

УДК 517

ПРОГРАММА ДЛИННОЮ В ЖИЗНЬ

Е. А. Седова, Т. В. Бурнышева, Е. В. Решетникова

LIFE-LONGPROGRAMME

E. A. Sedova, T. V. Burnysheva, E. V. Reshetnikova

В работе описывается путь разработки пакета прикладных программ для расчета статике, динамики и огнестойкости конструкций из композиционных материалов «Композит-НК», а также разработка методов, программно-реализованных в пакете, под руководством и при непосредственном участии доктора технических наук, профессора Каледина Валерия Олеговича.

The paper describes the development of the software package for calculating statics, dynamics, and fire resistance of composite materials, "Composite-NK", as well as the development of methods and software sold in the package, under the guidance and with the direct participation of Doctor of Technical Sciences, Professor Valery O. Kaledin.

Ключевые слова: композиционные материалы, пакет прикладных программ, статика, динамика.

Keywords: composite materials, software package, statics, dynamics.

Каледин Валерий Олегович родился в 1955 году в городе Караганда республики Казахстан. В 1972 году закончил 11 школу города Новокузнецка и поступил в Харьковский авиационный институт на специальность самолетостроение. В 1978 году окончил институт с отличием. Уже тогда Валерий Олегович заинтересовался композиционными материалами. В процессе учебы им была написана программа по расчету напряженно-деформированного состояния конструкций из композиционных материалов на основе метода конечных элементов, которая впоследствии стала прототипом программного комплекса «Композит». В дипломной работе эта программа была использована для расчета на прочность опытной конструкции – кессона шасси самолета Ан-28 из композиционных материалов. В 1982 году защитил диссертацию на соискание степени кандидата технических наук на тему «Исследование краевых эффектов в слоистых композиционных материалах» под руководством кандидата технических наук А. А. Рассохи. В кандидатской диссертации были исследованы деформации и напряженное состояние слоистых композиционных материалов вблизи свободных и нагруженных поверхностей. Определено влияние свободной поверхности на напряженно-деформированное состояние структурных компонентов ортогонально-армированного слоистого материала. Все расчеты в диссертации проведены с помощью разработанного автором комплекса программ для ЭВМ, который на тот момент позволяет автоматически строить конечноэлементные модели периодически неоднородных тел, а также рассчитывать напряженно-деформированное состояние конструкций из композиционных и традиционных материалов. В 1982 году, работая младшим научным сотрудником ХАИ, участвовал в выполнении НИР в интересах ряда предприятий авиационной и ракетостроительной промышленности: исследовал статическую прочность компрессора газотурбинного двигателя, силовой балки фюзеляжа самолета Ан-72, ферменной конструкции спутника. Эти работы сопровождалось развитием программного и методического обеспечения. В 1982 году, исследуя прочность образцов композиционных панелей тяжелого транспортного самолета,

предложил численно-аналитический способ исследования напряженного состояния многоэлементных конструкций, который совмещает достоинства численных и аналитических методов. Позже этот способ после систематической разработки составил основу докторской диссертации и ряда прикладных исследований.

В 1983 году В. О. Каледин вернулся в город Новокузнецк и пришел работать на кафедру высшей математики Сибирского металлургического института (СМИ). Валерий Олегович продолжил свои научные изыскания и с 1984 года принимал участие в выполнении хоздоговорных НИР в СМИ. Удачная архитектура комплекса «Композит» позволила использовать его не только в продолжающихся исследованиях механики конструкций, но и в задачах геофизики, а выполненные в 1985 – 1990 году НИР не только реализовались в промышленных разработках, но и стали предметом защиты четырех кандидатских диссертаций [4; 16].

Научные изыскания привели Валерия Олеговича в Новосибирск, где в 1992 – 1994 годах он прошел двухгодичную стажировку в должности старшего научного сотрудника Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук. Результатом плодотворной работы стала диссертация на соискание степени доктора технических наук на тему «Численно-аналитический метод исследования напряженно-деформированного состояния и его применение к расчету неоднородных пространственных конструкций». В ней нашли отражение результаты сотрудничества с машиностроительными предприятиями Москвы, Киева, Запорожья, Дубны, Хотькова и Днепропетровска. В работе излагались используемые способы дискретизации краевых задач с переменным параметром на основе метода конечных элементов в варианте метода перемещений и оригинальные алгоритмы численно-аналитического решения получаемых при этом дискретных задач. Разработан устойчивый алгоритм метода малого параметра, получена оценка радиуса сходимости определяемого им степенного ряда и оценка остаточного члена; найдено решение в дробно-рациональных

функциях, справедливое за пределами интервала сходимости степенного ряда, и построен алгоритм для экономного вычисления его коэффициентов. Пакет прикладных программ, последняя версия которого на тот момент носила название «Композит-5.04», включал в себя программную реализацию описанных методов и был апробирован и внедрен в работу многих организаций.

