

## Компьютерный программный модуль для анализа химико-технологических систем с помощью материальных поточковых графов

Урбанович П.П.<sup>1,2</sup>, Колесников В.Л.<sup>2</sup>, Жарский И.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katolicki Uniwersytet Lubelski, Polska

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, Беларусь

**Abstract:** *In the report the theoretical bases of construction and use of computer software for the analysis of ecological and technological structure of modern industrial complexes are considered. The topological method of the analysis is based on consideration mathematical of models of systems, which are structural graphs, information and signal multigraphs.*

Сложность эколого-технологической структуры современных промышленных комплексов, многомерность их как по числу составляющих элементов, так и по числу выполняемых ими функций, высокая степень взаимосвязанности и параметрического взаимовлияния обуславливают возникновение при анализе и синтезе ряда принципиальных трудностей исследовательского, методологического и вычислительного характера. Использование современных компьютерных технологий и соответствующих прикладных программ значительно облегчает решение отмеченных задач.

Топологический метод анализа основан на рассмотрении математических иконографических моделей систем, которыми являются поточковые и структурные графы, информационные, информационно-поточковые и сигнальные мультиграфы. Применение топологических моделей позволяет большой объем существенной информации представить в компактной и наглядной форме; графические модели переводить в цифровой вид, пригодный для расчетов на ЭВМ.

Информация, содержащаяся в графе, может быть представлена в виде матрицы. Связь матрицы и графа имеет чрезвычайно важное значение при практическом применении топологических методов к математическому описанию химико-технологических систем, так как позволяет перевести структурные особенности системы на язык чисел, обрабатываемых компьютером.

Матрицей смежности, соответствующей графу  $G = (X, Y)$ , который состоит из  $n$  вершин  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), называется матрица  $H$  порядка  $(n \times n)$  с элементами  $h_{ij} = 0$  (если вершина  $x_i$  не связана ребром с вершиной  $x_j$ ), и  $h_{ij} = 1$  (если вершина  $x_i$  связана ребром с вершиной  $x_j$ ).

Матрицей инцидентий, соответствующей графу  $G = (k, q)$ , который состоит из  $n$  вершин  $k_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) и из дуг  $q_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ), называется матрица  $S$  порядка  $(n \times m)$  с элементами  $s_{ij} = -1$  (если дуга  $q_j$  выходит из вершины  $k_i$ ),  $s_{ij} = +1$  (если дуга  $q_j$  входит в вершину  $k_i$ ),  $s_{ij} = 0$  (если дуга  $q_j$  не инцидентна вершине  $k_i$ ). Матрицу  $S$  называют также структурной матрицей графа.

Поточковый граф, гомоморфный рассматриваемой системе, и являющийся ее топологической моделью, можно поставить в соответствие любому производственному объекту. Вершины материальных поточковых графов соответствуют элементам химико-технологических систем, которые выступают в качестве источников и стоков веществ физических потоков. Дуги этих графов отвечают обобщенным материальным потокам.

В общем случае материальный или тепловой поточковый граф содержит  $m$  вершин-источников,  $n$  вершин-стоков,  $k$  промежуточных вершин, соответствующих элементам системы, и  $e$  дуг, которые отвечают обобщенным материальным или тепловым потокам.

Для каждой промежуточной вершины материального или теплового поточкового графа

на основе законов с сохранения массы и энергии можно записать уравнения вершин для потоков по дугам графа:

$$\sum_{j=1}^e W_{jk} = 0 \quad \sum_{i=1}^p W_{ik} - \sum_{j=1}^{(e-p)} W_{kj} = 0 \quad (1)$$

где  $p$  - число дуг, входящих в  $k$ -ю вершину;  $W_{jk}$  - потоки по  $j$ -й дуге графа, инцидентной  $k$ -й вершине;  $W_{ik}$  - поток по  $i$ -й дуге, входящий в  $k$ -ю вершину;  $W_{kj}$  - поток по  $j$ -й дуге, выходящий из  $k$ -й вершины графа. Совокупность уравнений вершин для потоков по дугам графа, которые составлены для всех промежуточных вершин, образуют систему независимых уравнений вершин потокового графа:

$$[A^*] * [W^*] = 0, \quad (2)$$

где  $[W^*]$  - матрица столбец потоков по всем дугам графа, порядок которой равен  $(e \times 1)$ ;  $[A^*]$  - матрица инцидентий графа, порядок которой равен  $(k \times e)$ .

