



УДК 658.5:624.014.:539.4

В.И. Лукашенко – кандидат технических наук, доцент
Кафедра строительной механики

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА РАЗРАБОТКИ АРС ДЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

АННОТАЦИЯ

Проведен обзор результатов предыдущих исследований и разработок методов, алгоритмов расчета и программ. Предварительный анализ позволил дать обоснование выбора направлений дальнейших разработок.

V.V.I. Lukashenko – candidate of technical sciences, associate professor
Department of Building Mechanical Engineers
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE GENERALIZATION OF ACS DEVELOPMENT EXPERIENCE FOR TOUGHNESS STUDIES OF SPATIAL DESIGNS

ABSTRACT

The review of results of the previous studies, methods' developments, algorithms of calculation, and programs is presented. The preliminary analysis allows giving the explanation of the intended directions of the further developments.

Целью данной работы является обобщение результатов предварительных исследований для обоснования дальнейших работ, постановки новых задач и разработки алгоритмов их решения.

Проведено обобщение результатов работ, выполненных ранее. Разработаны предложения в направлении совершенствования методик, алгоритмов и программ расчета сооружений и отдельных элементов с целью дальнейшего включения их в АРС на ПЭВМ.

При решении прикладных задач прочностных исследований пространственных конструкций разработка и использование как ППП (Пакетов Прикладных Программ), так и АРС (Автоматизированных Рабочих Систем), созданных на базе ППП, были и остаются наиболее актуальными проблемами. Несмотря на наличие мощных универсальных программных комплексов и систем типа ANSYS, NASTRAN, NISA, ASKA, существует множество специализированных проблемно-ориентированных пакетов прикладных программ и специализированных программных комплексов и систем для решения задач в конкретных областях исследований. Это такие комплексы и программы, как: «ЛИРА», «ПУСК», «МИРАЖ», «РАСК-ПК», «ЛИРА-WINDOWS», «STARK», «COMET», «SKAD», «MICRO FE», «STAR», «NELF» и другие.

Программное обеспечение общего назначения, разработанное и разрабатываемое для широкого круга пользователей, являясь универсальным, зачастую

значительно уступает проблемно-ориентированным пакетам прикладных программ и специализированным программным комплексам как в эффективности, так и в удобстве применения.

На протяжении многих лет ведущие фирмы всего мира, занимающиеся проектированием новой техники, ведут или поддерживают работы по созданию специализированного программного обеспечения (ПО) для автоматизации исследований прочности. Стремление согласовать это ПО со все более широко внедряемыми системами автоматизированного проектирования и подготовки производства (CAD-CAM-системами) накладывает дополнительные требования на его организацию и структуру.

С 1967 года кафедра строительной механики КИСИ и ОНИЛН9 МАП СССР, созданная при ней, занимается решением задач автоматизации расчетных исследований прочности, разрабатывая методы, алгоритмы и средства их реализации. Эти разработки успешно использовались для расчетов прочности модификаций вертолета МИ-8 от МИ-14 до МТВ-5, а также при создании новых вертолетов МИ-24, МИ-26, МИ-34 ОКБ М.Л. Миля и вертолета «АНСАТ» ОАО КВЗ. На всех стадиях проектирования они позволяют успешно решать вопросы выработки рекомендаций конструкторам, оценки конструкторских решений и определения характеристик прочности и жесткости конструкций при действии статических и динамических нагрузок.

При наличии большого выбора систем, решающих аналогичные задачи с практически одинаковой достоверностью, при выборе пользователем той или иной системы на первое место выходят критерии максимального удобства применения и привязки системы к технологии проектирования, принятой в конкретной проектной организации. Поэтому часто при выборе между системой с хорошим пользовательским интерфейсом и системой, структурно привязанной к процессу проектирования, уступающей по качеству интерфейса, предпочтение отдается второй. Другими, весьма важными при выборе той или иной системы, критериями являются открытость системы к изменениям и обеспечение преемственности предыдущих и последующих версий. Обладая вторым свойством системы, “сдаваемые под ключ”, запрещают вмешательство пользователя в систему, ограничивая возможности углубления исследований. Использование модульного принципа построения систем, усложняя технологию работы с системой, позволяет пользователю привязать ее к особенностям процесса исследований в каждом конкретном случае, делая систему открытой. Создание программных средств (драйверов) для обмена данными между различными системами позволяет на разных стадиях проектирования эффективно использовать их достоинства.