С 1998 года Валерий Олегович перешел работать в Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, где под его руководством была создана кафедра прикладной математики, впоследствии – математики и математического моделирования, которую он возглавлял до 2004 года. Начиная с 2001 года, Валерий Олегович занимает должность декана факультета информационных технологий. В 2000-х годах НФИ КемГУ активно сотрудничает со школами города Новокузнецка. Одной из школ, с которыми работает кафедра прикладной математики, является гимназия № 46. Валерий Олегович привлекает к научной работе шесть школьников, из которых двое – Анищенко Антон и Тепухина Екатерина – после окончания школы поступают в НФИ КемГУ. Под руководством В. О. Каледина школьники разрабатывали программу для построения стереографических изображений. Результаты своей работы школьники представляли на конференциях различного уровня и были отмечены дипломом Всероссийской конференции школьников в г. Обнинске.

Для более точного построения моделей рассчитываемых конструкций необходима была визуальная часть пакета программ «Композит», этим и занялся студент А. Анищенко, совместно с аспирантом д-ра техн. наук, профессора В. О. Каледина, Д. И. Глечиковым. Ими была разработана программа визуализации модели, которая включала в себя возможность визуального представления модели, заданной специальным образом с помощью текстовых файлов. Результатом работы программы являлось не только графическое представление модели, разбитой на конечные элементы, но и местная, глобальная системы координат, места прикладываемых нагрузок, области закреплений модели. Таким образом, программа позволяла на этапе задания модели проверить правильность ее построения, направления осей координат, нагрузок и закреплений.

В период с 1998 по 2008 годы активно велась работа по разработке методов, алгоритмов и программ численного решения краевых задач как самим В. О. Калединым, так и его аспирантами. Так, в 2002 году Т. В. Бурнышевой защищена диссертация «Влияние геометрических и физико-механических параметров на напряженно-деформированное состояние упругих пространственно-неоднородных массивов». В диссертации разработана методика, алгоритм и программное средство для расчета напряженно-деформированного состояния пространственных неоднородных структур с произвольным рельефом и формой включений [17]. Результаты расчетов и пакет программ были использованы в практике Новокузнецкой комплексной геолого-физической экспедиции. В том же году А. Б. Цветковым защищена диссертация «Математическое моделирование проявлений

гравитации в пространственно-неоднородных массивах горных пород». Работа включала в себя разработку дискретных моделей аномалии гравитационного поля, поля геостатического давления, полей упругих деформаций и напряжений на основе одной и той же структурной геометрической модели участка массива в виде набора тетраэдров, а так же усовершенствование алгоритма вычисления напряженности гравитационного поля по дискретной модели и его программная реализация [11]. В 2005 году состоялась защита Е. В. Решетниковой на тему «Численно-аналитическое моделирование статичности, устойчивости и колебаний пространственно армированных оболочек вращения» [12], которая выполнялась в соответствии с Целевой комплексной программой «Интеграция» Министерства образования РФ (проект Р-0045). В этой работе построена математическая модель и разработан численно-аналитический алгоритм для расчета перемещений, напряжений и деформаций при статическом нагружении пространственно армированных анизотропных оболочек вращения, частот и форм свободных колебаний и критических нагрузок потери устойчивости. Написан пакет программ для математического моделирования статического деформирования, устойчивости и свободных колебаний конструкций, содержащих в качестве элементов пространственно армированные оболочки вращения, что позволяет проводить параметрическое исследование разрабатываемой конструкции еще на предэскизной стадии ее проектирования, в целях выбора рациональных значений проектных параметров. В том же году прошла защита диссертации А. Ю. Марченкова на тему «Разработка объектно-ориентированного пакета программ прочностного расчета сетчатых и слоистых армированных конструкций из полимерных композиционных материалов». Работа состояла в разработанной методике объектно-ориентированного проектирования пакетов программ математического моделирования механического поведения оболочечных конструкций, а также в реализации программ прочностного расчета новых видов конструкций – сетчатых и спирально-армированных оболочек [9; 10]. В 2008 году защищает диссертацию «Моделирование и оптимизация тонкостенных однонаправлено армированных панелей из полимерных композиционных материалов» Д. И. Глечиков [13].