На основе законов сохранения массы и энергии для всей системы можно записать общее уравнение вершин-источников и вершин-стоков материального или теплового графа:

$$\sum_m W_m(b) - \sum_n W_n(c) = 0 \quad (3)$$

где  $W_m(b)$  - поток по  $b$ -й дуге, инцидентной  $m$ -й вершине-источнику;  $W_n(c)$  - поток по  $c$ -й дуге, инцидентной  $n$ -й вершине-стоку;  $m$  - число вершин-источников;  $n$  - число вершин-стоков.

На рис.1 показаны виды окон компьютерного программного продукта, разработанного для анализа химико-технологических систем с помощью материальных потоковых графов.

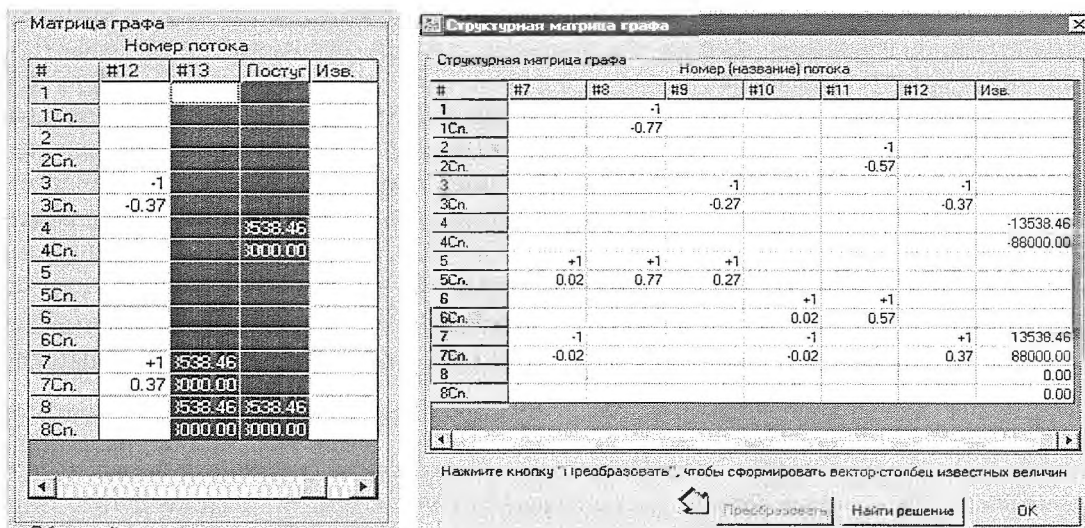


Рис.1. Столбцы известных величин в структурной матрице графа и приведенный столбец известных величин

В анализируемой химико-технологической системе может быть несколько известных потоков. Чтобы решить систему нормальных линейных уравнений, необходимо чтобы в матрице был единственный столбец известных величин. Поэтому все известные потоки нужно объединить и сосредоточить их в последнем правом столбце, полагая, что он будет за всеми построчными знаками равенств.

В качестве рабочего примера предлагается рассмотреть трехступенчатую схему очистки суспензии волокнистых отходов на вихревых очистителях (структурная схема представлена на рис.2 ; здесь *Вершины*: 1, 2, 3 - ступени очистки макулатурной массы; 4, 5, 6 - сборники отходов;

*Дуги*: 1 - очищенная масса; 2, 3, 4 - потоки массы на I, II, III ступень очистки; 5, 7, 10 - потоки воды на разбавление перед каждой ступенью очистки; на рис.3 – соответствующий потоковый граф). Возможность создания различных условий очистки и получения разных результатов на однотипном оборудовании обеспечивается различной степенью разбавления суспензии.