В работах, выполненных сотрудниками ОНИЛ, заложены принципы, изложенные в [1], [2], организации вычислительных комплексов, базирующихся на матричных формулировках задач и нашедших воплощение в разработках пакетов прикладных программ, вычислительных комплексов и автоматизированных расчетных систем [3], [4], [5], [6], ППП СУМРАК-ЕС и АРС СУМРАК-ПК, ФРАК, ЭРА-ПК2000.

Предлагаемые в АРС ЭРА-ПК2000 программные средства созданы в процессе разработок и совершенствования многочисленных версий математического обеспечения. В работе [6] используется версия стандартного матричного программного обеспечения СМПО-32, которая существенно расширяет возможности АРС ЭРА-ПК2000. В работе показаны её новые возможные приложения для решения задач анализа НДС в условиях различных нагрузений при использовании способов моделирования поведения объектов расчета, позволяющих получать достоверные результаты.

Достоверность результатов решения подтверждается многочисленными расчетными исследованиями и решениями тестовых задач, позволившими установить границы доверительного использования применяемых моделей поведения как отдельных конечных элементов, так и расчетных

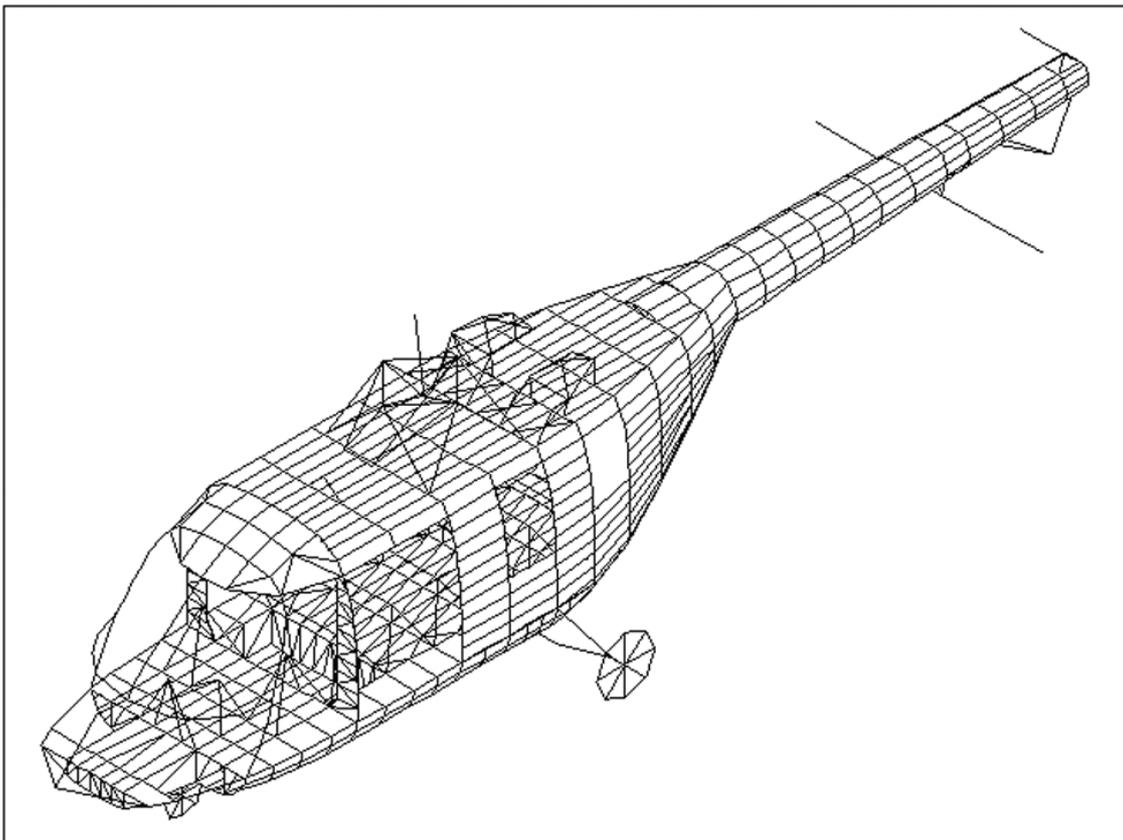


Рис.1. Вариант расчетной модели фюзеляжа вертолета “АНСАТ”-УТВ



Таблица 1

Номер формы в APC ЭРА-ПК2000	Частота, Гц	Номер формы в NASTRANe	Абсолютная погрешность в Гц	Относительная погрешность в %
1	0	1	0	0
2	0	2	0	0
3	2.66E-06	3	0	0
4	5.10E-06	4	0	0
5	7.84E-06	5	0	0
6	1.19E-05	6	0	0
7	8.23	8	-1.58	19
8	9.05	9	-1.54	18
9	11.16	11	0.88	3
10	12.12	12	-0.22	2
11	13.18	15	-0.31	2
12	15.61	17	-1.1	7
13	15.69	18	0.32	2
14	16.15	19	0.8	5
15	16.75	20	0.75	4
16	17.74	21	0.44	4
17	19.24	23	0	0

