

## **Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа**

Ладанюк А.П.

Шумигай Д.А.

Бойко Р.О.

### **Введение**

Для распространенного класса технологических комплексов (ТК) непрерывного типа (химическая, нефтеперерабатывающая, пищевая и другие отрасли промышленности) характерно наличие значительного количества технологических процессов, с помощью которых исходное сырье и материалы превращаются в готовый продукт. Технологический комплекс – это ряд последовательно соединенных подсистем, каждая из которых имеет значительные материальные, энергетические и информационные потоки, в том числе обратные связи. В результате взаимодействия непрерывных потоков вещества и энергии, физико-химических преобразований на различных стадиях производственный процесс и технологическое оборудование оказываются сами по себе интегрированными, т.е. достаточно взаимосвязанными и согласованными оперативно по времени [1].

Наиболее важными свойствами ТК являются: наличие значительного количества участков (подсистем), связанных между собою сложными структурными и функциональными отношениями; существование и необходимость решения задач оптимизации работы подсистем и задачи координации их функционирования при ограниченной автономности подсистем; необходимость учета различных критериев оптимизации при работе подсистем; наличие иерархической структуры, обусловленной существованием глобальной цели систем и локальных целей подсистем; необходимость адаптации к изменяемым условиям работы и свойств сырья.

Общими свойствами ТК непрерывного типа является также большая размерность задачи управления, что обусловлено большой размерностью координат состояния, выходных переменных и управлений. При оперативной оптимизации, т.е. при управлении в реальном масштабе времени, возникает необходимость изменять не только материальные и энергетические потоки между подсистемами ТК, но и режимы их работы.

Технологические процессы, как правило, являются слабо организованными, т.е. их протекание и эффективность сильно зависят от внешних и внутренних возмущений, в первую очередь от качества сырья и нагрузок, что характеризуется производственными ситуациями. Таким образом существует объективная необходимость в оптимальном управлении ТК, то есть в решении задачи координации с учетом сложившихся ситуаций.

## **Постановка задачи**

В статье рассматриваются метод и алгоритм координации подсистем технологических комплексов с использованием ситуационного управления. Известные в технической литературе алгоритмы и процедуры координации не учитывают изменяемых параметров технологических объектов, значительных запаздываний в передаче сигналов, изменяемых условий и режимов работы.

В современной теории управления используются комплексные подходы, направленные на повышение эффективности процессов управления как отдельными технологическими объектами, так и комплексами в целом. Таким образом целесообразно рассмотреть системы автоматизации отдельных технологических объектов, которые в дальнейшем объединяются в одну структуру с использованием интеллектуальных подходов.

Для постановки задачи координации необходимо провести анализ исследуемого ТК (например, используя методологию функционального моделирования IDEF0 – Integrated computer aided manufacturing DEfinition for Function Modeling), выделить подсистемы, сформировать комплекс на основе выделенных подсистем.

Для построения структуры управления используется метод декомпозиции, что позволяет рассматривать ТК как совокупность подсистем.

## **Методика и результаты**

С точки зрения задач управления в составе ТК существует оптимальное количество подсистем: при увеличении их числа задача управления каждой подсистемой упрощается, но значительно возрастают затраты на координацию их работы. Для каждой из подсистем находятся оптимальные значения параметров, считая, что управление, оптимальное по критериям эффективности для каждой из подсистем, является также оптимальным для ТК в целом [2].

В статье рассматривается ТК сахарного завода, который отвечает наведенным требованиям, для которого целесообразно выполнять декомпозицию по организационно-технологическим признакам и рассматривать следующие подсистемы: диффузионное отделение, отделение очистки сока, отделение выпарки. Проведенные исследования дают возможность утверждать, что координация работы диффузионного отделения и отделения выпаривания дает наибольшую эффективность.

Исследованы свойства ТК сахарного завода, что позволяет сделать такие выводы: для сложной иерархической структуры ТК сахарного завода задачу глобальной координации следует рассматривать как согласование действий основных отделений (диффузионного, сокоочистного, выпарного), при этом каждое из отделений состоит из отдельных

технологических агрегатов, в которых осуществляются разные технологические процессы. Соответственно локальная координация предусматривает согласование действий между отдельными элементами соответствующих отделений. Например, на отделении сокоочистки подсистемами согласования для решения задачи локальной координации является переддефекация, дефекация, I, II сатурация, сульфитация, причем каждый из этих процессов имеет свою задачу оптимизации.

