

УДК 658.5

## ТРАССИРОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Иванов В.Г., Батурин А.И.

### TRACING OF PROCESS PIPELINES AT THE DESIGN STAGE CHEMICAL PROCESSES

Ivanov V.G., Baturin A.I.

*В работе предложен итерационный алгоритм на основе методов локальной оптимизации, позволяющий решать различные задачи трассировки, позволяющий решать различные задачи трассировки трубопроводов на этапе проектирования химико-технологических систем*

**Ключевые слова:** трассировка, методы локальной оптимизации, технологические трубопроводы.

**1. Введение.** На этапе проектирования производств в химической промышленности возникает ряд задач, от эффективности решения которых зависит качество и себестоимость конечной продукции.

Этап проектирования производства включает в себя такие задачи как проектирование технологической схемы, выбор аппаратурного оформления схемы, компоновку оборудования, проектирование производственных зданий и сооружений и т.д. При решении каждой из этих задач необходимо нахождение оптимальных вариантов, а следовательно необходимо сравнить множество возможных решений и выбрать лучшее. Все эти задачи тесно связаны друг с другом и для нахождения оптимального решения комплекса задач проектирования необходимо создание систем, обеспечивающих обмен данными, что невозможно без применения современных подходов в области автоматизации проектирования и информационных технологий.

Большое значение для нахождения оптимального варианта компоновки оборудования и трассировки технологических трубопроводов имеют гидравлические, тепловые и прочностные расчеты. Проведение этих расчетов при комплексной оптимизации компоновки оборудования позволит подобрать оптимальные гидродинамические режимы транспортировки веществ, устройства для транспортировки, тепловую изоляцию и

конструкции для установки оборудования, крепежа трубопроводов и вспомогательного оборудования.

Проблема нахождения оптимального варианта освещена в работах [1-3] авторов.

Очевидно, что для решения задачи трассировки трубопроводов необходимо разработка и применение современных информационных систем, математических методов решения оптимизационных задач и моделей описания объектов.

Объектом исследования является трассировка трубопроводов используемых в химической промышленности.

Для построения итерационных алгоритмов трассировки воспользуем идеи методов локальной оптимизации. Процесс оптимизации начинается с получения исходного приближения, принадлежащего области допустимых значений. Сложность выбора такого решения определяется наличием жесткой системы ограничений задачи трассировки. Внесение множества ограничений задачи трассировки в функцию цели в качестве штрафных функций позволяет выбирать начальное решение за пределами области допустимых значений. После преобразования критерия:

$$F'(\omega) = \hat{O}(\omega) + P^O(\omega) \quad (1)$$

$$F(\omega) = \begin{cases} 0, & \text{а́ннє̀̀̀̀̀ } \omega \in G \\ \sum_{i=1}^m \lambda_i (g_i(\omega) - c_i), & \text{а́ннє̀̀̀̀̀ } \omega \notin G \end{cases} \quad (2)$$

где  $\lambda_i \gg 1$  – штрафные коэффициенты.

Конечной целью оптимизации становится получение минимального решения, принадлежащего области допустимых значений  $\omega \in G$ . Переход к задачам безусловной оптимизации позволяет расширить число используемых оптимизационных

алгоритмов и повысить их эффективность. Кроме того использование аппарата штрафных функций позволяет сравнивать варианты решений, не удовлетворяющих ряду или всем ограничениям. Оптимизационная задача с учетом преобразования функции цели (1) - (2) запишется в виде:

$$\omega^* = \arg \min_{\omega \in \Omega} F'(\omega) \quad (3)$$

$$\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \times \Omega_N \quad (4)$$