моделей, реализованных пространственных комбинированных систем. В ряде сравнений решения тестовых задач с решениями других авторов и решениями аналогичных задач с применением MSC NASTRAN получены результаты, требующие проведения дополнительных исследований для объяснения некоторых расхождений. Такими являются отличия, приводящие в ряде случаев к погрешностям количественного характера в расчетах на действие статических нагрузок и появлению пилонных форм колебаний сосредоточенных масс в расчетах с применением MSC NASTRAN, не проявляющихся в расчетах с применением APC ЭРА ПК2000.

Для примера ниже приводится часть результатов расчета на собственные колебания вертолета “АНСАТ” – УТВ (рис. 1), взятых из работы [6].

В APC ЭРА-ПК2000 получены частоты собственных колебаний (Расчет с мембранной обшивкой в APC ЭРА-ПК2000) (табл. 1).

Этот же вариант был рассчитан в NASTRANe.

При расчете в NASTRANe получены дополнительные пилонные формы колебаний сосредоточенных масс (7, 10, 13, 14, 16, 22) (табл. 2).

Сравнение частот совпадающих собственных показано в таблице 1.

Наибольшее отличие на низких частотах проявляется в балочных формах вертикальных и горизонтальных колебаний, что указывает на завышенную изгибную жесткость фюзеляжа при

моделировании обшивки мембранными КЭ.

Шесть нулевых частот соответствуют колебаниям фюзеляжа как незакрепленного жесткого тела.

Пилонная форма (7) колебаний массы приборной доски в носовой части, полученная в NASTRANe (табл. 2), не проявляется в расчете APC ЭРА ПК2000. Это объясняется некорректным переводом в NASTRAN точек ориентации в описаниях балочных элементов крепления массы приборной доски к шпангоуту 2. В связи с этим остальные формы смещены в нумерации на 1 по сравнению с APC ЭРА ПК2000. Далее в интервале до 20 гц появляется ещё пять пилонных форм (табл. 2).

Для сравнения отличий спектра частот при различном моделировании обшивки в таблице 3 приводятся частоты собственных колебаний (Расчет с мембранно-сдвиговой обшивкой в APC ЭРА-ПК2000 с редуцированием сдвиговой к стрингерам и шпангоутам). Сравнивая результаты по формам 7,8 в таблицах 1 и 3 с аналогичными 8,9 в таблице 2, можно легко убедиться, что уточненная модель (табл. 3) дает улучшение сходимости результатов с расчетом в NASTRANe (табл. 2).

В итоге проведен обзор результатов предыдущих исследований и разработок методов, алгоритмов расчета и программ. Предварительный анализ позволил дать обоснование выбора направлений дальнейших разработок по следующим направлениям:

1. Возможности расширения круга решаемых задач



EIGENVALUE ANALYSIS SUMMARY (READ MODULE)