Однако научные интересы Валерия Олеговича не ограничивались только статическими расчетами, в 2007 году он заключает договор с Институтом теоретической и прикладной механики имени С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук в рамках разработки гранта РФФИ № 06-01-00004-а на тему «Управление гидродинамическим сопротивлением тел в вязкой жидкости» и аспирантка Ю. В. Шпакова в своей диссертации «Статическая прочность и колебания подкрепленных оболочек вращения из слоистых композиционных материалов» затрагивает тему динамических процессов [1; 2; 14]. Развитие данной тематики происходит в диссертации Е. А. Седовой (защищена в 2009 г.), где рассматриваются задачи расчета динамики оболочек произвольной гауссовой кривизны, обтекаемых потоком жидкости. Для решения связанной задачи гидродинамики

пишется дополнительный программный комплекс совместно с ведущим научным сотрудником Института теоретической и прикладной механики имени С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук доктором физико-математических наук С. М. Аульченко. Комплекс включает в себя программу для расчета движения потока жидкости, заданного уравнениями Навье-Стокса с граничными условиями, включающими условия прилипания и условия невозмущенного потока. Второй программой комплекса является программа, моделирующая движение оболочечной конструкции. Методика расчета движения конструкции построена на дискретизации уравнения движения методом конечных элементов и восстановлении консервативности решения [3; 15]. Необходимым условием сопряжения по данным обеих программ является согласованность исходных данных. На вход программе решения уравнений Навье-Стокса подаются координаты оболочки и радиальные перемещения. Для программы решения уравнений движения оболочки входные данные, заданные в виде текстовых файлов, дополнительно содержат характеристики материала, жесткости, условия закрепления и внешнее давление. Результатом работы первой программы является текстовый файл, содержащий давление в узлах на границе жидкости и оболочки, а второй программы – текстовый файл, содержащий все компоненты перемещений в узлах меридиана оболочки в конце шага интегрирования по времени.

В 2009 году было принято решение усовершенствовать пакет прикладных программ «Композит» и была начата разработка пакета «Композит-НК». К концу 2009 года была разработана первая пилотная версия пакета, включающая расчет статики конструкции. Дальнейшее развитие пакета позволило увеличить количество видов конечных элементов [6; 8]. Аспиранткой Е. И. Васильевой и магистранткой Ю. А. Кравцовой был внесен в программу модуль расчета обтекания жидкостью оболочечных конструкций, что позволило решать с помощью программы связанные задачи динамики. Одной из веток развития

пакета стала задача огнестойкости конструкций из композиционных материалов, которая также была добавлена в пакет.

В 2011 году кафедра математики и математического моделирования НФИ КемГУ открывает магистерскую программу «Математическое моделирование» по направлению подготовки 010400.68 «Прикладная математика и информатика». Складывается дружный коллектив молодых людей под руководством профессора В. О. Каледина, что позволяет задать новый вектор развития пакету прикладных программ «Композит».

В настоящий момент программная система «Композит-НК» представляет собой программный продукт с частично открытым кодом, включающий средства визуального программирования справочно-информационную систему поддержки открытого кода и контроля релевантности, библиотеку функциональных объектов, а также средства подготовки исходных данных и представления результатов вычислительного эксперимента. Разработанные вычислительные программы ориентированы на математическое моделирование механики и физических процессов в пространственных конструкциях из полимерных композиционных материалов.

Подсистема подготовки данных и представления результатов расчета включает интерпретатор входного языка пакета, а также средства табличного и графического представления данных. В отличие от существующих универсальных программ, графическое изображение пространственных конструкций строится в виде стереограммы, просмотр которой через специальные цветные светофильтры дает трехмерное изображение. Это позволяет более наглядно представить рассчитываемую конструкцию.

Пакет позволяет проводить расчеты разнообразных конструкций из композиционных материалов, которые включают элементы различной формы, механическое поведение которых не описывается какой-либо единой расчетной схемой [5; 7].

Литература

1. Аульченко, С. М. Моделирование механизма снижения сопротивления оболочек тел вращения, обтекаемых вязкой жидкостью / С. М. Аульченко, В. О. Каледин, Ю. В. Аникина // Письма в "Журнал технической физики". – 2007. – Т. 33. – № 17. – С. 83 – 88.
2. Аульченко, С. М. Особенности колебания оболочек тел вращения, обтекаемых вязкой жидкостью / С. М. Аульченко, В. О. Каледин, Ю. В. Шпакова // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81. – № 5. – С. 903 – 906.
3. Аульченко, С. М. Физико-механические параметры оболочек тел вращения, обеспечивающие формирование на их поверхностях бегущей волны при обтекании вязкой жидкостью / С. М. Аульченко, В. О. Каледин, Е. А. Седова // Инженерно-физический журнал. – 2009. – Т. 82. – № 5. – С. 834 – 837.
4. Бакулин, В. Н. Численно-аналитический подход к исследованию деформирования оболочечных конструкций из композитов / В. Н. Бакулин, В. О. Каледин // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 1989. – № 4. – С. 184.
5. Бурнышева, Т. В. Особенности деформирования сетчатых композиционных оболочек при статическом осевом сжатии / Т. В. Бурнышева, В. О. Каледин, А. Б. Миткевич // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78. – № 11. – С. 61 – 65.
6. Бурнышева, Т. В. Развитие пакета программ математического моделирования сопряженных задач механики неоднородных конструкций / Т. В. Бурнышева, В. О. Каледин, И. В. Равковская [и др.] // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2010. – № 1. – С. 3 – 8.