Постановка задачи КТ (3) – (4) не позволяет описать процесс получения начального решения, а также частичных решений, в которых некоторые или все трубопроводы не назначены на магистрали. Для достижения такой возможности в каждое из множеств  $\Omega_j, (j = \overline{1, N})$  вводится по одному элементу  $\omega_j^0$ , соответствующему неназначению трубопроводов на магистрали. Вследствие этого, необходимо ввести дополнительные ограничения, соответствующее неполному решению:

$$|\omega_j - \omega_j^0| > 0, j = \overline{1, N}, \quad (5)$$

и доопределить критерий соответствующей функцией штрафов:

$$F(\omega) = F'(\omega) + \sum_{j=1}^N \lambda_j^0 \cdot \sigma(\omega_j, \omega_j^0). \quad (6)$$

После этих преобразования в качестве начального решения может быть выбран вектор  $\omega^0 = (\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_N^0)$ , который соответствует неназначению всех трубопроводов  $j = \overline{1, N}$ .

Рациональное решение задачи (3) – (4) с учетом дополнений (5) – (6) будем получать в результате решения последовательности подзадач

$$\omega_{k+1}^* = \arg \min F(\omega), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (7)$$

$$\omega \in O(\omega_k^*) \subset \Omega$$

$$O(\omega_k^*) = \Omega_1^i \times \Omega_2^i \times \dots \times \Omega_N^i, \quad (8)$$

где  $O(\omega_k^*)$  - некоторая окрестность комбинаторного объекта  $\omega_k^*$ , т.е. множество объектов, отличающихся от  $\omega_k^*$  не более чем на  $p \leq N$  компонент.

Процесс получения рационального решения разделим условно на фиксированное число этапов, каждому из которых соответствует определенный способ формирования окрестности, такой что

$$O^1(\omega_{k_1}^{*1}) \subset O^2(\omega_{k_2}^{*2}) \subset \dots \subset O^r(\omega_{k_r}^{*r}), \quad (9)$$

где  $r$  – число этапов.

Решение последовательности подзадач

$$\omega_{k_i+1}^{*i} = \arg \min F(\omega), \quad k_i = 0, 1, 2, \dots, \quad (10)$$

$$\omega \in O_{k_i}^i(\omega_{k_i}^{*i})$$

$$O_{k_i}^i(\omega_{k_i}^{*i}) = \Omega_1^i \times \Omega_2^i \times \dots \times \Omega_N^i, \quad (11)$$

на  $i$ -м этапе ( $i = \overline{1, r}$ ) определяет локальный минимум  $\omega_{k_i+1}^{*i}$  относительно окрестности  $O^i(\omega_{k_i}^{*i})$ . Выбор на каждом следующем этапе окрестности большого объема дает возможность «выходить» из локального экстремума, полученного на предыдущем этапе, и продолжить поиск, в смысле функции цели, решения. Локальный минимум  $\omega_{k_r+1}^{*r}$ , полученный на последнем  $r$ -м этапе относительно  $O^r(\omega_{k_r}^{*r})$ , будет решением соответствующей задачи КТ. Однако процесс оптимизации может быть прекращен и тогда, когда будет получено решение, принадлежащее области допустимых значений:  $\omega_{k_r+1}^{*r}$ .

**2. Решении задачи трассировки.** Исходя из вышесказанного, представим итерационный алгоритм трассировки.

Шаг 1. Определение  $I_{\omega_b}^{\omega_j^i}, j = \overline{1, N}$ .

Шаг 2. определение начального решения  $\omega_0^{*0} \in 0$ .

Шаг3.  $i=0$

Шаг4.  $i=i+1$

Шаг5. Если  $i > r$ , переход к шагу 9.

Шаг6.  $\omega_0^{*i} = \omega_{k_{i-1}}^{*i-1}$ .

Шаг7. Формирование окрестности  $i$ -м способом:

$$O^i(\omega_{k_i}^{*i}) = \Omega_1^i \times \Omega_2^i \times \dots \times \Omega_N^i.$$

Шаг8.  $\omega_{k_i+1}^{*i} = \arg \min F(\omega), \quad k_i = 0, 1, 2$

$$\omega = O^i(\omega_k^*)$$

Шаг9. Если  $\omega_{k_i}^{*i} \notin G$ , переход к шагу 3.