BLOCK SIZE USED 7
 NUMBER OF DECOMPOSITIONS 2
 NUMBER OF ROOTS FOUND 40
 NUMBER OF SOLVES REQUIRED 18

Таблица 2

NO.	ORDER	EIGENVALUE	RADIANS	CYCLES	MASS	STIFFNESS
1	1	-1.958E-09	4.425E-05	7.04E-06	1.0E+00	-1.958E-09
2	2	-1.837E-09	4.286E-05	6.82E-06	1.0E+00	-1.837E-09
3	3	-1.026E-09	3.203E-05	5.09E-06	1.0E+00	-1.026E-09
4	4	-4.495E-10	2.125E-05	3.37E-06	1.0E+00	-4.495E-10
5	5	3.972E-10	1.993E-05	3.17E-06	1.0E+00	3.972E-10
6	6	1.134E-09	3.368E-05	5.36E-06	1.0E+00	1.134E-09
7	7	1.397E+03	3.738E+01	5.95E+00	1.0E+00	1.397E+03
8	8	1.731E+03	4.161E+01	6.62E+00	1.0E+00	1.731E+03
9	9	2.226E+03	4.718E+01	7.51E+00	1.0E+00	2.226E+03
10	10	3.171E+03	5.638E+01	8.96E+00	1.0E+00	3.171E+03
11	11	5.260E+03	7.253E+01	1.15E+01	1.0E+00	5.260E+03
12	12	5.672E+03	7.531E+01	1.19E+01	1.0E+00	5.672E+03
13	13	5.887E+03	7.670E+01	1.22E+01	1.0E+00	5.882E+03
14	14	6.244E+03	7.902E+01	1.25E+01	1.0E+00	6.244E+03
15	15	6.542E+03	8.090E+01	1.28E+01	1.0E+00	6.546E+03
16	16	7.823E+03	8.845E+01	1.40E+01	1.0E+00	7.823E+03
17	17	8.543E+03	9.243E+01	1.47E+01	1.0E+00	8.543E+03
18	18	1.071E+04	1.035E+02	1.64E+01	1.0E+00	1.071E+04
19	19	1.134E+04	1.065E+02	1.69E+01	1.0E+00	1.134E+04
20	20	1.210E+04	1.100E+02	1.75E+01	1.0E+00	1.210E+04
21	21	1.305E+04	1.142E+02	1.81E+01	1.0E+00	1.305E+04
22	22	1.421E+04	1.192E+02	1.89E+01	1.0E+00	1.421E+04
23	23	1.462E+04	1.209E+02	1.92E+01	1.0E+00	1.462E+04

Частоты собственных колебаний (Расчет с мембранно-сдвиговой обшивкой в APC ЭРА-ПК2000 с редуцированием сдвиговой к стрингерам и шанпоутам).

Таблица 3

Номер формы в APC ЭРА-ПК2000	Частота в Гц	Номер формы в NASTRANe	Абсолютная погрешность в Гц	Относительная погрешность в %
1	0	1	0	0
2	0	2	0	0
3	3.60E-06	3	0	0
4	4.77E-06	4	0	0
5	7.72E-06	5	0	0
6	2.12E-05	6	0	0
7	6.61	8	0.01	0.15
8	8.18	9	0.87	10.6
9	11.46	11	0.08	0.7
10	12.5	12	-0.52	4
11(12)	14.42	17	0.05	0.33
12(14)	16.89	19	0.06	0.35
13(16)	17.95	21	0.23	1.2
14(17)	21.51	23	-2.27	10.5

* Собственные формы (11), (13), (15), полученные при моделировании обшивки мембранными КЭ (табл. 1), в рассматриваемом интервале частот до 20Гц не проявились в расчете с редуцированием сдвиговой обшивки к стрингерам и шанпоутам.



и использования разработок АРС в исследованиях различных моделей поведения пространственных конструкций.

2. Решение вопросов разработки пользовательского интерфейса при разработках АРС и привязки их к технологии и условиям реального проектирования.

3. Вопросы параллельного использования различных АРС при расчетных исследованиях прочности конструкций на ПЭВМ.

Литература

1. Аргирис Дж., Келси С. Расчет фюзеляжей произвольного поперечного сечения и произвольного закона изменения, сечений вдоль оси. //Современные методы расчета сложных статически неопределимых систем / Пер. с англ. под ред. Филина А.П. – Л.: Судпромгиз, 1961. – С. 421-653.
2. Бурман З.И., Лукашенко В.И., Тимофеев М.Т. Расчет тонкостенных подкрепленных оболочек методом конечных элементов с применением ЭЦВМ. – Казань: Изд-во КГУ, 1973. – 569 с.
3. Артюхин Г.А. Методы и алгоритмы генерации данных для подсистемы автоматизированного проектирования подкрепленных оболочек. – Дисс... канд. техн. наук. – Киев, 1985. – 158 с.
4. Бурман З.И., Аксенов О.М., Лукашенко В.И., Тимофеев М.Т. Суперэлементный расчет подкрепленных оболочек. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.
5. Бурман З.И., Артюхин Г.А., Зархин Б.Я. Программное обеспечение матричных алгоритмов и метода конечных элементов в инженерных расчетах. – М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
6. Лукашенко В.И., Абдюшев А.А., Доронин М.М., Нуриева Д.М., Сладков А.В. Экспертиза, расчет, анализ пространственных конструкций: Монография. – Казань: КГАСУ, 2006. – 321 с.