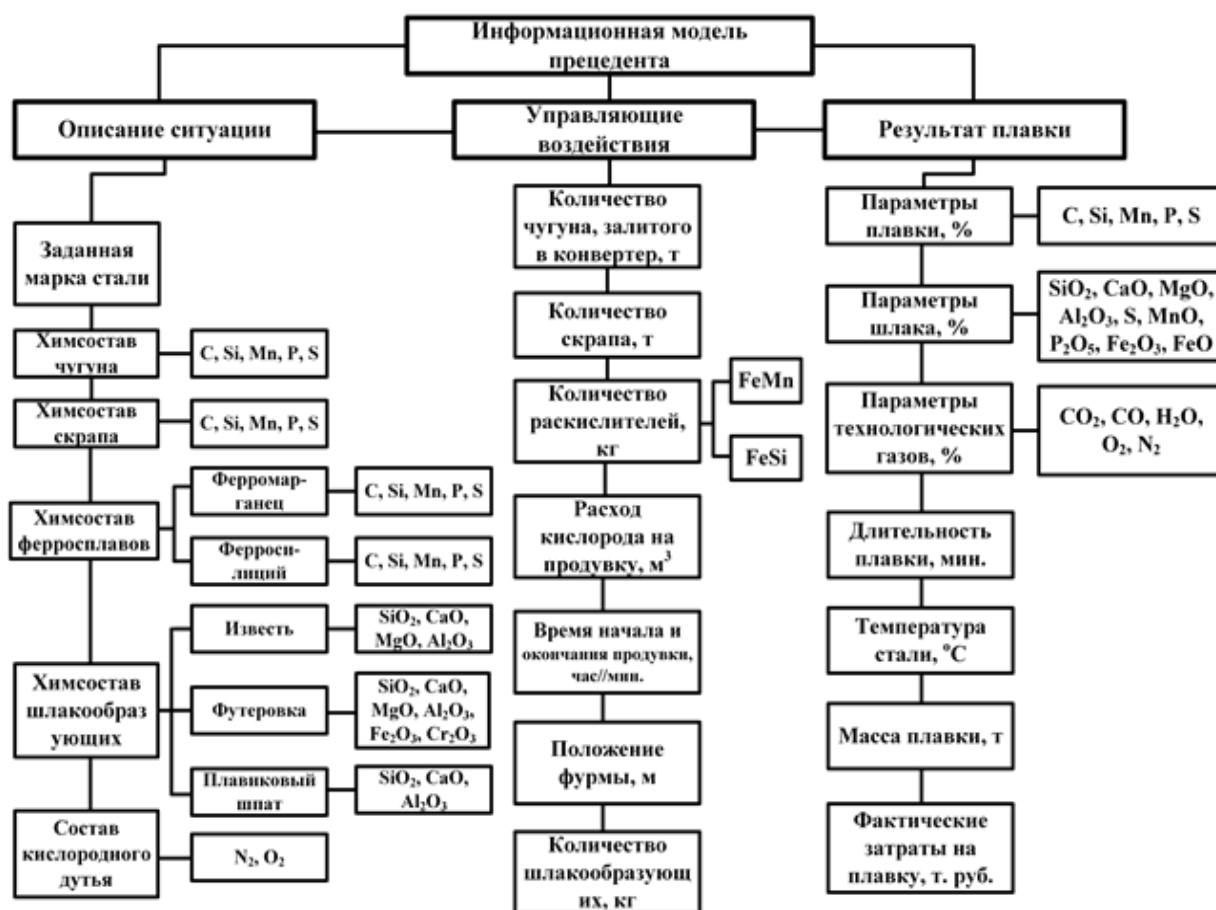


Рисунок 6 – Структура информационной модели прецедента (для синтеза программы управления предстоящей плавкой стали в конвертере)

Важным вопросом, по отношению к принятию решений методом прецедентов является выявление сходства и различий этого метода по отношению к методу ТПС и его частному случаю – методу образцовых циклов. В первую очередь следует указать, что все три рассматриваемых метода (метод ТПС, метод образцового цикла, метод прецедентов) относятся к одному классу методов принятия управляющих решений. А именно, – классу методов, характеризующихся накоплением и последующем использованием данных о ранее реализованных эффективных (а также неэффективных) управлениях, кратко – классу методов с накоплением опыта управления (методов НОУ).