Сегодня координация использует ряд алгоритмов [3], на которых основаны итеративные и безитеративные процедуры решения поставленной задачи. По итеративной процедуре оптимальное решение определяется в процессе итеративного обмена информацией между центром и элементами. На каждом шаге итеративного процесса решаются локально-оптимальные задачи элементов и координирующая задача центра. По безитеративным алгоритмам принятие решения осуществляется в результате однократного обмена информацией между уровнями. Как правило, используют следующие алгоритмы: прогнозирование взаимодействий, согласование взаимодействий, оценка взаимодействий.

Координация прогнозирования взаимодействия применяется как инструмент для внутреннего распределения ресурсов между подсистемами в иерархической системе. При этом существует конфликтная ситуация, когда увеличение производительности диффузионного отделения приводит к увеличению расхода энергоносителей на выпарной установке. В связи с тем, что изменение материального потока значительно больше влияет на эффективность функционирования подсистем чем изменение технологического режима, ресурс рассматривается как материальный поток.

В технической литературе описано ряд подходов к проблеме оптимизации и координации в иерархических системах. Особый интерес представляют работы, в которых рассматриваются вопросы прогнозирования, что связано непосредственно с подходами к ситуационному управлению [4]:

Модель безитеративной координации использует стратегию прогнозирующей координации. Задача оптимизации, решаемая иерархической системой, представляется в виде

$$\min_x (F(x)) = \sum_{i=1}^N f_i(x_i) \quad (1)$$

где  $x_i, f_i(x_i)$  – управление и функция цели в подсистеме  $i$ ,  $F(x)$  – глобальная целевая функция системы. Общее количество ресурсов ограничено для всей иерархической системы. Если осуществлено распределение ресурсов, то общая задача подвергается декомпозиции на  $N$ -независимых подзадач оптимизации:

$$\min_{x_i} (f_i(x_i)) \quad (2)$$

Задачей координации является поиск оптимального распределения ресурсов. Координатор имеет возможность воздействовать ресурсным распределением на подсистемы и оценивать оптимальное распределение, что в данном случае является глобальным решением.

Ситуационное управление непрерывным ТК является методом, основанными на идеях теории искусственного интеллекта: представлении знаний об объекте управления и способах управления им с использованием логико-лингвистических моделей, нечеткой логики, процедур обучения и обобщения при генерации управленческих решений по текущим ситуациям для построения многошаговых решений. В теории нечеткой логики терм формализуется нечетким множеством с помощью функции принадлежности:

$$\sigma(A) = \{x \mid \mu_A(x) > 0\}, \quad (3)$$

где  $A$  – нечеткое множество,  $\mu_A(x)$  – функция принадлежности  $x$  к  $A$ .

Рассматриваемые комплексы непрерывного типа и их подсистемы имеют множество состояний функционирования. При этом каждая подсистема и комплекс в целом в определенный момент времени характеризуются определенным состоянием, что можно записать уравнениями в координатах состояний:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = Ax_i + Bu_i + D_1 w_i \\ y_i = Cx_i + D_2 w_i \end{cases} \quad (4)$$

где:  $x$  – вектор состояния системы;  $u$  – управление;  $y$  – выход системы;  $w$  – входные сигналы (внешние возмущения);  $A, B, C, D_i$  – матрицы.

Математические модели в координатах состояний (4) дают возможность получить оценку таких важных показателей как наблюдаемость и управляемость системы. По характеру функционирования рассматриваемые подсистемы и отдельные технологические процессы (агрегаты) являются не полностью наблюдаемыми и не полностью управляемыми.

Для решения поставленной задачи, оценки состояния объекта используют эталонную модель [5], которая соответствует модели объекта (4):

$$\dot{x}_{mi} = A_{mi} x_{mi}(t) + B_{mi} r_i(t), y_{mi} = L_i x_{mi}, \quad (5)$$

где  $r_i(t)$  – векторы задания, элементами которых есть частично-непрерывные ограниченные функции,  $A_{mi}, B_{mi}$  – гурвицевы матрицы,  $L_i = [1, 0, \dots, 0]$ .