7. Бурнышева, Т. В. Сравнение дискретного и континуального подхода к расчету напряженного состояния сетчатых оболочечных конструкций при статическом нагружении / Т. В. Бурнышева, В. О. Каледин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 4. – С. 113 – 116.
8. Бурнышева, Т. В. Статическое деформирование композиционных сетчатых конструкций. Влияние обшивки на фоновые напряжения / Т. В. Бурнышева, В. О. Каледин, А. Б. Миткевич [и др.] // Вопросы оборонной техники. – (Серия 16: Технические средства противодействия терроризму). – 2009. – № 3. – С. 5.
9. Каледин, В. О. Анализ системной прочности оборудования и сооружений при огневом поражении / В. О. Каледин, Вл. О. Каледин, В. Л. Страхов [и др.] // Математическое моделирование. – 2006. – Т. 18. – № 8. – С. 93 – 100.
10. Каледин, В. О. Жесткость и несущая способность композиционной балки мостового покрытия / В. О. Каледин, А. В. Суханов, В. И. Сисаури [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Miningin formational and analytical bulletin (scientifican dtechnical journal). – 2006. – № 1. – С. 370 – 380.
11. Каледин, В. О. Исследование напряженно-деформированного состояния неоднородного массива горных пород при действии гравитационных сил / В. О. Каледин, Т. В. Бурнышева, А. Б. Цветков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Miningin formational and analytical bulletin (scientifican dtechnical journal). – 2002. – № 1. – С. 65 – 69.
12. Каледин, В. О. Математическое моделирование статики сетчатой оболочки с учетом концентрации напряжений / В. О. Каледин, Ю. В. Аникина, Т. В. Бурнышева [и др.] // Вестник Томского государственного университета. – 2006. – № 19. – С. 233.
13. Каледин, В. О. Открытая архитектура программ для математического моделирования в механике конструкций / В. О. Каледин, Д. И. Глечиков, В. Д. Локтионов // Вестник Московского энергетического института. – 2008. – № 4. – С. 14 – 20.
14. Aul'chenko, S. M. Characteristic features of the oscillation of shells of bodies of revolution immersed in a viscous fluid flow / S. M. Aul'chenko, V. O. Kaledin, Yu .V. Shpakova // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2008. – Т. 81. – № 5. – С. 941 – 944.
15. Aul'chenko, S. M. Physicomechanical parameters of shells of bodies of revolution that ensure the formation of a running wave on their surface in viscous-fluid flow / S. M. Aul'chenko, V. O. Kaledin, E. A. Sedova // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2009. – Т. 82. – № 5. – С. 833 – 837.
16. Bakulin, V. N. Analysis of thermoelastic stresses in laminated shells of double curvature / V. N. Bakulin, V. O. Kaledin, A. A. Rassokha // Mechanics of Composite Materials. – 1988. – Т. 23. – № 6. – С. 732 – 737.
17. Kaledin, V. O. Mathematical modeling of stress fields for the problems of prospecting and mining the hydrocarbon deposits / V. O. Kaledin, T. V. Burnysheva, V. P. Lastovetskii // Journal of Mining Science. – 2002. – Т. 38. – № 6. – С. 544 – 557.

Информация об авторах:

Седова Елена Александровна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики и математического моделирования Новокузнецкого института (филиала) КемГУ, (3843) 74-46-78.

Elena A. Sedova – Candidate of Physics and Mathematics, Assistant Professor at the Department of Mathematics and Mathematical Modelling, Novokuznetsk Institute (branch) of Kemerovo State University.

Бурнышева Татьяна Витальевна – кандидат технических наук, заведующая кафедрой информационных систем управления им. В. К. Буторина Новокузнецкого института (филиала) КемГУ, (3843) 74-46-78.

Tatiana V. Burnysheva – Candidate of Technical Sciences, Head of the V. K. Butorin Department of Information Systems in Management, Novokuznetsk Institute (branch) of Kemerovo State University.

Решетникова Елена Васильевна – кандидат технических наук, заведующий кафедрой математики и мат моделирования Новокузнецкого института (филиала) КемГУ, (3843) 74-46-78.

Elena V. Reshetnikova – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mathematics and Mathematical Modelling, Novokuznetsk Institute (branch) of Kemerovo State University.