

Разработка и апробация программного пакета для задач расчета динамического деформирования многослойных преград при ударе

А.Е. Паульзен

Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета

Аннотация: Описывается функционально-объектная среда визуального программирования «Алгозит», показана возможность ее использования в вычислительных экспериментах. Приводятся составляющие программного комплекса. Рассмотрено представление алгоритма решения задачи деформирования слоистых образцов при ударе в виде функциональной схемы.

Ключевые слова: визуальное программирование, среда программирования «Алгозит», многослойная тканая преграда, численная схема, алгоритм, высокоскоростное пробитие.

Введение

Физические испытания образцов из многослойной ткани при ударе остаются основным способом получения данных о прочности проектируемых преград, но связаны с высокими издержками. Численное моделирование процессов при ударе жесткого элемента в оболочку из ткани является предметом интенсивных исследований, поскольку позволяет исследовать поведение изделия при различных конструктивных параметрах [1]. Однако используемые для этого коммерческие программные комплексы [2-5], помимо достоинств, имеют высокую стоимость и предназначены для решения конкретных задач, их закрытый программный код не позволяет модернизировать имеющиеся объекты и расширять класс решаемых задач, либо делает этот процесс очень трудоемким. В настоящее время расчёты многослойных тканых пакетов при ударе требуют высокопроизводительных компьютеров либо заведомых упрощений модели.

Компромисс достигается при использовании косвенных оценок поглощаемой энергии путём регистрации динамических температурных полей и настройки расчётной модели по этим экспериментальным данным. Это требует включения в модель процессов тепловыделения, что влечёт необходимость усложнения и гибкого изменения алгоритмов расчёта.

Среда программирования «Алгозит»

Для разработки алгоритмов решения рассматриваемых в работе задач используется авторская среда функционально-объектного программирования «Алгозит» [6-7]. Эта среда имеет понятный интерфейс и частично открытый код, поэтому алгоритм может конструироваться пользователем для решения специфических задач.

Программная реализация в среде «Алгозит» заключается, с одной стороны, в кодировании функциональных классов на языке C++, и с другой стороны – в конструировании из экземпляров классов больших алгоритмов в виде функционально-объектных схем. В некоторых случаях разработка программ возможна с использованием только существующих функциональных классов, без написания дополнительных.

В целом комплекс содержит следующие программы, связанные по данным:

- 1) программа задания исходных данных о модели «Редактор сеток»;
- 2) программа расчета деформирования и тепловыделения «Программа расчета динамических температурных полей в многослойном композиционном материале при ударе» [8];
- 3) программа отображения и экспорта результатов расчёта «Алгозит Экспорт».

Кроме того, в среду включены программы служебного назначения «Транслятор» и «Интерпретатор».

На рис.1 представлена структурная схема среды функционально-объектного программирования «Алгозит». На схеме обозначены включенные в среду программные модули с указанием входных и выходных данных для каждого из этих модулей.



Рис.1 - Структурная схема среды функционально-объектного программирования «Алгозит»

Реализация численной схемы деформирования

Алгоритм численного решения задачи о деформировании многослойного пакета при соударении с поражающим элементом [9, 10] можно представить в виде укрупненной блок схемы (рис. 2).

