

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При проектировании или модернизации космических аппаратов (КА) наблюдения с высокими показателями целевой эффективности (детальности, периодичности, оперативности, производительности, срока активного существования, точности и т.п.) в условиях ограничения по массе конструкции, мощности электропотребления, времени выполнения тех или иных частных операций и т.д. возникает проблема согласования («увязки») массогабаритных, энергетических, ресурсных, временных и других характеристик целевой аппаратуры, бортовых обеспечивающих систем и КА в целом.

С одной стороны, указанные характеристики различных составных частей КА, как правило, связаны между собой множеством уравнений различного типа (алгебраических, дифференциальных и интегральных), логических зависимостей, алгоритмических связей. В общем виде говорят об операторах связи (различной формы). При этом количество увязываемых характеристик, а, следовательно, и соответствующих операторов связи, может быть очень большим, и при «ручной» увязке характеристик легко допустить ошибку. Не всегда ясно, достаточно ли имеющихся операторов связи или имеется их избыток, корректно ли поставлена задача проектирования или нет.

С другой стороны, можно поставить множество задач проектирования (минимизация стоимости космической системы наблюдения, минимизация массы КА, улучшение целевых показателей эффективности, оптимизация расписания работы целевой и обеспечивающей аппаратуры, бортовой аппаратуры и т.д.).

Кроме того, иногда приходится заимствовать уже существующие, отработанные элементы, узлы и агрегаты бортовых систем из КА других типов. Указанные элементы, как правило, "не вписываются" в оптимальную структуру проектируемого КА, тем не менее их используют по соображениям минимума финансовых затрат и экономии времени.

Все эти обстоятельства затрудняют формализацию постановок задач проектирования в математической форме. Поэтому увязка указанных характеристик в настоящее время, как правило, производится на основе многократных циклов итерации. При этом головной проектант (отдел, отделение или конструкторское бюро) на начальных этапах проектирования постоянно уточняет исходные данные или технические задания исполнителям на проектирование составных частей КА. В общем случае, в результате уточнений постоянно меняется и сам проектный облик КА.

Чтобы обеспечить головному проектировщику задачу проектирования или модернизации КА, можно предпринять разработку проблемно-ориентированной системы проектирования [1]. При использовании такой системы, осуществляется выбор задачи проектирования из множества заранее сформулированных, вводятся номенклатура бортовых систем и соответствующие операторы связи характеристик их составных систем. Далее система самостоятельно определяет корректность поставленной задачи. В случае, если задача некорректна, система указывает оператору, что именно в задаче некорректно (например, количество уравнений меньше, чем число переменных, которые необходимо найти). В противном случае система предлагает последовательность решения и находит соответствующие выходные данные: «увязанные» массогабаритные, энергетические, ресурсные и другие характеристики проектируемого КА.

Теоретически при этом не требуется выполнения последующих итераций, хотя они могут проводиться по другим соображениям – например, с учетом модернизации каких-либо устройств в процессе проектирования.

Рассмотрим порядок решения задачи.

По исходной системе уравнений, описывающих рассматриваемый объект, строится двудольный граф  $G = (U, V, E)$ , где  $U$  – множество переменных;  $V$  – множество отпоялений;  $E$  – множество ребер. Как известно, граф  $G = (V, E)$  называется двудольным, если его множество вершин можно разбить на непересекающиеся подмножества  $X$  и  $Y$  такие, что каждое ребро  $e \in E$  имеет вид  $e = (x, y)$ , где  $x \in X$ ,  $y \in Y$  [2,3].

Далее в образованном двудольном графе определяется максимальное паросочетание, т.е. максимально мощное множество его ребер, обладающих тем свойством, что каждая вершина графа инцидентна не более чем одному ребру. Построение максимального паросочетания позволяет установить связи между каждой конкретной переменной и уравнениями, из которых она может быть выражена.

После этого проводится разделение двудольного графа на компоненты сильной связности. Ориентированный граф сильно связан, если для каждой пары вершин  $v_i$  и  $v_j$  существует по крайней мере одна цепь из  $v_i$  в  $v_j$  и по крайней мере одна цепь из  $v_j$  в  $v_i$ . Максимально сильно связный подграф графа  $G$  называется сильно связной компонентой графа  $G$ . Выделение компонент сильной связности разбивает исходную систему уравнений на подсистемы, которые должны решаться совместно. Основой алгоритма построения компонент сильной связности является поиск циклов в орграфе: множество вершин простого цикла принадлежит одной и той же сильно связной компоненте.

