

Организация и производство, эксплуатация и ремонт летательных аппаратов

УДК 656

Бухаров Г.В.

СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СОЦПОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРОИЗВОДСТВА

Строгая постановка оптимального управления сложной организационно-технической системой, включающей отдельные подсистемы, в которых протекают специфические процессы, может быть сформулирована в рамках сетевых представлений и наложения на эту сеть воздействующих потоков, моделируемых параметрами.

Двух физических единиц сети многополюсников и полюсов недостаточно для аналитического изучения сетей, которыми могут быть представлены организационно-технические системы (ОТС). Для анализа в рамках эквивалентной модели поведения сети нужны некоторые комбинации этих единиц. Таким новыми единицами являются:

– замкнутые цепи, прослеживаемые в сети и называемые контурами, с помощью которых могут быть промоделированы подразделения ОТС и процессов в них. Для нахождения минимального числа контуров сети каждый двухполюсник должен войти по меньшей мере в один контур:

– два любых полюса, представляющих компоненту ОТС и их взаимодействия, расположенных в одной и той же независимой подсети, называются полюсной парой. При нахождении минимального числа термины «контур» и «полюсная пара» включают понятие «направление», в котором они просматриваются. Следовательно, с каждым контуром и с каждой полюсной парой связано понятие «ориентация».

Число контуров сети обозначим через μ , а число узловых пар – через ρ_1 . Пять введённых понятий, а именно $\alpha_1, \alpha_{01}, \mu, R_{01}, \rho_1$, не являются независимыми друг от друга. Нужно помнить два соотношения [1]:

- 1) число полюсных пар сети равно числу полюсов минус число подсетей

$$\rho_1 = \alpha_{01} - R_{01};$$

2) число двухполюсников, образующих сеть, равно сумме числа контуров и числа полюсных пар

$$\alpha_1 = \mu - \rho_1$$

До того, как начнётся анализ любой сети, необходимо установить или число контуров, или число полюсных пар, или то и *другое вместе* в зависимости от выбора

переменных. В сложных сетях проще всего найти сначала число полюсных пар (число полюсов минус число подсетей), а затем определить число контуров (число двухполюсников минус число полюсных пар).

Для анализа сетей производственных систем иногда необходимо заменить понятие «контур» и «полюсная пара» другой совокупностью понятий, им подобных и обеспечивающих получение того же самого ответа, но представляющих другую физическую картину. Этими подобными понятиями являются:

1. «Ветвь», представляющая такую часть сети, в которой протекает тот же самый поток. Ветвь может содержать один двухполюсник, деталь, узел, агрегат, или несколько последовательных двухполюсников, или «-----», соединяющий два полюса и заменяющий их на один полюс. Число ветвей может заменять соответствующее число контуров на протяжении всего анализа.

2. «Открытый контур», представляющий любую цепь через двухполюсники, начинающуюся в одном полюсе полюсной пары и заканчивающуюся в другом полюсе. Цепь открытого контура включает также отводы от полюсной пары. Открытый контур в анализе может заменять соответствующую полюсную пару.

Отметим, что для анализа ОТС введены следующие понятия для сетей, представляющих эту ОТС: сеть и её подсети, представляющие, в свою очередь, подсистемы анализируемой ОТС; двухполюсники и полюса; контуры и полюсные пары; ветви и открытые контуры.

Введённые понятия существенно связаны с потоковыми величинами, накладываемыми на сеть, такими как источник потока или поток (или и те, и другие вместе).

Предполагается, что накладываемые величины бывают двух типов:

- 1) «воздействующие» величины, которые возникают вне рассматриваемой сети;
- 2) величины «отклика», представляющие собой реакцию сети на воздействующие величины.

Как воздействующие величины, так и величины отклика могут быть или источниками, или потоками, или и теми и другими вместе.

Предположим сначала, что в сети с n двухполюсниками и k контурами имеется только один источник тока e_a , приложенный последовательно с многополюсником. В каждом из n двухполюсников появится в качестве величин отклика различные потоки $i^a, i^b \dots$

Эти n токов зависят друг от друга. Достаточно определить только k из них путём установления и решения k уравнений с k неизвестными. Таким образом, достаточно определить столько потоков отклика i , сколько контуров имеет сеть. Все остальные потоки легко определяются через указанные выше без решения каких-либо уравнений.