Очищенную массу можно разделить по сортам после каждой ступени, однако рациональнее организовать очистку с использованием рециркуляции. Замкнутые химико-технологические системы поэтапно не рассчитываются вообще. Поэтому расчет мгновенных материальных балансов систем, рассматриваемых как единое целое, с помощью потоковых графов представляет теоретический и практический интерес.

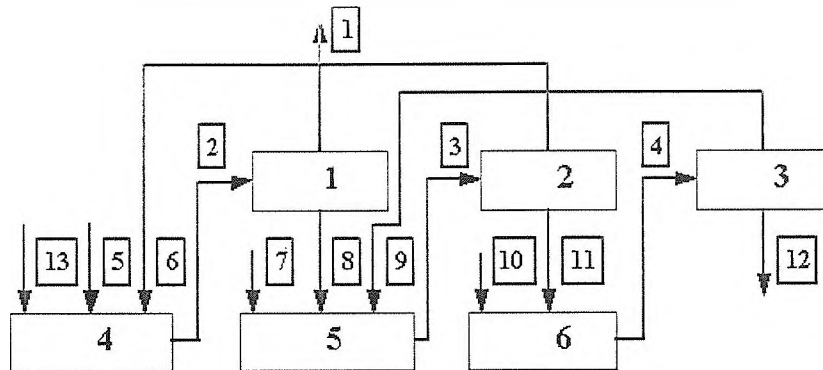


Рис.2. Структурная блок-схема трехступенчатой очистки суспензии волокнистых отходов на вихревых очистителях

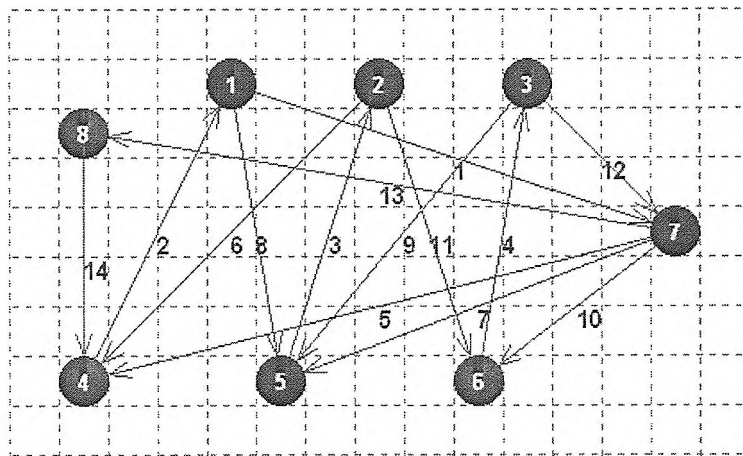


Рис.3. Поточный граф, гомоморфный технологической системе очистки

Структурная матрица графа

Поток №	Общая масса (кг)	Сухие (кг)	Вода (кг)	Концентрация (%)
1	122 191,700	794,246	121 397,400	0,650
2	209 464,800	1 466,254	207 998,600	0,700
3	173 677,000	868,385	172 808,600	0,500
4	102 350,500	307,052	102 043,500	0,300
5	74 355,380	14,871	74 340,510	0,020
6	121 571,000	571,384	120 999,600	0,470
7	14 763,340	2,953	14 760,390	0,020
8	87 273,340	672,005	86 601,340	0,770
9	71 640,240	193,429	71 446,810	0,270
10	50 244,640	10,049	50 234,590	0,020
11	52 105,850	297,003	51 808,850	0,570
12	30 710,130	113,628	30 596,500	0,370
13	13 538,460	880,000	12 658,460	6,500
14	13 538,460	880,000	12 658,460	6,500

Нажмите кнопку "Преобразовать", чтобы сформировать вектор-столбец известных величин

Преобразовать Найти решение ОК

Рис.4. Вид экрана с решением задачи в виде таблицы потоков по общей массе и по содержанию в них веществ и воды

Вычислительный эксперимент можно организовать путем изменения значений концентраций неизвестных потоков или изменений значений общей массы известных потоков. Решение вариантов задачи позволит оценить условия функционирования технологической системы, при которых обеспечивается требуемая производительность и экологичность.