Проходя последовательно по вершинам двудольного графа, разделенного на компоненты сильной связности, от искоемых переменных через вершины отношений к

вершинам известных переменных, можно определить последовательность решения данной системы уравнений.

Рассмотренный укрупненный алгоритм решения задачи был реализован в программном комплексе, разработанном в среде программирования DELPHI. Работа комплекса происходит следующим образом.

С соблюдением определенных синтаксических правил пользователь вводит в окно диалога (рис. 1) уравнения, описывающие математическую модель объекта исследования. Программа автоматически извлекает из уравнений исходные данные для их дальнейшего использования.

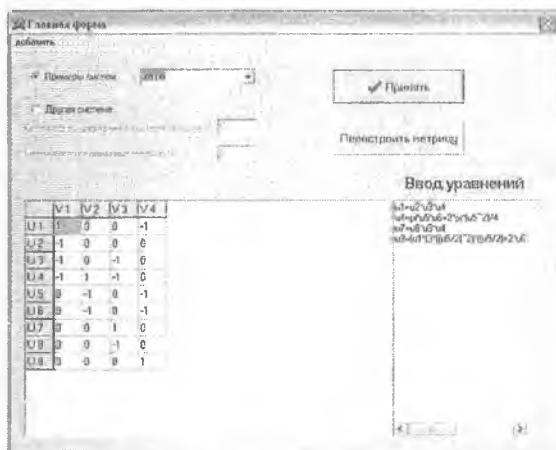


Рис. 1. Окно ввода исходных данных

После проверки правильности ввода исходных данных работа программного комплекса происходит в режиме диалога, в ходе которого пользователь может выбрать, какие из переменных ему нужно найти. В результате пользователь получает отчет программы в виде последовательности уравнений, которые необходимо решить для определения заданных неизвестных переменных (рис. 2).



Рис. 2. Окно вывода результатов

Проиллюстрируем работу программного комплекса расчетом системы терморегулирования (СТР) КА.

Система уравнений, описывающих массогабаритные характеристики СТР, имеет следующий вид:

$$M_{СТР} = M_{ГО} + M_{КИ} + M_{РГО}, \quad M_{РГО} = \mu_{УЛ} S_{РГО}, \quad Q_{НОР} = A_S (Q_{СОЛИ} + Q_{ОТР}) + E_W Q_{ИЛ},$$

$$Q_{СОЛИ} = q_{СОЛИ} S_M, \quad Q_{ОТР} = q_{ОТР} S_M, \quad Q_{ИЛ} = q_{ИЛ} S_M, \quad q_{СОЛИ} = \sigma T_C^4 \left( \frac{R_C}{r} \right),$$

$$q_{ОТР} = \frac{2}{3} a_{ИЛ} q_{СОЛИ} B_0 \left[ B_0 - \sqrt{1 - B_0^2} + \frac{2}{B_0} \sqrt{1 - B_0^2} \right] - 1, \quad B_0 = \frac{R}{R + H_{орб}},$$

$$q_{ИЛ} = 0,5(1 - a_{из}) \left( 1 - \sqrt{1 - B_0^2} \right) q_{СОЛИ}, \quad Q_{ОИЛ} = Q_{ИЛ \max} + Q_{НОР}, \quad S_{рад} = f \frac{Q_{ОИЛ} F}{E_{ИЛ} \sigma T_{ex}^4},$$

$$F = \frac{1}{3} \frac{\left( \frac{T_{ex}}{T_{вмх}} \right)^3}{1 - \frac{T_{ex}}{T_{вмх}}},$$

$$M_{КИ} = \frac{M_{ИСПЛОС} + M_{НАСОС\Sigma}}{1 - \mu_{НР}},$$

$$M_{НАСОС\Sigma} = n_{НАСОС} M_{НАСОС},$$

$$\dot{m}_{ИСПЛОС} = \frac{Q_{ОИЛ}}{C_p (T_{ex} - T_{вмх})},$$

$$M_{ИСПЛОС} = \rho_m l_{\Sigma} \frac{\pi d_{cp}^2}{4}, \quad V = \frac{4 \dot{m}_{ИСПЛОС}}{\rho_m \pi d_{cp}^2}, \quad \Delta p = \xi_{УСР} \frac{l_{\Sigma}}{d_{cp}} \frac{\rho_m V^2}{2}, \quad N_{II} = \dot{m}_{ИСПЛОС} \frac{\Delta p}{\rho} \frac{1}{\eta_n},$$