Шаг 10. Конец.

На шаге 1 определяется допустимый диапазон для всех трубопроводов. На шаге 2 в качестве начального приближения выбирается решение  $\omega^0 = (\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_N^0)$ . Последовательность шагов 2-4 организуют переход к следующему этапу оптимизации, а если этап последний, то завершает работу алгоритма. На этапе 5 начальным решением для очередного  $i$ -го этапа становится локально – оптимальное решение, полученное на  $(i-1)$ -м этапе.

На шаге 6 в соответствии с очередным способом, из заранее предусмотренных, формируется окрестность для  $i$ -го этапа. На шаге 7 используются алгоритмы переназначений для определения локального минимума относительно сформированной окрестности. Если полученное решение является допустимым, алгоритм заканчивает работу. В противном случае переход к следующему этапу оптимизации.

Окрестность некоторого решения  $O^i(\omega_{K_i}^{*i})$  определяет количество трубопроводов, которые могут быть удалены и перетрассированы. Если после очередного  $i$ -го этапа оптимизации полученная локально – оптимальное решение относительно окрестности  $O^i(\omega_{K_i}^{*i})$  не является допустимым  $\omega_{K_i}^{*i} \notin G$ , то для некоторых трубопроводов  $j \notin Q \leq \phi$  не удовлетворены некоторые из  $M$  ограничений. Определение новой окрестности  $O^i(\omega_{K_i}^{*i})$  большего объема позволяет «выходить» из полученного локально – оптимального решения за счет удаления и перетрассировки большего числа трубопроводов. Для получения дополнительного решения необходимо перетрассировывать только те трубопроводы  $j \in Q$ , для которых не удовлетворены некоторые ограничения, а также трубопроводы, имеющие ограничения с трубопроводами множества  $Q$ . Перед началом оптимизации не удовлетворены ограничения для всех трубопроводов (ограничения (5)). Поэтому для первого этапа целесообразно выбрать минимально возможную окрестность. Для каждого последующего этапа число трубопроводов с нарушениями ограничений уменьшается и, следовательно, для каждого следующего этапа в большей степени сокращается количество решений, которые необходимо исследовать. Количество этапов  $g$  следует выбирать так, чтобы время решения было приемлемо для практического использования.

Формальная схема перебора элементов в определенных таким образом подмножествах исходного множества  $\Omega$

Приводит к алгоритмам переназначений, которые заключаются в циклическом удалении и переназначении выбранных групп трубопроводов на выбранные группы магистралей. В соответствии с алгоритмом количество снимаемых трубопроводов для перетрассировки в алгоритмах переназначений задается размером окрестности.

Если число удаляемых трубопроводов невелико: 1 или, то возможен полный перебор всех групп трубопроводов. При увеличении объема подмножеств удаляемых трубопроводов за реальное время уже невозможно перебрать все варианты решений. Способы сокращения количества перебираемых групп будут обсуждаться при рассмотрении конкретных задач трассировки.

На втором этапе алгоритмов переназначений для назначений снятых трубопроводов на магистрали используется алгоритм последовательного типа, который состоит из выбора трубопроводов и назначения этой трубопроводы на магистрали. Выбор магистрали осуществляется последовательным назначением соответствующей трубопроводы на все допустимые позиции и запоминанием лучшей из них:

$$\omega_j^* = \arg \min f(\omega_{ji}), \quad (12)$$

$$\omega_j \in \Omega_j$$

где  $\omega_j^*$  - наилучшая позиция для трубопроводы

$f(\omega_{ji})$  – значение критерия при назначении  $j$ -й трубопроводы на магистраль  $\omega_{ji}$

Применение алгоритма минимального риска при числе трубопроводов в группе, равном 1 или 2, дает точное решение соответствующих подзадач, а следовательно, найденное решение будет точкой локального минимума относительно соответствующей окрестности. Алгоритм минимального риска на каждом шаге пересчитывает матрицу оценок, выполняя при этом

$l \cdot N$  операций. Так как число шагов в алгоритме равно  $N$ , то алгоритм затрачивает порядка  $O(l \cdot N^2)$  времени.