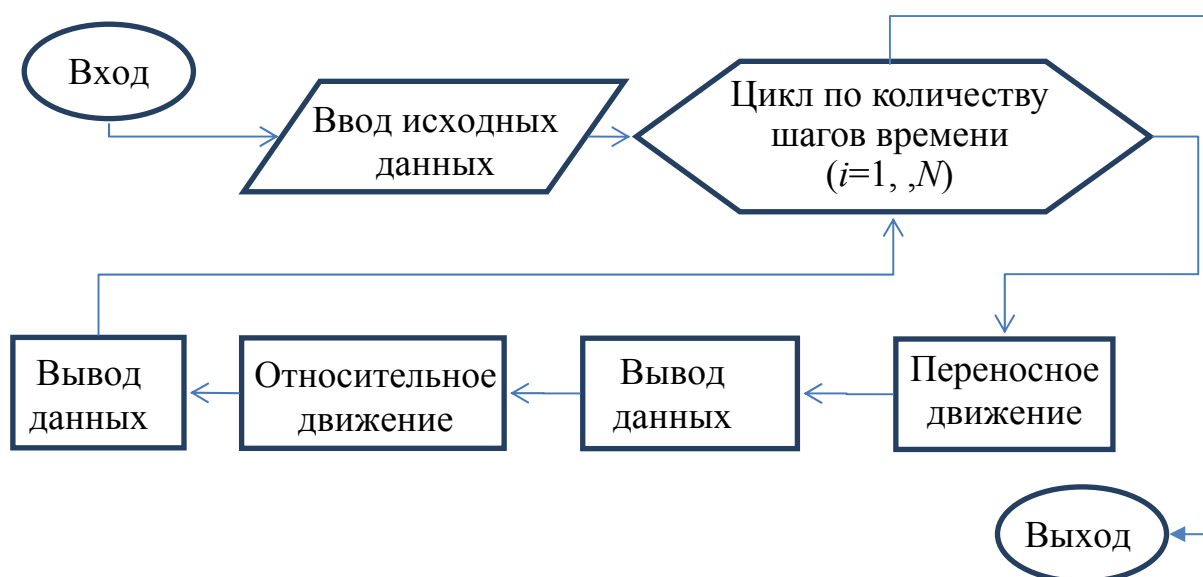


Рис.2 - Блок-схема алгоритма с расщеплением по процессам

Выполнение алгоритма начинается с загрузки исходных данных о тополого-геометрической модели. Далее реализуется цикл, число повторений которого равно количеству заданных шагов времени. В цикл входят два этапа – эйлеров и лагранжев. На первом этапе выполняется вычисление параметров переносного движения и выгрузка переносных перемещений и скоростей в конце шага. На втором этапе для вычисления параметров относительного движения из файлов формируются матричные коэффициенты уравнений, вычисляются и также выгружаются результаты – относительные перемещения и скорости.

Функциональная схема, эквивалентная представленной на рисунке блок-схеме, приведена на рис.3.

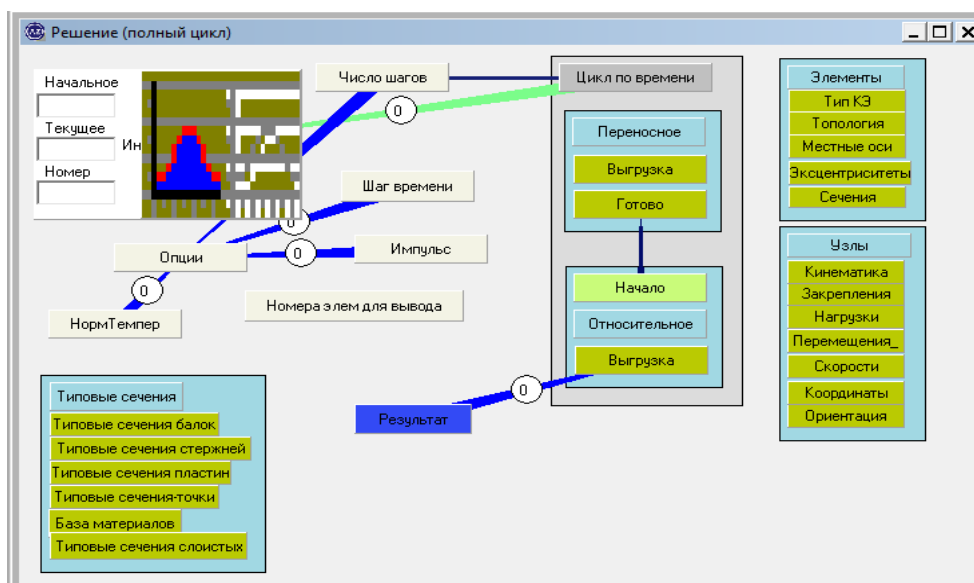


Рис.3 - Страница функциональной схемы реализации алгоритма расщепления по процессам

На рис.3 численные схемы для переносного и относительного движения реализуется на отдельных страницах (агрегаты «Переносное» и «Относительное»). На схеме эти агрегаты заключены в итератор «Цикл по времени», его индексным объектом является панель «Число шагов», данные в которую загружаются из текстового файла с опциями. Выполнение расчетов для относительного движения на каждом временном шаге начнется только после того, как будет закончен расчет для переносного движения.