$$n_{НАСОС} = \frac{N_{II}}{N_n}, \quad M_{ГО} = \mu_{ГО} M_{СТР}.$$

Введем новые формализованные переменные:

$$M_{СТР} = u1; \quad M_{ГО} = u2; \quad M_{КИ} = u3; \quad M_{РГО} = u4; \quad \mu_{УЛ} = u5; \quad S_{РГО} = u6; \quad Q_{НОР} = u7$$

$A_S = u8$ ;  $Q_{СОЛН} = u9$ ;  $Q_{ОТР} = u10$ ;  $E_W = u11$ ;  $Q_{ПЛ} = u12$ ;  $q_{СОЛН} = u13$ ;  $q_{ПЛ} = u14$ ;  
 $q_{ОТР} = u15$ ;  $T_C = u16$ ;  $\sigma = u17$ ;  $R_C = u18$ ;  $r = u19$ ;  $S_M = u20$ ;  $a_{ПЛ} = u21$ ;  
 $B_0 = u22$ ;  $R_3 = u23$ ;  $H_{орб} = u24$ ;  $Q_{оме} = u25$ ;  $F = u26$ ;  $T_{ex} = u27$ ;  $T_{вых} = u28$ ;  
 $m_{теплов} = u29$ ;  $M_{насос\Sigma} = u30$ ;  $\mu_{пр} = u31$ ;  $n_{насос} = u32$ ;  $M_{насос} = u33$ ;  $\dot{m}_{теплов} = u34$ ;  $C_p = u35$ ;  
 $\rho_m = u36$ ;  $l_{\Sigma} = u37$ ;  $d_{op} = u38$ ;  $V = u39$ ;  $\xi_{уер} = u40$ ;  $\Delta p = u41$ ;  $N'_n = u42$ ;  
 $N_n = u43$ ;  $\mu_{ГО} = u44$ ;  $Q_{ВН\max} = u45$ .

Исходные данные для расчета массы СТР содержатся в переменных:

$u_5, u_8, u_{11}, u_{16}, u_{17}, u_{18}, u_{19}, u_{20}, u_{21}, u_{23}, u_{24}, u_{27}, u_{28}, u_{31}, u_{32}, u_{33}, u_{35}, u_{36}, u_{37}, u_{38}, u_{40}, u_{43}, u_{44}$  - а иско-  
 мому значению массы соответствует переменная  $u_1$ .

Результат работы программного комплекса выглядит следующим образом:

*Решите уравнение вида  $u26=0.3*(u27/u28)^2/(1-u27/u28)$  относительно  $U26$ .*

*Решите уравнение вида  $u32=u42/u43$  относительно  $U42$ .*

*Решите систему уравнений*

$$u39=4*u34/(u36*3.14*u38^2),$$

$$u41=u40*(u37/u38)*(u36*u39^2)/2,$$

$$u42=u34*(u41/u36)/0.5$$

*относительно  $U34, U39, U41$ .*

*Решите уравнение вида  $u34=u25/(u35*(u27-u28))$  относительно  $U25$ .*

*Решите уравнение вида  $u6=1.5*(u25*u26)/(u11*u17*u27)$  относительно  $U6$ .*

*Решите уравнение вида  $u4=u5*u6$  относительно  $U4$ .*

*Решите уравнение вида  $u30=u32*u33$  относительно  $U30$ .*

*Решите уравнение вида  $u29=u36*u37*3.14*u38^2/4$  относительно  $U29$ .*

*Решите уравнение вида  $u3=(u29+u30)/(1-u31)$  относительно  $U3$ .*

*Решите систему уравнений*

$$u1=u2+u3+u4,$$

$$u2=u44*u1$$

*относительно  $U1, U2$ .*

В последующем предполагается дополнить программный комплекс модулем, позволяющим осуществлять автоматический расчет конечных результатов.

### Библиографический список

1. Тамм Б.Г., Тыгу Э.Х. О создании проблемно-ориентированного программного обеспечения. Кибернетика, 1975, № 4, с. 76-85.
2. Оре О. Теория графов. М.: Наука, 1980.
3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978.