

## РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНОГО КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Малунин В.Р.

Государственное предприятие  
Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова  
malunin@hotmail.com

### Abstract

*Malunin V. Development of an engineering program complex for calculation of structural elements, which manufactured of polymeric composite materials. This article is the brief description of a development of a program complex for the comprehensive analysis of structural elements on a personal computer. The complex is intended for research of advanced structural elements, which manufactured of polymeric composite materials. It includes a set of separate modules prepared in standardised manner.*

Численные методы расчета напряжённо-деформированного состояния (н.д.с.) элементов конструкций могут быть использованы на практике при условии их реализации в виде соответствующих программ на ПЭВМ. При этом возможны два основных подхода к созданию таких программ. Первый из них предполагает, что программа разрабатывается для конкретной задачи или узкого круга задач. Второй подход связан с разработкой универсального программного комплекса, предназначенного для решения достаточно широкого круга задач.

В инженерной практике расчёта элементов конструкций, изготовленных из полимерных композиционных материалов (ПКМ), наибольшее распространение получил первый подход. Это объясняется спецификой разноплановых задач, которые довольно проблематично решать с использованием универсального программного комплекса. Тем не менее, специализированные программы в дальнейшем можно объединить в единый универсальный программный комплекс при условии использования структурного подхода при разработке этих программ.

Непосредственно методология расчёта упругих, жесткостных и прочностных характеристик многослойных ПКМ основана на использовании уравнений теории упругости слоистых ортотропных и анизотропных стержней, пластин и оболочек. При различных видах нагружения и граничных условиях опирания (закрепления) элементов конструкции из ПКМ решается вопрос и о рациональном их армировании, обеспечивающем минимальную массу конструкции.

Инженерный комплекс программ для расчета и оценки несущей способности элементов конструкций, изготовленных из слоистых гибридных ПКМ, был разработан на основе структурного подхода к программированию. В соответствии с принципом модульности комплекс программ состоит из набора модулей (подпрограмм). На этапе проектирования модульной структуры были определены функции всех модулей, а также входные и выходные параметры каждого модуля.

Применение принципа модульности позволило разложить программирование и отладку комплекса на последовательное программирование и отладку отдельных модулей сравнительно небольшого объема. Поскольку каждый модуль имел одно функциональное назначение, то логика алгоритма, реализуемая в отдельном модуле, была относительно простой. Кроме того, количество переменных, используемых в одном модуле, было невелико. Эти обстоятельства упростили программирование модуля и сам процесс его отладки, поскольку в простой по логике и короткой программной единице снижалась возможность появления трудно обнаруживаемой ошибки.

Структурно комплекс программ содержит корневые (вызывающие) модули, в которых содержатся операторы вызова других модулей комплекса. В свою очередь, модули, вызываемые корневым модулем, также содержат обращения к модулям данного комплекса и т.д. Таким образом, формируется определенная иерархия модулей. Верхнюю степень в этой иерархии занимает корневой модуль. Далее располагаются программные единицы, вызываемые из корневого модуля. Следующую ступень иерархии занимают модули, вызываемые модулями второй ступени и т.д. Таким образом, была получена иерархическая модульная структура, которая соответствовала естественной последовательности разработки комплекса и не требовала построения специальных тестовых задач для отладки каждого модуля. На каждом шаге программирования и отладки работа шла только с одним модулем, а в качестве тестовых программ использовались уже разработанные и отлаженные ранее модули более высокого уровня. При обращении к подпрограммам, которые еще не были написаны и не отлажены для обеспечения выполнения программ, в комплекс включались фиктивные подпрограммы, не выполняющие никаких действий и имеющих имя заменяемой подпрограммы. По мере разработки комплекса фиктивные подпрограммы заменялись отлаженными модулями.

Разработанный комплекс состоит из ряда самостоятельных программ, предназначенных для оценки устойчивости и прочности как элементов конструкции (плоских и гофрированных пластин, трехслойных пластин), так и фрагментов конструкции (оболочки баллона высокого давления, многозамкнутого контура поперечного сечения кессона). При проектировании конструкций из ПКМ происходит одновременно проектирование самого материала для них, поэтому, независимо от решаемых задач, все программы автоматически определяют и выдают значения упругих и жесткостных параметров пакетов монослоев, из которых и образованы элементы конструкции.

Для просмотра и корректировки библиотеки механических характеристик применяемых материалов разработана специализированная программа – LIBR.