Основными отличиями метода прецедентов от метода ТПС являются:

1) Разные базовые понятия: *типопредставитель* (ТПС), *прецедент*.

Типопредставитель есть характерный, регулярно встречающийся, типовой объект, процесс, ситуация, реализация измерительного сигнала, задача принятия решения.

Прецедент – любой конкретный случай принятия решения, процесс, событие, ситуация, имевшие место (реализованные) в прошлом, аналогичные предстоящему случаю принятия решения, процессу, событию, случаю.

2) Разные концепции принятия управляющих решений (на базе ТПС и на основе прецедентов).

Для выработки управленческого решения на базе ТПС необходимо сформировать множество типовых ситуаций и соответствующих им эффективных решений, из числа которых осуществляется выбор решения для текущей ситуации в системе управления, после отнесения её к какой-либо ТПС.

Для выработки решения на основе прецедентов необходимо создать и online обновлять множество конкретных случаев принятия решений (базу прецедентов), из числа которых осуществляется выбор (и коррекция, если это необходимо) предстоящего решения мак-

симально близкого, по исходным условиям, к оптимальному на данный момент прецеденту.

3) Мощность множества ТПС в системах управления сложными объектами всегда много (на порядки) меньше мощности множества прецедентов. Соответственно метод ТПС не отвечает принципу необходимого разнообразия У.Р. Эшби применительно к СФТО, которые характеризуются очень высоким разнообразием.

4) Методология принятия решений на основе прецедентов используют новые (по отношению к принятию решений на базе ТПС) инструменты, такие как:

- онтология предметной области;
- теория структурного отображения;
- методы построения информационной модели прецедентов;
- нечеткие правила классификации прецедентов;
- методы выбора оптимальных прецедентов;
- методы оценки актуальности и архивирования актуальных прецедентов в реальном времени.

Библиографический список

1. Безгинова Ю.А. Практики управления знаниями в нефтяных компаниях / Ю.А. Безгинова, Т.А. Гаранина, Д.В. Кудрявцев, А.Ю. Плешкова // Открытое образование. 2018. №22(6). – С.27-38. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-6-27-38>.
2. Зимин В.В. Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ИТIL) : учебное пособие / В. В. Зимин, А. А. Ивушкин, С. М. Кулаков, К. А. Ивушкин. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2013. – 500 с.
3. Авдеев В.П. Виды типопредставительств в задачах исследования и управления / В.П. Авдеев, В.Я. Карташов, Л.П. Мышляев, А.А. Ершов. – Кемерово: КемГУ, 1984, 91 с.
4. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев и др. – Кемерово, М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТИ, 2008. – 487 с.
5. Мышляев Л.П. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: монография: в 3 т. - Т. 2: Системы автоматизации производственного назначения / под ред. Л. П. Мышляева. – Наука, 2006. – 483 с., ил.
6. Богушевский В.С. Компьютерная модель расчета шихтовки и продувки конвертерной плавки / В.С. Богушевский, Г.Г. Грабовский, В.М. Михайлов и др. // Сталь. – 2006. – № 1. – С. 18—21.
7. Богушевский В.С. Система управления конвертерной плавкой / В.С. Богушевский, Г.Г. Грабовский, Н.С. Церковникий, В.А. Ушаков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – №4. – С 232-235.
8. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. М.: Энергия, 1973. – 440 с.
9. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. — Москва: МЭИ, 2008. — С. 396. — 400 с
10. Авдеев В.П. Восстановительно-прогнозирующие системы управления : учеб. пособие / В.П. Авдеев, В.Я. Карташов, Л.П. Мышляев, А.А. Ершов. – Кемерово : КемГУ, 1989. – 91 с.
11. Carlos E Garcia, David M Prett, and Manfred Morari. Model predictive control: theory and practice - a survey. Automatica, 25(3):335–348, 1989.
12. Дозорцев В.М. APC-усовершенствованное управление технологическими процессами / В.М. Дозорцев, Д.В. Кнеллер // Датчики и системы. №10, 2005. – 2005. – с. 56-62.
13. Aamodt A., Plaza E. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. AI Communications. IOS Press, Vol. 7: 1, pp. 39-59.
14. Варшавский П.Р. Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов / П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин // International Journal "Information Models and Analyses" Vol.2 / 2013, № 4, pp 385-392.
15. Карпов Л.Е. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классифика-

