

Автор ер.
В 14

Библиот. № 944

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М.В. ЛОМОНОСОВА

Для служебного пользования
Экз. № 0093

На правах рукописи

ВАЙНЕР

Владимир Герасимович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ
ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА МНОГОСВЯЗНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ
СТРУКТУР (НА ПРИМЕРЕ АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЮ-
НОВОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ)

Специальность 05.13.07 — автоматическое управление и
регулирование, управление технологическими процессами
(промышленность)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса — 1981

СП. Вх. №	399
С. н.	Л. Г. И. Л. Л.
„ 17 ”	IX 1981 г.

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени Государственном научно-исследовательском и проектном институте основной химии (НИОХИМ, Харьков) Министерства химической промышленности СССР.

Научный руководитель: почетный химик СССР, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный работник промышленности СССР, доктор технических наук
ЗАЙЦЕВ И.Д.

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки СССР, доктор технических наук, профессор

ОНАХТ 05.07.11

Разработка и исследо



v017974

КУЗЬМИН И.В.;

старший научный сотрудник, кандидат технических наук

ПОНОМАРЕНКО Л.Д.

Ведущая организация: ордена Ленина Институт кибернетики Академии наук СССР

29-ября 1981 г. в 14⁰⁰ час.

Совета Д 068.35.01 при Одесском
промышленности им. М.В. Ломоно-

Одесского техноло-
М.В. Ломоносова.

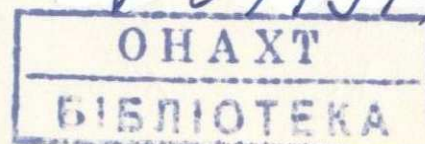
Ф. ЗАГЛАЛОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" подчеркивалось, что одной из основных проблем развития современной теории управления является "расширение автоматизации проектно-конструкторских работ с применением электронно-вычислительной техники".*) В настоящее время стало ясно, что эффективное использование значительного количества прикладных программ невозможно без организации соответствующей управляющей структуры. Трудности непосредственного применения стандартных методов теории управления к этому вопросу связаны с некоторой нестандартностью рассматриваемого объекта управления - процесса проектирования.

Однако общий подход теории управления позволяет достаточно полно исследовать эту ситуацию на базе решения следующих вопросов: описания процесса проектирования как технологического процесса; построения математической модели процесса; определения набора управляемых переменных, типов и способов управления. Решение перечисленных вопросов в комплексе позволяет выработать эффективную систему управления процессом. Описание процесса проектирования как технологического процесса представляет собой основу для дальнейшей формализации и построения математической модели. Возникающие здесь трудности связаны с необходимостью выделить основные компоненты и принципы реализации сложившегося на практике процесса ручного проектирования. Для построения математической модели процесса необходимо выбрать уровень описания, соответствующий язык, и на этой основе определить фазовое пространство сис-

*) Материалы XXVI съезда КПСС. - М.: Издательство политической литературы, 1981, с. 144.



темы, соответствующие операторы и т.п. Синтезированная таким образом динамическая система должна быть легко адаптирована к различным типам проектных задач без изменения логической и управляющей структуры, а включение в такую структуру выдвигает ряд новых требований к алгоритмам решения отдельных задач. На всех этапах построения математической модели следует производить отбор переменных, подлежащих управлению, и сама структура динамической системы должна быть во многом подчинена выбранному способу управления. В рассматриваемом случае сложность решаемых в системе задач весьма высока — они часто принадлежат к переборному типу. В связи с этим метод динамического программирования часто неэффективен, и это заставляет использовать иные принципы управления.

Проведенные исследования являются составной частью работ по созданию системы автоматизированного проектирования производств основной химии (САПР-СОДА) и выполнены в соответствии с: Координационным планом ГКНТ СССР № 500 от 21.02.75 по теме "Разработка автоматизированной системы проектирования химических производств" (Проблема 0.80.15 Государственного плана. Задание 10.04. Раздел I. Фрагмент 2-1. Пункт 2-2 "Разработка... САПР содовой промышленности"); Постановлением Президиума АН УССР № 135 от 23.03.78 (Приложение I. Пункт 7 "Разработка и внедрение первой очереди системы автоматизированного проектирования предприятий содовой промышленности." Параграф 2. "Разработка универсальной системы программ компоновки химико-технологического оборудования и прокладки инженерных коммуникаций". Параграф 3. "Разработка системы программ автоматизированного проектирования генеральных планов содовых заводов"); Решением Научно-технического совета Министерства химической промышленности СССР (НТС МХП СССР) от 10.04.74, приказом МХП СССР

№ 148 от 05.03.75 о создании системы автоматизированного проектирования объектов химических производств и решением НТС МХП СССР от 29.09.78 по вопросу "Создание САПР содовых производств".

Ц е л ь р а б о т ы состоит в создании управляемой динамической системы проектирования компоновок и связывающих сетей промышленных производств. Предложен общий подход к созданию автоматизированных систем такого типа, а также описана конкретная ее реализация для широкого класса химико-технологических систем (ХТС).