Целевым условием для данной системы будет выражение:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (x_i(t) - x_{mi}(t)) = 0 \quad (6)$$

Известны методы адаптивного децентрализованного управления с модельной координацией, при котором принимается допущение о доступности локальным контроллерам информации о состоянии эталонных моделей всех локальных подсистем, что позволяет обеспечить асимптотическое отслеживание заданных эталонных траекторий с нулевой ошибкой [6].

Для получения наиболее эффективного функционирования ТК непрерывного типа возможны изменения материальных потоков и технологических режимов.

Фактически из-за сложности рассматриваемых ТК исходные знания о таких объектах и способах управления ими не бывают достаточно полными [2]. Поэтому система ситуационного управления должна иметь возможность корректировать свои знания об объекте и методах управления им. Рассматривается ситуационное управление непрерывным ТК, которое требует создания экспертами предварительной базы данных об объекте управления, его функционировании и способах управления им.

Функциональная структура интеллектуальной системы ситуационного управления рассматриваемыми ТК, осуществляющей генерацию управляющих решений на основе переработки данных и знаний, характеризующих функционирование организационно-ситуационного объекта, представлена кортежем:

$$U = \langle K, M, D, C, S, L, E \rangle \quad (7)$$

где  $K$  – база знаний;  $M$  – блок математического моделирования;  $D$  – база данных;  $C$  – блок вывода управляющих решений;  $S$  – блок анализа ситуаций;  $L$  – лингвистический процессор;  $E$  – блок объяснения.

Модель цикла принятия решений по управлению в проблемных ситуациях (ПС) – нештатных, критических, аварийных – подаётся в виде пространственной многомерной структуры знаний:

$$S' = \{S, M, A, E, D, X, G\}, \quad (8)$$

где  $S'$  – ситуация, которая произошла в результате решения;  $S$  – начальная ПС;  $M$  – множество моделей развития ПС;  $A$  – множество альтернатив развития ПС;  $E$  – множество критериев оценки эффективности решений;  $D$  – множество решений;  $X$  – множество состояний объекта;  $G$  – цель управления объектом.

Так как решения, принятые в некоторый момент времени, оказываются лишь частью общего многошагового решения, то для выбора управления на этом этапе нужно уметь не только классифицировать текущую ситуацию, но и прогнозировать результаты принятого в данной ситуации решения. Решением этой задачи в системах ситуационного координирования (Рис. 1) занимается "Координатор". С его помощью определяется прогноз

последствий принимаемых решений и выбор на основе этого прогноза наилучшего решения [7].