ции состояний управляемых объектов / Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин // Труды Института системного программирования РАН, том 13, часть 2, 2007, стр. 37-58.

16. Кулаков, С.М. О структуризации пространства подходов к исследованию автоматизированных систем на разных стадиях их жизненного цикла / С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь В.В. Зимин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции. Под ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева; Сибирский государственный индустриальный университет. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2011. - С.26-34.

17. Прецедентный подход к формированию программ управления объектами циклического действия / С. М. Кулаков, В. Б. Трофимов, А. С. Добрынин, Е. Н. Тараборина // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS`2017 : труды XI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 14-16 декабря 2017 г. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2017. – С. 11-19. – Библиогр.: с. 19 (18 назв.).

18. Кулаков С.М. Метод прецедентов в системах управления сложными технологическими объектами / С.М. Кулаков, М.В. Ляховец, Р.С. Койнов // Труды Всероссийского совещания по проблемам управления. ВСПУ-2019. Труды [Электронный ресурс], 17-20 июня 2019, Москва. – URL: <http://vspu2019.ipu.ru>.

СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СРЕДЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ В СОЧЕТАНИИ С ВЕЙВЛЕТ-МОНИТОРИНГОМ ТЕКУЩИХ РЕЖИМОВ

Федосенков Д.Б.¹, Симикова А.А.², Федосенков Б.А.²

¹*Сибирская генерирующая компания, г. Москва*

²*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия*

В технологических схемах производства продуктов различного назначения, связанных с получением многокомпонентных смесей, наибольшая эффективность процессов дозирования и смешивания при получении комбинированных продуктов достигается в непрерывно действующих смесеприготовительных агрегатах. Причем, независимо от типа датчиков расхода, сигналы, формируемые дозаторами, являются нестационарными по частоте и амплитуде. Подобные сигналы не могут быть адекватно интерпретированы стандартными средствами анализа, такими, как преобразование Фурье.

В качестве решения поставленной задачи идентификации текущих режимов работы смесеприготовительного агрегата предложено использовать аппарат вейвлет-преобразований, который позволяет выявлять локальные особенности расходных сигналов как по времени, так и по частоте. В результате рассмотрения методов моделирования процессов непрерывного приготовления смесей выявлена целесообразность исследования их динамики с применением метода пространства состояний, время-частотного вейвлет-анализа и способов, позволяющих описать блок дозирующих устройств как управляемую динамическую систему.

С целью стабилизации материалопотоков на номинальном уровне в рамках предсметительной стадии (что необходимо для получения смесей высокого качества, то есть смесей с малой степенью неоднородности) в работе реализован метод модального управления процессом дозирования, подразумевающий создание условий для поддержания требуемых режимов за счет направленного специфического воздействия на "созвездие" полюсов замкнутой системы дозирования с векторной обратной связью по состоянию путем воздействия на исполнительные механизмы дозаторов. В связи с этим решается проблема так называемых обратных (восстановительных) переходных процессов, являющихся результатом принудительной структурно-параметрической нестационарности системы в случае спорадических