Пусть теперь вместо источника поток I' приложен к той же самой сети. Это означает, что поток I' поступает через один полюс двухполюсника и вытекает через другой её полюс. Откликом сети является возникновение на всех двухполюсниках чисел, характеризующих производительность технологических компонентов, моделируемых двухполюсниками E_a, E_b и т.д.

Однако эти n чисел не зависят один от другого. Достаточно сначала определить только $n-k$ из них путём установления и решения только $n-k$ уравнений относительно $n-k$ неизвестных. Это означает, что достаточно определить столько чисел отклика, сколько имеется в сети полюсных пар. Остальные числа легко определяются через найденные.

Если вместо одного источника потока e_a к сети приложено n различных источников e , включённых последовательно с n двухполюсниками, то по-прежнему достаточно найти только k потоков отклика i путём установления и решения k уравнений. Не имеет значения, где протекают эти потоки, но они должны быть независимы друг от друга.

Подобным же образом, если вместо одного потока I' на сеть действуют n потоков I , то достаточно определить только $n - k$ чисел отклика E путём составления и решения $n-k$ уравнений.

Следовательно, когда приложен источник потока e , включённый последовательно с двухполюсником, то для нахождения потока отклика устанавливается ровно столько уравнений, сколько имеется контуров. Аналогично, когда к сети приложен поток I , то для нахождения разностей потенциалов отклика устанавливается ровно столько уравнений, сколько имеется полюсных пар.

Если к сети приложены и источники e , и потоки I , то (в общем случае) для нахождения величин отклика i и E устанавливается ровно столько уравнений, сколько имеется двухполюсников.

Таким образом, для целей анализа предполагается, что воздействующие величины e и I возникают на технологических элементах сети, а именно: e – на двухполюсниках, I – на её полюсных парах.

Воздействующие величины e и I могут рассматриваться как разрыв непрерывности, вводимый в величины отклика, а именно, в E вдоль открытых контуров и в потоки i по замкнутому контурам.

В реальных задачах «воздействующие» потоки I могут течь во внешнюю нагрузку вне системы, тем не менее, для аналитических целей будем их рассматривать как воздействующие потоки. Аналогично производительность, т.е. число произведённых деталей, узлов, агрегатов «отклика» в действительности может быть приложенным источником потока, но она будет рассматриваться именно как источник отклика.

Это значит, что в операциях с уравнениями воздействующие величины и величины отклика можно сделать взаимозаменяемым и путём изменения знака, но организованная методология требует сохранения этого различия между величинами воздействия и отклика.

При установлении уравнения функционирования любой ОТС на первом этапе вопрос о том, какие величины известны и какие неизвестны, не имеет значения. Важно решить вопрос, какие величины можно считать задающими, а какие искомыми переменными.

Только после того, как система линейных уравнений в обобщённой причинно-следственной форме установлена, возникает вопрос о задающих (известных) и искомым (неизвестных) величинах.

При установлении уравнений технологических компонентов, представляющих поведение сети, переменными могут считаться два различных множества величин (которые, однако, не обязательно являются неизвестными), т.е. каждое из множеств величин отклика сети:

1) потоки $i(i^n)$, протекающие в (замкнутых) контурах; 2) производительность $E(E_n)$, возникающая на полюсных парах.

Введение понятия «полюсная пара» позволяет выбирать производительность между двумя точками сети в качестве переменных (известных и неизвестных), обеспечивая большую гибкость анализа и удобство приложений, а также полный параллелизм с контурным методом анализа. Понятие «полюсная пара» часто более полезно, чем понятие «контур», ибо источник и потоки на полюсной паре – реальные величины, в то время как источники и потоки в контурах – гипотетические величины.

Для обеспечения высокого уровня общности в работе для представления р-сети (производственные системы) используется представление наиболее общего вида:

1) как совокупность контуров, когда переменными считаются потоки I в изолированных технологических компонентах;

2) полюсных пар технологических компонентов с учётом воздействий и откликов.