Н а з а щ и т у в н о с я т с я следующие положения:

- принцип синтеза управляемой динамической системы проектирования промышленных структур;
- разработка и исследование алгоритмов управления проектированием связывающих сетей;
- синтез оптимизационных алгоритмов управления решением специальных задач соединения и размещения, возникающих в промышленном проектировании;
- основы управления реализацией конструктивного оператора проектирования;
- язык управления для автоматизированного диалогового режима работы системы.

Н а у ч н а я н о в и з н а заключается в решении следующих задач:

- анализа процесса проектирования структур промышленных производств на основе системного подхода;
- разработки принципов построения управляемой динамической системы проектирования и ее определения как абстрактной системы;
- выделения системы базисных функций, являющихся основой для синтеза конструктивного оператора проектирования;
- разработки основных принципов управления такой системой, ос-

нованной на анализе альтернативных вершин технологического графа проектирования и специальном языке управления;

- получения универсального алгоритма управления решением задач соединения, являющегося обобщением алгоритма Прима-Краскала, адаптация которого к различным метрикам и пространствам происходит путем незначительного изменения отдельных арифметических блоков;

- выделения ряда задач, специфичных для управления соединением в системах промышленных производств (совместный переход дороги, эстакады, потокораспределение и др.), и предложения ряда алгоритмов (в том числе и точных) для их решения;

- разработки метода управления корректировкой расположения объектов с учетом связывающей их сети и технологических ограничений;

- получения оценки оптимальности решения задач соединения, что дает возможность контролировать качество управления.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь р а б о т ы состоит в создании автоматизированной управляемой динамической системы для проектирования аппаратурно-технологических компоновок ХТС. Система программно реализована применительно к ЭВМ серии ЕС, работающей под управлением операционной системы ОС ЕС. Программы написаны преимущественно на языке ПЛ/I. Модули, связанные с выводом на графопостроители ЕС-7054 и КАЛКОМІ, - на языке ФОРТРАН-IV; некоторые сервисные программы написаны на языке АССЕМБЛЕР. Интерпретатор директив языка управления занимает объем 200 К оперативной памяти.

В н е д р е н и е р е з у л ь т а т о в р а б о т ы было проведено при реальном проектировании ряда крупных промышленных производств основной химии: проектировании геометрии тех-

нологической эстакады Крымского содового завода (объект 702) с экономическим эффектом 75 тыс.руб., расчете сетей трубопроводов при проектировании производства ингибированного хлоркальция на Славянском производственном объединении "Химпром" (объект 556Г) с экономическим эффектом 79 тыс.руб. Результаты работы использованы на предприятии п/я А-7417 с экономическим эффектом 42 тыс.руб./год. Общий экономический эффект от внедрения составил 196 тыс.руб. В соответствии с просьбой Внешнеторгового предприятия ТЕСКО (Венгерская Народная Республика) о передаче на контрактной основе Проектному предприятию нефтяной промышленности ОЛАЙТЕРВ системы программ для построения связывающих сетей сложных ХТС в настоящее время ведутся переговоры.

А п р о б а ц и я р а б о т ы . Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: III Международном симпозиуме по содовому производству (Варна, Народная Республика Болгария, 1974), совещании по научным и методическим вопросам автоматизированного проектирования химических производств (Москва, 1974), II и III Всесоюзных семинарах "Численные методы нелинейного программирования" (Харьков, 1976, 1979), Всесоюзном совещании "Обмен опытом по вопросам математического моделирования и системного анализа технологических процессов" (Киев, 1978), II Всесоюзном совещании по автоматизации проектирования систем автоматического и автоматизированного управления (Челябинск, 1978), ХТС МХП СССР (Москва, 1978), VII Всесоюзном совещании по проблемам управления (Таллин, 1980) и ряде Республиканских конференций и семинаров (Киев, Одесса, Таллин, Харьков, 1973-1980). Цикл работ автора в области химической кибернетики удостоен Диплома Украинского правления Всесоюзного химического общества им. Менделеева за 1978 г., Областной премии им.

Измайлова за 1978 г. Отдельные материалы работы были представлены в 1979 г. на Всесоюзной выставке "Управление-79" в экспозиции "Управление качеством проектирования", удостоенной Диплома ВДНХ СССР II степени.

П у б л и к а ц и и . По теме диссертации опубликовано девятнадцать статей, восемь тезисов докладов, четыре аннотации программ^{ж)} (6.01.0775, 6.03.0530, 6.18.0951), два отчета (номера госрегистрации Б722570, Б814960).

