

О ПУТЯХ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР ЛОПАТОК ОСЕВЫХ ТУРБОМАШИН

Аронов Б.М.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Многолетний опыт разработки систем автоматизированного проектирования конструкций лопаток разных типов [1] позволяет выделить в качестве одного из основных направлений совершенствования создаваемых САПР *повышение уровня их интеллектуальности*.

Отличаясь от универсальных инструментальных средств (таких, как CATIA, Unigraphics, Cimatron) ориентацией не только на проектирование изделий, но и процессов, возможностями оптимизировать решения по разным критериям качества и в различных проектно-доводочных ситуациях, а также высокой степенью *автоматичности* поиска самого решения, объектно-ориентированные САПР, в том числе интегрированные САПР (ИСАПР) лопаток осевых компрессоров и турбин, развиваются в направлении большей гибкости, более высокого уровня интеллектуальности и рациональной организации связей с инструментальными средствами CAD/CAM-систем. Некоторые из направлений такого развития отражены в [2].

Далее излагаются предложенные и частично реализованные пути совершенствования объектно-ориентированных САПР в направлении повышения уровня их интеллектуальности. Показано, *как* в ходе поиска инженерного решения по конструкции проектируемого объекта избегать лишних итераций, т.е. как *оптимизировать* сам поиск решения. В числе путей:

- обоснованное прогнозирование прочностных ограничений на проектном режиме при известных условиях функционирования объекта за цикл работы и заданном ресурсе машины;
- априорный анализ самой возможности получить допустимое проектное решение при заданных значениях неварьируемых параметров;
- рациональное сочетание численных методов оптимизации с эвристическими приемами;
- снижение уровня модели анализа "вышестоящего" объекта при оптимизации параметров по системному критерию качества;
- рациональное (необходимое) изменение значений неварьируемых параметров конструкции для достижения функциональных ограничений.

Большая часть из перечисленных путей реализована сотрудниками Отраслевой (Минавиапрома) научно-исследовательской лабораторией

рии комплексных САПР (ОНИЛ-18) СГАУ в процессе совершенствования ИСАПР рабочих лопаток турбин (РЛТ). Применительно к одной из функциональных подсистем ИСАПР РЛТ, а именно к САПР полочных бандажей (БЖ), разработанные алгоритмы, существенно ускоряющие поиск оптимальных решений, и полученные результаты отражены в [3].

В числе ближайших задач, направленных на повышения уровня интеллектуальности объектно-ориентированных САПР, - разработка и реализация подходов к самообучению системы. Потребность в таком самообучении диктуется, например, тем, что часть параметров, выбираемых в ходе поиска решения, опирается на полученные в своё время статистические зависимости. Они используются при выборе параметров решеток профилей в процессе проектирования лопаточных венцов турбин, при назначении неварьируемых параметров бандажных полок и устройств крепления лопаток в дисках рабочих колёс. Новые, не предусмотренные ранее условия функционирования объекта, либо новый взгляд пользователя заставляют его отказаться от выбранного системой значения параметра и назначить иное значения (в созданных САПР такая возможность реализована). Путем учета таких изменений и предстоит корректировать статистические зависимости.

Характерным примером описанной ситуации является использование в САПР лопаточных венцов (ЛВ) рабочих колёс и сопловых аппаратов турбин программы выбора параметров профилей, обеспечивающих высокое газодинамическое совершенство проектируемых решёток. С накоплением опыта эксплуатации турбин представление об оптимальных значениях параметров профилей изменяются и поэтому требуется корректировка программ. Однако такая корректировка может быть с успехом возложена на сам программный комплекс, если в базе данных проектов, признанных лучшими, будет сохраняться необходимая информация. В этом случае возможна автоматическая "подстройка" коэффициентов в эмпирических формулах выбора параметров, а сам процесс организован как *самообучение* системы, что повышает уровень её интеллектуальности и способствует более длительному и успешному применению.