В наиболее общем случае для упрощения анализа сети её нужно рассматривать как совокупность контуров и полюсных пар, а не как совокупность или контуров, или полюсных пар. В этом случае переменными являются и потоки \dot{i} , текущие в контурах, и производительности E , возникающие на полюсных парах. Максимальное число переменных, которые нужно иметь в виду, равно сумме числа контуров и числа полюсных пар, т.е. числу двухполюсников.

Из-за ортогональных свойств, предполагаемых у контуров относительно полюсных пар такой сети, последнюю будем называть «ортогональной сетью».

Для различия трёх типов сетей применяются следующие скользящие индексы:

- 1) в контурных сетях m, k, n, \dots ;
- 2) в полюсных сетях u, v, w, \dots ;
- 3) в ортогональных сетях из контуров и узловых пар $\alpha, \beta, \gamma, \dots$

Все три типа сетей анализируются и решаются аналогичными способами. Каждый тип р-сети имеет специфическое «уравнение функционирования», описывающее поведение сети.

При анализе производственной сети как совокупности и контуров, и полюсных пар сначала устанавливается или уравнение источника потока

$$E + e = z(i + I), \quad E_{\alpha} + e_{\alpha} = z_{\alpha\beta} (i^{\beta} + I^{\beta}), \quad (3)$$

где $e = zi$; $e_m = z_{mn} i^n$,

или уравнение потока

$$i + I = Y(E + e), \quad i^{\alpha} + I^{\alpha} = Y^{\alpha} (E_{\beta} + e_{\beta}). \quad (4)$$

где $I = YE$, $I^u = Y^{uv} E_v$, а переменными являются \dot{i} и E .

В самом общем случае количество уравнений точно определено: оно равно сумме числа контуров и числа узловых пар.

Общее уравнение функционирования производственной системы зависит от конкретных технологических компонентов и воздействующих на них величин, которые известны, или величин отклика, которые нужно найти. Каждая р-сеть содержит и контуры, и полюсные пары и имеет столько степеней свободы, сколько двухполюсников и отводов от полюсов имеется в исходной сети.

Систематическое изучение р-сетей будет проведено в рамках ортогональных сетей, в которых имеются как контурные, так и полюсные источники и потоком.

Кроме того, сначала рассматриваются полные производственные системы, т.е. во всех трёх случаях предполагается, что число неизвестных то же, что и число уравнений; это ведёт к простейшим операциям над уравнениями. Затем предполагается любое число неизвестных, что ведёт к более сложным операциям над уравнениями.

Интегрированные производные системы рассматриваются как ортогональные р-сети, так как большинство технологических компонентов содержит сосредоточенные параметры их элементов Z или обратные им величины $Y = \frac{1}{Z}$.

В рамках введённых представлений для анализа р-сети необходимо, чтобы уравнения поведения в терминах геометрических объектов были уже известны по крайней мере для одной частной системы (и связанной с ней системы координат) и в этой же системе известны все компоненты всех геометрических объектов. Тогда эта система может быть использована как стартовая точка при расчёте уравнений функционирования для всех других систем (того же типа).

Далее, когда нужно анализировать уравнения функционирования различных систем, то представляется логичным из всего многообразия систем выделить одну частную систему (и связанную с ней систему координат), для которой:

- 1) сравнительно легко определить компоненты различных геометрических объектов, которые необходимы для решение конкретной задачи в численном виде;
- 2) сравнительно легко установить различные тензоры преобразования C_{ij}^{α} , показывающие, чем эта частная система (и связанная с ней система координат) отличается от любой другой системы (и связанной с ней системы координат);
- 3) сравнительно легко удаётся вычислить новые компоненты различных геометрических объектов во всех других системах, которые должны быть проанализированы.

Эта частная система (и связанная с ней система координат), выделенная из большого числа подобных систем и используемая как стартовая точка, будет называться в дальнейшем примитивной системой.

Неизменные сетевые структуры, обрабатывающие центры, сборочные станки, стенды – каждая из них имеет свою примитивную систему. Вообще говоря, существует столько различных типов примитивных систем, сколько имеется различных типов инвариантных уравнений.

Имеется свобода в выборе одной из множества подобных систем в качестве стартовой точки, т.е. в качестве примитивной системы, и можно получать из её

характеристик характеристики поведения всех других систем. Выбор той или иной системы из множества подобных в качестве примитивной системы достаточно произволен и определяется тем, способна ли выбранная система удовлетворять указанным выше или другим условиям.