С т р у к т у р а д и с с е р т а ц и и . Работа состоит из введения, трех глав, выводов, списка использованной литературы из 169 названий и приложения. Общий объем работы 240 с., из них приложение 59 с., рисунки и таблицы основного текста 29 с., литература 16 с.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В о в в е д е н и и рассмотрен вопрос о возможности применения основных положений теории управления для управления технологическим процессом проектирования и дана краткая аннотация полученных в работе результатов. В частности отмечено, что на основе введения некоторой управляющей группы формируется оператор, определяющий траекторию системы. Управление этим процессом осуществляется на всех уровнях структуры - путем адаптации отдельных

ж) Программы для расчета на ЭВМ. - Информационный бюллетень по химической промышленности. - М.: Издательский отдел Управления делами Секретариата СЭВ, 1977, № 2(65), с.93; 1977, № 5(68), с. 99; 1979, № 2(77), с.72; 1980, № 2(83), с. 87.

Сводный обзор программ для расчета на ЭВМ, применяемых при проектировании химических предприятий в странах-членах СЭВ.-М.: Международная система научной и технической информации по химии и химической промышленности, 1978, выпуск 9-10 (62-63), с. 154-155; 1979, выпуск 10(79), с. 6-7.

блоков и целых комплексов системы к текущей задаче, использования библиотеки стандартных проектных решений и т.п. Ведущим принципом в управлении является последовательное применение на всех уровнях метода ветвей и границ. Схема ветвления каждый раз определяется в соответствии с фазовым пространством системы, а для основных решаемых в системе задач получены эффективно вычислимые оценки решения. Реализация разработанного подхода возможна в различных режимах. Для важной прикладной ситуации предложен специальный язык управления. Приведены сведения об актуальности выполненной работы и ее апробации.

В первой главе излагаются теоретические основы построения и структура управляемой динамической системы синтеза многосвязных промышленных структур. Изучается технология сложившегося процесса проектирования как некоторого технологического процесса и выделяются существенные особенности для дальнейшего его описания. На основе проведенного анализа предлагаются формальная схема процесса и формальная постановка задачи управления. В рамках этой постановки проектирование описано как отображение ХТС в проект. Реализация этого отображения и является процессом проектирования. В связи с этим вводится понятие о конструктивном операторе проектирования, эффективно приближающем абстрактный оператор проектирования и понятие о системе базисных (элементарных) операторов, на основе которых может быть синтезирован такой конструктивный оператор. Отметим, что этот подход вытекает из предложенного в теории И.Д.Зайцева конструктивного подхода к задаче проектирования "в целом".*)

*) И.Д.Зайцев. Разработка и исследование системы автоматизированного проектирования производств основной химии. — Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук с грифом "Для служебного пользования". Харьков, 1979, 29 с.

Приведем основные определения и формальную постановку задачи. Обозначим через $G = (X, \Gamma_1, \dots, \Gamma_S)$ мультиграф, состоящий из конечного множества $X = (x_1, \dots, x_s)$ и системы отображений $\Gamma_1, \dots, \Gamma_S$ этого множества в себя. Каждой вершине $x_i \in X$ мультиграфа G сопоставим некоторый набор (вектор) параметров: $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^{\ell_i})$. Описанный мультиграф интерпретируем как некоторую компоновку ХТС. Его вершины — соответствующие аппараты, причем набор $(x_i^1, \dots, x_i^{\ell_i})$ является фазовым представлением соответствующего устройства. Он определяет нужные для дальнейшего проектирования параметры. Отображение Γ_i ($i = 1, \dots, S$) интерпретируется как система связей, причем каждое отображение отвечает какому-либо одному типу связей — система распределения одного и того же продукта, связи КИП и А и т.д. Таким образом, предполагается, что на данном множестве n объектов существует S различных типов связей. Обозначим через $\pi_i G$ граф $\pi_i G = (X, \Gamma_i)$. Будем далее говорить, что мультиграф $\tilde{G} = (\tilde{X}, \tilde{\Gamma}_1, \dots, \tilde{\Gamma}_t)$ является расширением мультиграфа $G = (X, \Gamma_1, \dots, \Gamma_S)$, если существует такое однозначное отображение (вложение) $\varphi_i(x) \rightarrow \tilde{x}$ и такое однозначное отображение φ' множества $(1, \dots, S)$ в множество $(1, \dots, t)$, что для любых $i = 1, \dots, n$ и любых двух точек $x_1, x_2 \in X$ таких, что $\Gamma_i x_1 \supset x_2$, существует путь между их образами $\varphi(x_1), \varphi(x_2) \subset \tilde{x}$ в графе $\pi_{\varphi(i)} \varphi$. Иначе говоря, граф $\tilde{G}$ есть расширение графа G , если существует такое вложение множества X в множество $\tilde{X}$, при котором образы смежных в графе G вершин являются связанными в графе $\tilde{G}$ путем, причем, если они были смежны при отображении Γ_i для некоторого i , то в графе $\tilde{G}$ для такого рода смежных вершин путь, их соединяющий, порожден отображением $\tilde{\Gamma}_j$ ($j = \varphi'(i)$). Из определения расширения ясно, что $\tilde{X} \supset X$, $t \geq S$. Если $\tilde{X} \sim X$, $t = S$, то мультиграфы G и $\tilde{G}$ изоморфны. Отметим также, что отображение $x_i \rightarrow \varphi(x_i)$ относится не только к номеру $(i \rightarrow j)$,

но и к наборам $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^{e_i})$, иначе говоря, два изоморфных мультиграфа могут различаться набором векторов, сопоставленных их вершинам. Условимся далее писать $\tilde{G} > G$, если граф $\tilde{G}$ является расширением графа G .