Для оценки устойчивости элементов конструкции разработаны две программы на основе решения с использованием двойных тригонометрических рядов:

- для расчета при чистом сдвиге или сжатии плоских и трехслойных пластин (с жестким на сдвиг заполнителем) – SEYDEL;
- для расчета устойчивости при чистом сдвиге гофрированных (синусоидальных) пластин – GOFREL.

Для оценки нагруженности плоских и трехслойных пластин (с жестким на сдвиг заполнителем) при сложном н.д.с. и различных граничных условиях опирания разработана программа SENVEN. При этом расчет выполняется с использованием метода конечных разностей.

Для оценки прочности элементов конструкции с использованием пяти критериев прочности разработаны две программы:

- для расчета анизотропного пакета слоёв при плоском н.д.с. – STRESS-3;
- для расчета прочности ортотропного пакета слоёв при сложном н.д.с. – STRESS-6.

Вышеперечисленные программы послужили основой для разработки программ по расчету фрагментов конструкции:

- по определению прочности оболочки баллона высокого давления при избыточном внутреннем давлении – STRESS-P;
- по оценке нагруженности ортотропных элементов конструкции в многозамкнутом контуре поперечного сечения кессона – PRO-23;
- по оценке нагруженности анизотропных элементов конструкции в многозамкнутом контуре поперечного сечения кессона – PRO-24.

Таким образом, комплекс программ охватывает задачи от элементарного структурного элемента – монослоя до сложного набора элементов – фрагмента конструкции (см. рис. 1).

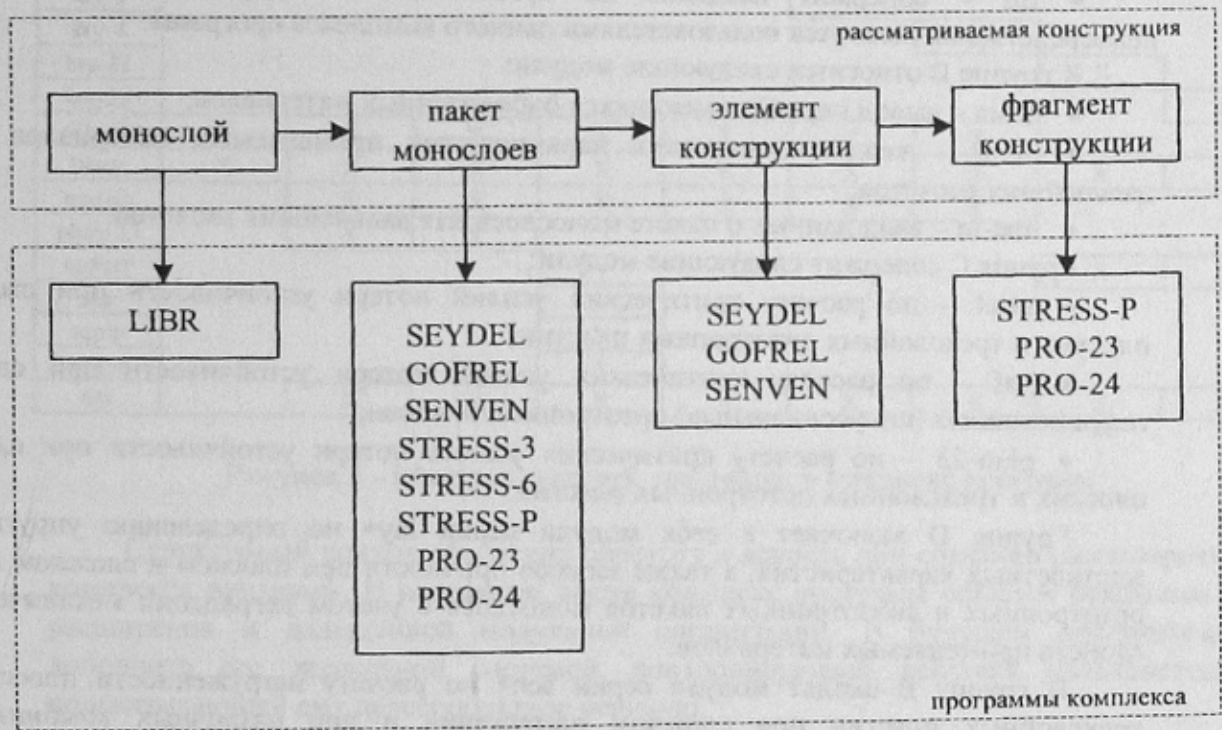


Рисунок 1 - Взаимосвязь рассматриваемых структурных элементов конструкции с программами комплекса

Все входные и выходные данные, а также промежуточные результаты, выводятся на экран монитора в виде блоков-окон для лучшего восприятия информации.