В созданных версиях САПР ЛВ параметры решёток профилей, определяющие их газодинамическое совершенство и обеспечивающие прочность лопаток, отыскиваются на основе зависимостей и методики, изложенных в [4,5]. Речь идёт о выборе конструктивных углов входа в решётку и выхода из неё, об углах отгиба выходной кромки и установки профиля, о радиусах скругления кромок, об относительном шаге решётки. Эмпирические формулы, предлагаемые для определения параметров решёток, были получены на основе обработки статистического материала по высококачественным конструкциям лопаток авиационных ГТД. Тур-

бины этих двигателей и модельных установок прошли доводку по прочности и газодинамическим параметрам и обладали высоким КПД, превышающим 90%. Обработанный статистический материал был собран, в основном, в 60-х - 70-х годах.

Эмпирические формулы для определения геометрических параметров решеток представлены в [1,5] в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} f_1(x_1; x_2; \dots; x_n; a_{11}; a_{12}; \dots; a_{1n}) = 0 \\ f_m(x_1; x_2; \dots; x_n; a_{m1}; a_{m2}; \dots; a_{mn}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Здесь x_j - определяемые параметры,

a_{ij} - эмпирические коэффициенты.

Значения коэффициентов a_{ij} определялись по методу наименьших квадратов для функции выбранного вида путем минимизации функционала:

$$\sum \left[f_j(x_i; a_{ij}) - f_j(x_i^*; a_{ij}) \right]^2. \quad (2)$$

Здесь x_i^* - исходный статистический материал.

С получением дополнительных данных, отражающих новые взгляды пользователей САПР ЛВ, функционал (2) может минимизироваться уже на всём расширенном множестве значений $\{x_i\}$. В результате будут получены новые значения коэффициентов a_{ij} .

Такого рода "самообучение" имеет смысл выполнять с определенной инерцией, определяющей величину изменения старого значения коэффициентов эмпирических формул, несущих на себе отпечаток длительного прошлого опыта, в сторону нового, отражающего воззрение на эффективность решеток в последнем выполненном проекте. Предложенный А.Г. Керженковым учёт инерции при переходе от a_{ij} к a_{ij} может быть выполнен по формуле

$$\overline{a_{ij}} = a_{ij} - J(a_{ij} - \overline{a_{ij}}), \quad (3)$$

которая учитывает “здоровый консерватизм”, позволяя более осторожно переходить от старых проверенных решений к новым. В (3) значения J устанавливаются пользователем системы с учётом степени доверия к вновь полученным результатам.

Использование скорректированных алгоритмов и программ при дальнейшем применении все время обновляемой САПР - это один из путей повышения уровня ее интеллектуальности. Другой - обобщение знаний в виде логико-лингвистических и математических моделей и насыщение ими экспертной системы (ЭС). Такой путь прошел апробацию в САПР БЖ. Когда при заранее выбранных значениях неварьируемых параметров строительных элементов полки (гребней лабиринта, ребер жесткости и платиков) не удастся совместить её центр тяжести с центром тяжести подполочного сечения пера, обращение к ЭС дает пользователю САПР БЖ информацию о том, с помощью изменения каких именно параметров (и насколько!) можно выполнить поставленную задачу.

Исходя из опыта сотрудников ОНИЛ-18 СГАУ, повышение уровня интеллектуальности объектно-ориентированных САПР - важнейший фактор эффективного использования таких систем в реальных условиях проектирования и доводки конструкций основных компонентов турбомашин.

Список литературы

1. Автоматизация проектирования лопаток авиационных турбомашин (методология, алгоритмы, системы) / Б.М.Аронов, В.А.Камынин, А.Г.Керженков и др. Под ред. Б.М.Аронова - М.: Машиностроение, 1994. 240 с.
2. Аронов Б.М., Керженков А.Г. Пути совершенствования систем автоматизированного проектирования лопаток осевых турбомашин. Вестник СГАУ. Серия: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Выпуск 2. Часть 2. С. 33-39. Самара, 1998.
3. Аронов Б.М., Тихонов Г.Ю. Автоматизация проектирования бандажных полок лопаток рабочих колёс турбин. // Изв. ВУЗов. Авиационная техника, 1997, N4. С.99-102.
4. Аронов Б.М. Определение некоторых геометрических параметров турбинных решёток. - Изв. вузов, сер. “Авиационная техника”, 1964, N5. С. 109 - 117.
5. Аронов Б.М., Жуковский М.И., Журавлев В.А. Профилирование лопаток авиационных газовых турбин М.: Машиностроение, 1975. 192 с.