Пусть теперь $\mathcal{Q}$ и W - два множества мультиграфов и пусть $\mathcal{Q} \cap W = \emptyset$. Множество $\mathcal{Q}$ интерпретируется как множество всевозможных схем ХТС, а множество W - множество проектов, т.е. схем ХТС, удовлетворяющих определенным правилам. Оба эти множества (вообще говоря - бесконечные) и система правил, определяющая принадлежность мультиграфа к множеству проектов W , выбирается исходя из конкретного класса задач. Содержательный пример, который в дальнейшем будет основным, заключается в том, что множество $\mathcal{Q}$ состоит из всевозможных конечных ХТС, вершинам которых сопоставлен набор необходимых для компоновки и соединения параметров соответствующих аппаратов - размеров, желаемых направлений осей, мощностей потоков и т.п. В том числе и координаты отдельных вершин или областей их нахождения (например, в многоэтажных компоновках - этах, где данный аппарат должен находиться). Множество W , согласно принятым правилам, состоит из мультиграфов, у которых вершинам сопоставлены вектора, определяющие положение данной вершины в соответствующем пространстве (двумерном, трехмерном, или, например, дискретном), а также все остальные параметры, характеризующие расположение данной фигуры в пространстве. Кроме этого, каждой вершине должно быть, в качестве параметра, сопоставлено отображение отрезка $[0, 1]$ в соответствующее пространство, причем, начальная точка этого отображения должна совпадать с данной вершиной, а конечная - со смежной с ней. Таких различных отображений, очевидно, столько же, сколько соседей у данной вершины. Такого рода ХТС, по существу, уже является проектом в обычном понимании, однако, здесь важную роль играет и форма представления соответствующего

мультиграфа.

Продолжим формальное описание ситуации. Обозначим через $F = \{f_i\}$ множество отображений Ω в W таких, что для любого $w \in \Omega$ мультиграф $f(w) \in W$ является расширением $w: f(w) \supseteq w$. Обозначим далее через $Z(W)$ функционал, заданный на множестве W со значениями в R . Этот функционал может быть интерпретирован как оценка качества элемента $w \in W$ (качества проекта). Заметим, что задача проектирования является массовой задачей, т.е. необходимо для ее решения уметь находить оптимальный проект для любого элемента $w \in \Omega$. Таким образом, задача проектирования заключается в нахождении такого отображения $\tilde{f} \in F$, которое для любого $w \in \Omega$ доставляет минимум функционалу $Z(f(w))$, т.е. для любого $w \in \Omega$ является решением уравнения

$$Z(f(w)) = \min_{f \in F} Z(f(w)). \quad (I)$$

Приведенным соотношением отображение $\tilde{f}$ определено, однако его явное нахождение является, вообще говоря, весьма сложным. В связи с этим поставим задачу: заменить в соотношении (I) отображение $\tilde{f}$ его конструктивным приближением $\tilde{\tilde{f}}$. Конструктивность отображения $\tilde{\tilde{f}}$ означает, что его можно реализовать эффективно с помощью конечной системы правил и приемов. При этом, однако, не обязательно любое отображение $f \in F$ является конструктивным, так что его приближение в классе конструктивных отображений может быть необходимо по существу. Обозначим через B множество операторов, которые будем называть базисными: $B = \{B_i\}$. Относительно этих операторов условимся, что каждый из них эффективно выполним и что область определения каждого — множество T всевозможных конечных мультиграфов, а область значений, вообще говоря, — подмножество множества T . Очевидно, что $\Omega \cup W \subset T$. Операторы класса B должны быть использованы для построения конст-

руктивного оператора $\tilde{f}$, приближающего оператор отображения f .
Задача заключается в нахождении такой конечной последовательности $B_{i_1}, B_{i_2}, \dots, B_{i_r}$ операторов из множества B , что оператор $\tilde{f} = \prod_{i \in I} B_{i_t}$ является приближением оператора $\tilde{f} \in F$. Качество такого приближения можно определить, например, с помощью введения на множестве T (или только на W) метрики $\rho(\cdot)$.