**5. Вывод.** Предложен итерационный алгоритм на основе методов локальной оптимизации, позволяющий решать различные задачи трассировки трубопроводов, используемых в химической промышленности и отмечены основные его особенности:

алгоритм построен по схеме, общей для алгоритмов локальной оптимизации;

переход к задаче безусловной оптимизации позволяет в качестве начального приближения принимать решение, не принадлежащее области допустимых значений;

процесс оптимизации разбивается на ряд этапов;

получение на каждом этапе решение является локальным минимумом относительно выбранной окрестности;

поиск локальных решений на каждом этапе осуществляется алгоритмом переназначений.

#### Л и т е р а т у р а

1. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 1. Аналитические и процедурные модели / С.Я. Егоров [и др.] // Информ. технологии в проектировании и пр-ве. – 2009. – № 4. – С. 3–11.
2. Шаронин, К.А. Информационно-логическая модель трассировки технологических трубопроводов / К.А. Шаронин, И.С. Фурсов, К.В. Немтинов // Вестн. Тамб. Гос. Техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 826–830.

3. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 2. Структура и функционирование системы / С.Я. Егоров [и др.] // Информ. технологии в проектировании и пр-ве. – 2010. – № 1. – С. 33–39.

#### References

1. An automated information system for support of design decisions on the layout of industrial facilities. Part 1: Analysis and model of procedural / SY Egorov [et al.] // Inform. technology in design and pr-ve. - 2009. - № 4. - S. 3-11.
2. Sharonin, KA Information and logical model trace technological pipelines / KA Sharonin, IS Fursov, KV Nemtinov // Vestn. Thumb. Gos. Tech. Univ. - 2010. - T. 16, number 4. - S. 826-830.
3. The automated information system project support decisions by the layout of industrial facilities. Part 2: Structure and functioning of the system / SY Egorov [et al.] // Inform. technology in design and pr-ve. - 2010. - № 1. - S. 33-39

#### **Іванов В.Г., Батурин А.І. Трасування технологічних трубопроводів на етапі проектування хіміко-технологічних систем.**

*Запропоновано ітераційний алгоритм на основі методів локальної оптимізації, що дозволяє вирішувати завдання трасування трубопроводів, на етапі проектування хіміко-технологічних систем: алгоритм побудований за схемою, загальною для алгоритмів локальної оптимізації; перехід до задачі безумовної оптимізації дозволяє в якості початкового наближення приймати рішення, що не належить області допустимих значень; процес оптимізації розбивається на ряд етапів; отримання на кожному етапі рішення є*

*локальним мінімумом щодо обраної околиці; пошук локальних рішень на кожному етапі здійснюється алгоритмом перепризначень*

***Ключові слова:** трасування, методи локальної оптимізації, технологічні трубопроводи.*

#### **Ivanov VG, Baturin A.I. Tracing of process pipelines at the design stage chemical processes.**

*An iterative algorithm based on local optimization techniques, which allows to solve the pipeline tracing tasks in the design phase chemical processes: algorithm is built on the scheme, the total for the local optimization algorithms; transition to the problem of unconstrained optimization allows for an initial approximation to make a decision, not belonging to the domain of acceptable values; optimization process is divided into several stages; receive at each stage of the decision is a local minimum with respect to the chosen neighborhood; search for local solutions in each step, the algorithm reassignment*

***Keywords:** trace, local optimization techniques, process pipelines.*

**Іванов Віталій Геннадьевич**, канд. техн. наук, доцент кафедри математики, інформатики і фізики Восточноукраїнського національного університету ім. В.Далія

**Батурин Александр Иванович**, старший преподаватель кафедри програмування і математики Восточноукраїнського національного університету ім. В.Далія

*Рецензент:* д.т.н., професор **Суворин А.В.**

*Стаття подана 27.05.2016*