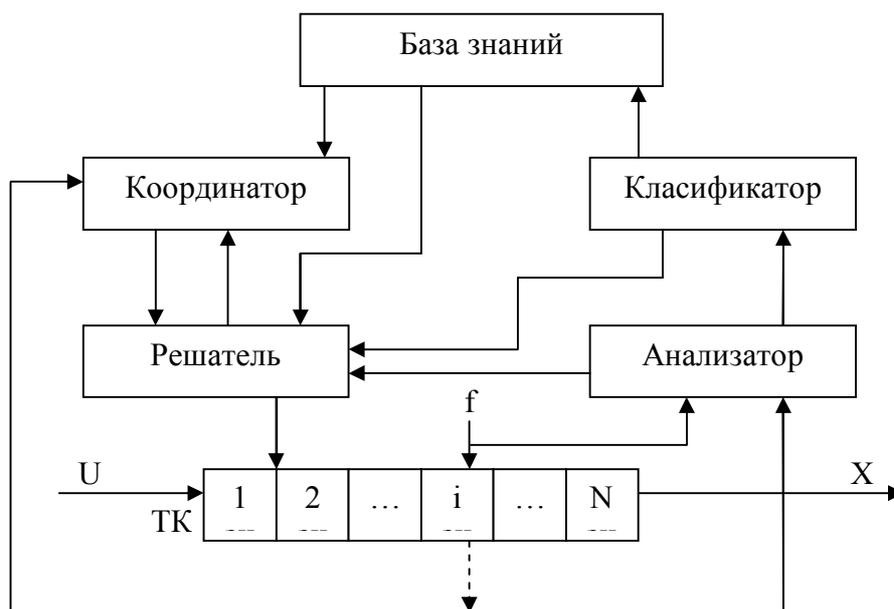


Рис. 1 Структура системы ситуационного координирования

Данные о текущей ситуации поступают в "Координатор", где в реальном времени решается задача координации по принципу прогнозирования взаимодействий, что должно минимизировать вероятность возникновения нештатных, критических, аварийных ситуаций. Данные о текущей ситуации поступают в "Анализатор", который находит ситуации, которые требуют оперативного вмешательства в процессы, происходящие на объекте и передает их описание в "Классификатор", который ищет в базе знаний данную ситуацию и соответствующие ей решение и передает информацию в "Решатель", который и формирует нужные управляющие воздействия на ОУ. Если же "Классификатор" обнаружит, что для текущей ситуации нет готового проверенного решения, то сообщение об этом поступает в "Координатор", задача которого найти приемлемые решения в новой для системы ситуации, используя специальные методы рассуждений (моделирование соображений). Если новое решение оказалось удачным, то вся информация заносится в "Базу знаний".

Алгоритм ситуационного (прецедентного) управления представлен на Рис.2.

После формирования цели, базы данных и базы знаний происходит анализ и прогнозирование ситуаций на основе исходных переменных. Если же спрогнозированная ситуация уже была, то с базы знаний берется решение для данной нештатной ситуации. При отсутствии данной ситуации в базе знаний происходит формирование оптимальных решений с помощью координатора, при этом новая ситуация и управленческие действия заносятся в базу знаний. Результат сформированных решений проверяется с помощью критерия эффективности  $I$ . Если решение на  $n$ -м шаге эффективнее за решение на  $n-1$ -м шаге

$(I_n > I_{n-1})$ , то это решение для соответствующей ситуации перезаписывается в базе знаний. Условие остановки алгоритма – уменьшение критерия эффективности ( $I_n < I_{n-1}$ ) или изменение критерия эффективности меньше минимального заданного значения ( $I_n - I_{n-1} < \varepsilon$ ).