Таким образом, можно сформулировать задачу конструктивного проектирования. Следует указать такой конечный набор индексов $I = (i_1, \dots, i_r)$ (возможно с повторениями), чтобы оператор $\tilde{f} = \prod_{j \in I} B_j$ наилучшим образом приближал оператор $\tilde{f} \in F$. Качество такого приближения зависит только от множества B . Однако и эта задача не представляется эффективно разрешимой. Условие массовости требует непроизводительных поисков наилучшего приближения для всех $\omega \in \Omega$ сразу, в то время как каждый раз производится лишь одно отображение для конкретного элемента ω . В связи с этим возникает вопрос о более гибком определении оператора W так, чтобы его построение зависело от ω и ряда промежуточных результатов. При этом, однако, сама зависимость уже должна быть универсальной, общей для всего класса Ω , чем и достигается массовость задачи. В связи с этим сформулируем задачу проектирования.

Рассмотрим процесс преобразования графа ХТС в проект как динамический, происходящий под действием последовательно применяемых к предыдущему результату операторов из класса B . Таким образом, имеем динамическую систему, фазовым пространством которой является множество T , а состояния — элементы этого множества. Соответствующий оператор системы на каждом шаге действует как некоторый оператор из множества B . Получаем последовательность состояний — траекторию системы в множестве T . Отметим, что интересующие нас траектории начинаются в Ω и заканчиваются в W , причем, качество конечного элемента траектории в W

должно быть достаточно высоким. При таком определении получаем возможность на каждом шаге системы выбрать следующий оператор из множества B в соответствии с уже достигнутым результатом. Такой выбор является, по существу, управлением процессом, а соответствующая последовательность индексов применяемых операторов из B $I = (i_1, \dots, i_t)$ — управляющей последовательностью или управлением. Обозначим через $\mathcal{I}(I)$ множество всех конечных последовательностей (с повторениями) индексов, не превышающих числа $|B|$. Множество $\mathcal{I}(I)$ называется группой управления. Теперь можем формально описать полученную динамическую систему, как отображение

$$\mathcal{I}: \mathcal{I}(I) \times T \rightarrow T, \quad (2)$$

причем, ввиду содержательного определения группы $\mathcal{I}(I)$, отображение $\mathcal{I}$ определено на каждом элементе из $\mathcal{I}(I) \times T$ действием, отвечающим последовательности $I \in \mathcal{I}(I)$ набора операторов из B . Проведенные рассуждения позволяют сформулировать задачу проектирования в той форме, которая является объектом исследования в работе: для любого элемента $\omega \in \Omega$ требуется указать такую управляющую последовательность $I \in \mathcal{I}(I)$, что соответствующий ей конструктивный оператор f доставляет решение уравнению

$$Z(\tilde{f}, \omega) = \min_{f \in F} Z(f, \omega): \quad (3)$$

Здесь F — класс всех конструктивных операторов, порождаемых множеством B . Таким образом, задача управляемого конструктивного проектирования заключается в выборе достаточно полного, эффективно реализуемого набора базисных операторов B и формулировании системы правил и критериев, которые позволяют проводить качественное управление траекторией динамической системы, а также оценивать качество полученного решения. Выделение набора базисных

операторов системы основано как на исследовании традиционно принятых этапов, так и на редукции общей схемы, в рамках которой естественно выделить две основные задачи — компоновки и проведения связывающих сетей, которые можно решать как отдельно, так и одновременно.

Задачи этого типа были проклассифицированы по дискретному или непрерывному пространству и по наличию или отсутствию промежуточных точек соединения. Для каждого класса задач сформулированы общие постановки с учетом их дальнейшей специализации. Кроме того, выделен ряд задач, связанных с технологией вывода на внешние носители отдельных деталей или всего проекта в целом.

Построение конструктивного оператора проектирования и управление траекторией построенной динамической системы осуществляется на основе введенного понятия технологического графа проектирования (ТГП) сетевого графика создания проекта. Его вершины делятся на два класса: выполнимые и альтернативные. Вершина называется выполнимой, если соответствующая ей работа может быть исполнена только одним базисным оператором системы. В противном случае вершина называется альтернативной. Вводится понятие декомпозиционной схемы альтернативной вершины, заключающееся в некотором стандартном способе разделения имеющейся задачи на подзадачи. Таким образом, возникает возможность построения управляющей последовательности, под действием которой происходит многошаговый процесс преобразования ТГП. Обсуждаются возможные способы управления этим процессом, основанные на выборе соответствующих декомпозиционных схем. Для некоторой универсальной декомпозиционной схемы проектирования предложена специальная диалоговая система управления, основанная на развитом диалоговом языке компоновки (ДЯК).

Принципиальная схема предлагаемой модели приведена на рис. I.