Если система используется в качестве стартовой точки для установления уравнений функционирования одной или нескольких новых систем, то во всех случаях вычисления носят один и тот же рутинный характер и требуют применения одних и тех же процедур для каждой новой системы, а именно:

- 1) установить тензор преобразования C ;
- 2) вычислить новые компоненты различных геометрических объектов с помощью «формул преобразования»;
- 3) сохранить неизменной форму уравнений функционирования, уже полученных для обобщённой системы;
- 4) преобразовать инвариантное уравнение к виду, дающему требуемый результат;
- 5) решить полученное уравнение относительно неизвестных, если таковые имеются.

При составлении уравнений поведения сети с сосредоточенными параметрами и установленными взаимосоединениями будем использовать представление сети, если в качестве переменных принять и контурные потоки i и производительность E , связанную с получением деталей, узлов, агрегатов. С более общей точки зрения р-сеть рассматривается как совокупность k контуров, и $n-k$ узловых пар.

Если сеть из n двухполюсников анализируется в предположении, что переменными являются производительности, возникающие на $n-k$ полюсных парах, то первым шагом будет установление примитивной «полюсной» сети и её уравнений функционирования через геометрические объекты. В качестве примитивной сети, установим примитивную сеть как полюсную.

Простейшая сеть, которая состоит из n двухполюсников и n полюсных пар, включает n открытых двухполюсников. Она содержит n независимых подсетей, имеющих $2n$ полюсов и, следовательно, имеет $2n-n=n$ полюсных пар. Два конца каждого двухполюсника образуют полюсную пару, через которую поток входит и выходит. Два полюса двух разных двухполюсников не образуют полюсной пары, так как принадлежат независимым подсетям.

Простейшим элементом примитивной сети является один открытый двухполюсник (рисунок 1).

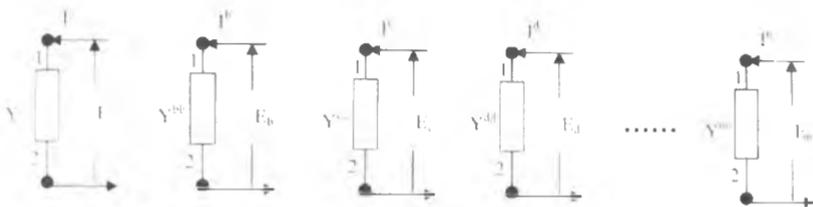


Рисунок 1 – Прimitivesкая полюсная сеть

Понятия, необходимые для описания его поведения, есть E , I , Y , где I – воздействующий на двухполюсник поток; E – производительность, возникающая на полюсной паре под действием потока I , протекающего через двухполюсник; Y – коэффициент пропорциональности.

Уравнение функционирования для простейшего элемента p -сети представляет собой уравнение тока $I=YE$, где предполагается, что I и Y имеют постоянные значения, а E – производительность, появляющаяся на полюсной паре, – переменное. Если E неизвестно, то его можно найти по формуле $E=Y^{-1}I$.

Прimitivesкая полюсная сеть из n двухполюсников устанавливается, как на рисунке 1, где n может быть любым числом.

Три геометрических объекта, необходимых для получения уравнения движения:

a b c ... n

$$E = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline E_a & E_b & E_c & \dots & E_n \\ \hline \end{array} \quad (5)$$

a b c ... n

$$I = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline I^a & I^b & I^c & \dots & I^n \\ \hline \end{array} \quad (6)$$

a b c ... n

$$Y = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline a & Y^{aa} & Y^{ab} & Y^{ac} & \dots & Y^{an} \\ b & Y^{ba} & Y^{bb} & Y^{bc} & \dots & Y^{bn} \\ c & Y^{ca} & Y^{cb} & Y^{cc} & \dots & Y^{cn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n & Y^{na} & Y^{nb} & Y^{nc} & \dots & Y^{nn} \\ \hline \end{array} \quad (7)$$

Компонентами E являются производительности, возникающие на полюсных парах.

Компоненты I – потоки, входящие в полюсные пары и выходящие из них. Компоненты Y