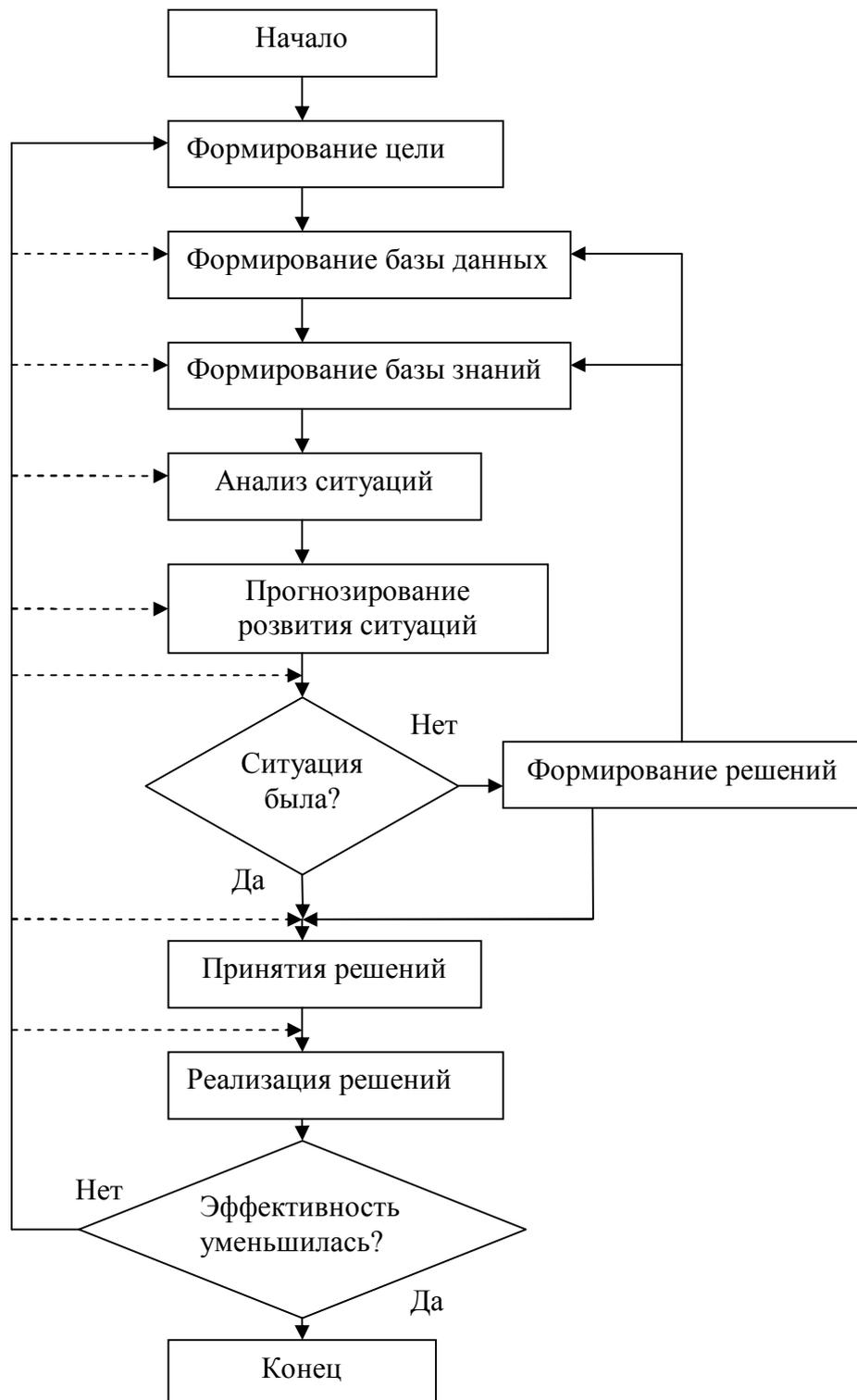


Рис.2. Алгоритм ситуационного (прецедентного) управления

В результате исполнения приведенного подхода показано, что методы и алгоритмы ситуационного координирования подсистем ТК дают возможность увеличить производительность на 8-10% и уменьшить расход энергоносителей на 1,5-2%.

### **Выводы**

Предложен метод эффективного управления ТК непрерывного типа, в котором соединены процедуры ситуационного и координирующего управлений для повышения эффективности функционирования ТК. Метод позволяет также оперативно оценивать множество состояний функционирования ТК и его подсистем. Результатом применения этого метода является повышение оперативности управления, экономия материальных и энергетических ресурсов.

### **Литература**

1. Ладанюк, А.П. Автоматизированные технологические комплексы в структуре компьютерно-интегрированного управления / А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24: сб. трудов XXIV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 6. – Киев: Национ. техн. ун-т Украины «КПИ», 2011. – С. 9-12.
2. Ладанюк, А.П. Основы системного анализа [навч. пос.] / А.П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 176 с.
3. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем /М. Месарович, Д. Мако; - М.: Мир, 1973. - 344 с.
4. Стоилова, К. Прогнозирующие неитеративные координации в иерархических системах / К. Стоилова // Автоматика и телемеханика. – 2006. - №4. – С. 137-151.
5. Паршева, Е.А. Адаптивное децентрализованное управление многосвязными объектами / Е.А. Паршева // Автоматика и телемеханика. – 2001. - №2. – С. 135-148.
6. Буков, В.Н. Децентрализованное управление с модельной координацией составной многосвязной системой / В.Н. Буков, А.М. Бронников, Н.И. Сельвесюк // Автоматика и телемеханика. – 2009. - №10. – С. 3-14.
7. Ладанюк А.П. Система автоматизації процесів координації підсистем технологічного комплексу цукрового заводу з використанням ситуаційного управління / А.П. Ладанюк, Д.А. Шумигай, Р.О. Бойко // Патент України на корисну модель №73051. 10.09.2012, Бюл. №17.