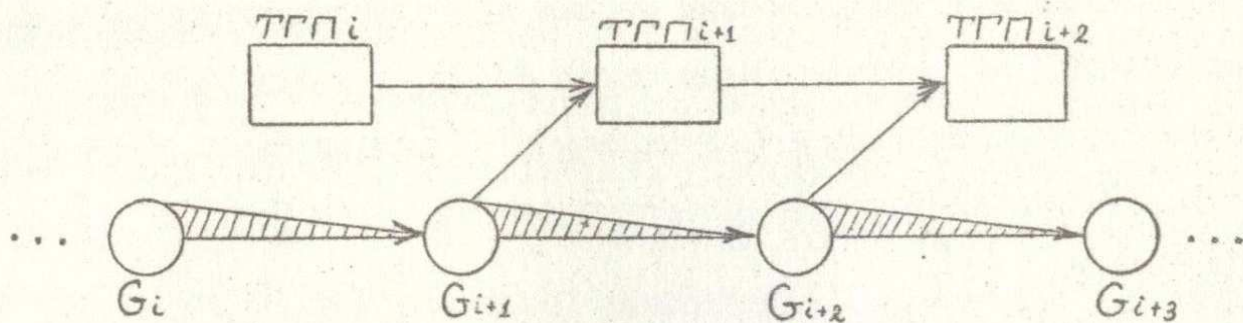


Рис. I. Динамическая модель управления технологическим процессом проектирования.

Здесь через G обозначен мультиграф из множества $\mathcal{Q}$, а через $G_i, G_{i+1}, G_{i+2}, G_{i+3}$ — фрагмент траектории динамической системы. Переход из состояния в состояние происходит под действием соответствующего ТГП, который, совместно с текущим состоянием системы, формирует очередной ТГП и т.п.

Во второй главе разработаны и исследованы алгоритмы управления проектированием связывающих сетей. Полученные здесь результаты позволили синтезировать соответствующие базисные операторы системы. Приведенная общая постановка задачи, сформулированная на языке двухместных предикатов над конечным множеством, позволила с единой точки зрения рассмотреть ряд задач дискретной оптимизации, включающих задачи соединения, построения связывающих сетей в графе и гиперграфе и т.п.

Для их решения вводится обобщенный алгоритм Прима-Краскала. В метрическом случае он может быть сформулирован следующим образом. Пусть $a_1, a_2, \dots, a_n$ — набор вершин, подлежащих соединению. Каждой паре $v = (a_1, a_2)$ сопоставим множество

$$u(a, b) = \{x : \rho(a_1, x) + \rho(x, a_2) = \rho(a_1, a_2)\}, \quad (5)$$

которое назовем обобщенным отрезком. В евклидовом пространстве множество $u_e(a_1, a_2)$ — это отрезок прямой с концами a_1, a_2 ; в пространстве M с прямоугольной метрикой $u_m(a_1, a_2)$ — параллелепипед с диагональю $u_e(a_1, a_2)$ и гранями, параллельными координатным плоскостям. Фрагменту φ отвечает множество $u(\varphi) = \bigcup_{v \in \varphi} u(v)$.

где объединение берется по всем ребрам U фрагмента φ . Расстояние $\rho(\varphi_1, \varphi_2)$ между фрагментами φ_1 и φ_2 определяется как расстояние между множествами $u(\varphi_1)$ и $u(\varphi_2)$:

$$\rho(\varphi', \varphi'') = \min \{ \rho(x, y) : x \in u(\varphi_1), y \in u(\varphi_2) \}. \quad (5)$$

Основной операцией в построении связывающей сети является соединение двух фрагментов. Оно выполняется так:

1. Вычисляется расстояние $\rho(\varphi_1, \varphi_2)$ между фрагментами φ_1, φ_2 и точки $C_1 \in U(C_{k(1)}, C_{j(1)})$, $C_2 \in U(C_{k(2)}, C_{j(2)})$, на которых оно достигается.

2. Если φ_i ($i = 1, 2$) не является изолированной вершиной, то вводится новый узел $C_{\rho(i)}$; если $\varphi(i)$ — изолированная вершина, то новый узел не вводится.

3. Вводится ребро $v = (C_1, C_2)$.

4. Если $C_{\rho(i)}$ — новый узел, то вводятся новые ребра:

$$v'_i = (k(i), \rho(i)), \varphi'_i = (\rho(i), j(i)), (i = 1, 2). \quad (6)$$

Обобщенный процесс Прима-Краскала $\mathcal{A}$ состоит в соединении на каждом шаге какого-либо фрагмента с соседним. Так как вначале имеется n фрагментов и на каждом шаге их число уменьшается на единицу, то через $n - 1$ шаг процесс построения связывающей сети $S(\mathcal{A})$ окончится: При этом будет введено $n - 2$ узла, определены их координаты и записана структура дерева $D(\mathcal{A})$.

Предложенный алгоритм является в достаточной степени эффективным, однако возможности его адаптации ограничены, поскольку единственным параметром управления является порядок соединения фрагментов. В связи с этим можно предложить более гибкий, но и более трудоемкий вариант. В условиях предыдущего алгоритма два фрагмента будем соединять ребром только в том случае, когда это соединение доставляет минимум некоторой функции $f(\varphi, \ell)$, где φ — набор уже

6017974
УНАДТ

построенных к этому моменту фрагментов, включая и одновершинные, ℓ — предполагаемое новое ребро. При $f(\Phi, \ell) = |\ell|$ получаем первоначально описанный алгоритм. Можно, однако, определить f формулой

$$f(\Phi, \ell) = \left(\sum_{a_i \in \bar{A}} \rho(a_i, \ell) / |\ell| / |\bar{A}| \right), \quad (7)$$

где A — подмножество одновершинных фрагментов множества Φ . В этом случае очередное ребро уже не обязательно самое короткое, но должно быть согласовано со средними расстояниями от него до оставшихся вершин. Это дает возможность проводить очередное ребро в направлении расположения подлежащих соединению оставшихся точек множества A .