При загрузке основного модуля выдается краткая характеристика программы – в виде текстового сообщения: назначение и основные выходные параметры, которые будут получены.

По функциональному назначению все модули условно можно объединить в несколько групп:

- A.) інформаційну;
- B.) по описанию структуры пакета монослоев;
- C.) по расчету устойчивости;
- D.) по определению упругих и жесткостных характеристик пакета монослоев, запасов прочности;
- E.) по оценке нагруженности элементов конструкции.

Группа А состоит из модулей:

- *coment* – представляет собой набор строковых переменных, выводимых на экран монитора и при печати. Модуль выполнен в двух исполнениях: с использованием русского и английского языков. В зависимости от требований пользователя строковые переменные могут быть переписаны с использованием любого другого лингвистического языка. Таким образом, решается вопрос о переводе комплекса программ с одной лингвистической основы на другую и поэтому данный модуль занимает особое место в каждой из разработанных программ:

- *izd-in* – ввод данных по элементу конструкции, который исследуется (наименование изделия, наименование элемента конструкции, номер чертежа);
- *titl* – содержит сведения об организации и подразделении, которые непосредственно являются пользователями данного комплекса программ.

К группе В относятся следующие модули:

- *lib-in* – вывод перечня имеющихся библиотечных материалов;
- *librag* – ввод механических характеристик применяемых материалов для дальнейших расчетов;
- *mat-in* – ввод данных о пакете монослоев для дальнейших расчетов.

Группа С содержит следующие модули:

- *axial* – по расчету критических усилий потери устойчивости при сжатии плоских и трехслойных ортотропных пластин;
- *gof* – по расчету критических усилий потери устойчивости при сдвиге гофрированных (синусоидальных) ортотропных пластин;
- *rkm-23* – по расчету критических усилий потери устойчивости при сдвиге плоских и трехслойных ортотропных пластин.

Группа D включает в себя модули серии *lay\** по определению упругих и жесткостных характеристик, а также запасов прочности при плоском и сложном н.д.с. ортотропных и анизотропных пакетов монослоев с учетом деградации механических свойств применяемых материалов.

В группу E входят модули серии *sen\** по расчету нагруженности плоских и трехслойных пластин при сложном нагружении и при различных комбинациях граничных условий опирания, а также модуль *reduct* по приведению упругих характеристик элементов многозамкнутого контура.

Модульная структура комплекса программ может быть представлена в виде матрицы модулей (рис. 2).

Разработанный комплекс программ:

⇒ не требует для своего применения изучения громоздких инструкций и работает в режиме диалога (для его использования необходимо минимальное знание особенностей проектирования конструкций из слоистых ПКМ);

⇒ может быть использован для расчета элементов конструкций, изготовленных из традиционных материалов (алюминиевые сплавы, титан, сталь и т.п.);

- ⇒ имеет оригинальный интерфейс;
- ⇒ обеспечивает работу на недорогих ПЭВМ;
- ⇒ отработан при проектировании:
  - хвостового оперения спортивного пилотажного планера;
  - хвостовой балки пассажирского вертолета;
  - кессона лопасти ветроэнергетической установки;
  - кессона киля учебно-тренировочного реактивного самолёта.

программы комплекса									
	LIBR	SEY-DEL	GOF-REL	SEN-VEN	STRESS-3	STRESS-6	STRESS-P	PRO-23	PRO-24
корневые модули									
модули	libr	seyd	gofr	senv	stress-3	stress-6	stress-p	pro-23	pro-24
axial		X							
coment	X	X	X	X	X	X	X	X	X
gof			X						
izd-in		X	X	X	X	X	X	X	X
lay		X		X					
lay-2					X				
lay-3						X			
lay-4							X		
lay-21								X	
lay-22									X
lib-in	X	X	X	X	X	X	X		
librar	X	X	X	X	X	X	X	X	X
mat-in		X	X	X	X	X	X		
pkm-23		X	X						
reduct								X	X
sen				X					
senlp				X					
senpr				X					
titl		X	X	X	X	X	X	X	X

Рисунок 2 - Матрица модулей, входящих в комплекс программ

Структурный подход обеспечил простоту и ясность при создании рассмотренного комплекса программ. В настоящее время комплекс программ остаётся открытым для расширения и дальнейшей модульной организации. В будущем предполагается дополнить его экспертной системой, контролирующей действия пользователя и подсказывающей ему целесообразное решение.

Поступила в редакційну колегію 16.10.2001 р.