На основе развития такого рода алгоритмов удается создать гибкую систему вычислительных процедур. Показано, что в условиях известной структуры связывающей сети решение задачи управления соединением объектов может быть выполнено точно предлагаемым релаксационным алгоритмом. Для оценки качества получаемых решений вычислены некоторые функционалы на множестве решений. В частности, в дискретном случае для оценки качества получаемого приближенного решения, в основном, используется среднее значение $\bar{\ell}$ длин всевозможных частичных деревьев графа G , связывающих вершины множества X . Эта величина эффективно вычислима:

$$\bar{\ell} = \frac{1}{2^{n-n}} \left[\lambda_1 \sum_{\Gamma'} C_{ij} + \lambda_2 \sum_{\Gamma''} C_{ij} + \lambda_3 \sum_{\Gamma'''} C_{ij} \right], \quad (8)$$

где Γ' — набор ребер, обе вершины которых принадлежат множеству X , Γ'' — набор ребер, у которых только одна вершина принадлежит множеству X , Γ''' — набор ребер, обе вершины которых не принадлежат множеству X , $\lambda_1 = \int_0^1 x^{n-1} (1+x)^m dx$, $\lambda_2 = \int_0^1 x^n (1+x)^{m-1} dx$, $n = |X|$, $m = |G| - X$. В дискретном случае эффективно вычисляемой является и дисперсия D множества всевозможных связывающих деревьев. Это

дает возможность перейти от оценки $\tilde{\ell} < \bar{\ell}$ ($\bar{\ell}$ - длина построенной сети) к оценке

$$\tilde{\ell} \leq \bar{\ell} - \frac{D}{2|G| \max_{i,j} |C_{ij}|}, \quad (9)$$

отстоящей от среднего значения на величину, пропорциональную дисперсии. Получены формулы для вычисления дисперсии D через длины ребер графа и формула пересчета для $\bar{\ell}$ (на непрерывный случай) путем предельного перехода по регулярной сетке с шагом, стремящимся к нулю.

В третьей главе рассмотрен ряд специальных задач управления соединением при наличии препятствий и потоков в сетях, а также управления размещением объектов с учетом связывающих их транспортных сетей.

Пошаговое управление принятием проектного решения в задаче о совместном переходе дороги может быть сформулировано следующим образом. Имеется n источников $A = (A_1, \dots, A_n)$ и n стоков $B = (B_1, \dots, B_n)$. Каждый источник A_i следует соединить коммуникацией со стоком B_i , и такие пары (A_i, B_i) образуются для всех $i = 1, \dots, n$. Все коммуникации предполагаются различной природы. Источники и стоки расположены на плоскости и имеют декартовы координаты: $A_i = (a_1^{(i)}, a_2^{(i)})$, $B_i = (b_1^{(i)}, b_2^{(i)})$ соответственно. Между группой источников и стоков расположена дорога, являющаяся, в простейшем случае, полосой равной ширины. Предположим, что по стоимостным или техническим причинам дорогу можно пересекать только в одном месте. Задача заключается в выборе оптимального (минимизирующего некоторый оценочный функционал) места перехода. Приводится точный алгоритм ее решения, а также алгоритм решения этой задачи при различных модификациях - конечного множества точек перехода и перехода, определяемого штрафными функциями.

Далее рассматривается ряд задач управления соединением при

совместном проведении связывающих сетей. Предлагаются эвристические алгоритмы, включающие управление построением связывающих сетей отдельно для каждого набора соединяемых точек, либо последовательное их построение, с учетом уже построенной системы, которая изменяет метрику пространства. На втором этапе алгоритма применяется ряд локально-оптимальных процедур, улучшающих качество полученного на первом этапе решения.

Важным частным случаем управления совместной трассировкой является прокладка эстакад. Приводится локально-оптимальный алгоритм управления построением системы эстакад для конечного множества сетей, основанный на выделении группы близких вершин, подлежащих соединению.

Описано управление решением задач построения в дискретном пространстве связывающей сети с учетом потоков. Показано, что если при определении вида зависимости стоимости единицы ℓ длины от потока q $f(\ell, q)$ - выпуклая вверх функция, то оптимальная сеть - дерево. Приводится эвристический алгоритм управления построением такого связывающего дерева. Он обобщается на случай непрерывного пространства, где при этом возникает дерево Штейнера. Для конструирования приближенных алгоритмов управления с оценкой точности решения важным является следующее свойство связывающих деревьев. Если стоимости $f_1(\ell, q)$ и $f_2(\ell, q)$ удовлетворяют неравенству $f_1(\ell, q) - f_2(\ell, q) < \ell$, то определенные на их основе оптимальные значения этих функционалов F_1 и F_2 связаны соотношением:

$$\Delta(n-1) \geq F_1 - F_2, \quad (10)$$

хотя минимум достигается на различных структурах. Это предложение дает возможность подбирать для сложных функций простые миноранты и мажоранты и решать задачу для них. Для значения средней длины сети (с учетом потоков) приводится формула в явном виде, которая

также может служить оценкой качества полученных решений.

Исследуется вопрос об управлении размещением объектов со связями. Основное внимание уделено управлению корректировкой уже полученной схемы размещения, что согласуется с основным режимом работы всей системы в целом (первоначальную структуру размещения объектов задает проектировщик в диалоговом режиме с помощью специального языка управления). Эффективность алгоритмов основана на редукции задачи с n объектами к многократному решению задачи размещения одного объекта. Если рассматриваемая задача управления размещением n объектов одноэкстремальна, то предлагаемые итерационные алгоритмы приводят к оптимальному размещению. При многоэкстремальной задаче получаем локально-оптимальное размещение. Приведена общая схема, в которую укладываются самые разнообразные задачи управления размещением.

В приложении вынесено формальное описание языка управления диалоговой системы компоновки (ДИСК). Рассмотрен содержательный пример диалога на этом языке между ЭВМ и проектировщиком, а также полученные с помощью ДИСКА на графопостроителях ЕС-7054 и КАЛКОМП схемы аппаратурно-технологических компоновок и генеральных планов производств Крымского содового завода и химического завода на Ямайке.

ОБОБЩАЮЩИЕ ВЫВОДЫ

I. На основе исследования общих закономерностей управления процессом проектирования синтеза многосвязных промышленных структур создана математическая модель автоматизированной управляемой динамической системы. На ее фазовом пространстве определен конструктивный оператор проектирования, эффективно приближающий абстрактный оператор проектирования. Выделена система базисных функций, позволяющих легко производить адаптацию абстрактной модели к решению конкретных промышленных задач размещения и соединения.

2. Разработаны основы управления траекторией полученной динамической системы. Предложена классификация вершин ТП, и на этой основе разработана система декомпозиционных схем задач проектирования многосвязных промышленных структур.

3. Для универсальной декомпозиционной схемы предложена специальная система решения оптимизационных задач управления в диалоговом режиме, основанная на проблемно-ориентированном диалоговом языке компоновки (ДЯК).

4. Разработаны математические методы решения ряда оптимизационных задач, возникающих в процессе управления проектированием компоновок ХТС; расчета топологической структуры ХТС в метрическом пространстве с оптимальным размещением дополнительных точек разветвления; расчета совместных трасс связывающих сетей; синтеза связывающих сетей с учетом потоков и препятствий; размещения объектов со связями в ограниченной области.

5. Получены оценки для решения задач соединения, позволяющие выяснить качество (полученных с помощью эвристических алгоритмов) решений.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. В.Г. Вайнер. Основные принципы построения математического обеспечения подсистемы САПР: "Компоновка ХТС". - В кн.: Математические методы в проектировании производств основной химии. - Харьков, 1976, с. 103-110.
2. В.Г. Вайнер, И.Д. Зайцев, Э.М. Лившиц. Алгоритмы построения связывающих сетей. - Автоматика и телемеханика, 1978, № 7, с. 153-162.
3. И.Д. Зайцев, В.Г. Вайнер. К вопросу оптимизации трубопроводных сетей на стадии проектирования. - Экономика и математические методы, 1979, том XV, № 1, с. 171-177.

4. И.Д. Зайцев, В.Г. Вайнер. Построение оптимальных сетей трубопроводов при проектировании сложных химико-технологических систем (СХТС) - Доклады Академии наук Украинской ССР, на русском и украинском языках, 1977, серия А, № 5, с. 473-476.
5. И.Д. Зайцев, В.И. Салыга, В.Г. Вайнер. Об одной задаче теории связывающих сетей. - Доклады Академии наук Украинской ССР, на русском и украинском языках, 1979, серия А, № 12, с. 1035-1038.
6. И.Д. Зайцев, В.Г. Вайнер, В.И. Шац. Расчет критерия эффективности компоновки технологического оборудования на стадии вариантного проектирования химических производств с использованием ЭВМ. - Химическая промышленность, 1976, № 5, с. 67-71.
7. И.Д. Зайцев, В.Г. Вайнер. Организация универсальной подсистемы программы "Компоновка химико-технологических систем". - Химическая технология, 1977, № 5(95), с. 55-56.
8. В.Г. Вайнер, О.Г. Руденко. Об одном подходе к автоматизированному проектированию химико-технологических процессов. - Химическая технология, 1979, № 4(106), с. 56-59.

В.Вайнер