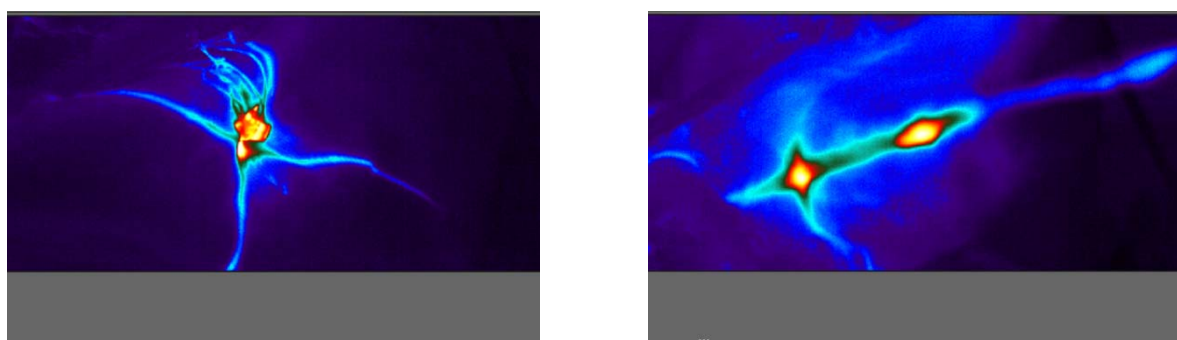
Детали алгоритма [10] аналогичным образом программируются в виде схемы функциональных зависимостей на других страницах, вложенных в схему на рис. 2, объекты которых доступны по ссылкам.

Сравнение физического и вычислительного эксперимента

В качестве объекта исследования использовался четырехслойный пакет из баллистической ткани на основе арамидных волокон. При проведении экспериментальных исследований броневая преграда подвергалась обстрелу стальными шариками диаметром 6,3 мм и массой 1,05 г. Процесс соударения регистрировался тепловизором.

Типовой характер температурного поведения тканого образца в процессе взаимодействия с ПЭ заключается в следующем. После соударения ПЭ с тканой преградой на поверхности образуется температурное поле, величина температуры которого начинает расти в области взаимодействия ПЭ с поверхностью изделия. Через определенный промежуток времени температура достигает максимального значения и далее начинает медленно снижаться.

На рис. 4 приведены термограммы образца сразу после взаимодействия с ПЭ.



а

б

Рис. 4 – Термограммы образца при скорости ПЭ: а – 300 м/с, б – 500 м/с

На рис.4 наблюдается значительное повышение температуры в зоне контакта ПЭ и тканой преграды, однако характер взаимодействия различен: в первом случае не наблюдается пробитие ткани, тогда как на второй термограмме виден пробой.

Вычислительные эксперименты с варьированием начальной скорости поражающего элемента (рис. 5) проведены при условиях, подобных натурным испытаниям.

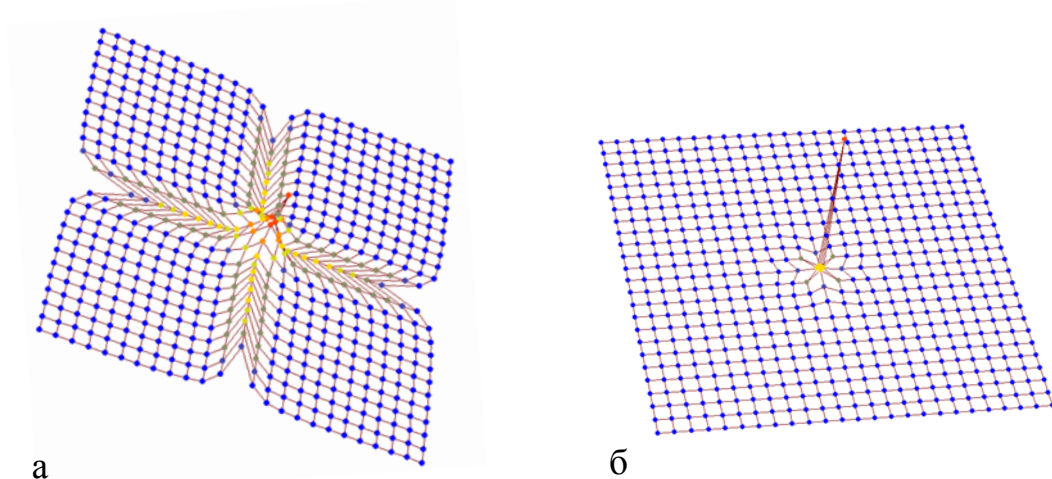


Рисунок 5 – Результаты вычислительного эксперимента: деформируемая форма с температурой в узлах при скорости ПЭ: а –300 м/с, б –500 м/с

На рис.5 показаны деформированные формы слоистой тканой оболочки при соударении с поражающего элемента, цветом указаны температуры в узлах конечно-элементной модели. На рисунке 5а наибольшие перемещения наблюдаются в крестообразных зонах от центра к краям по направлению укладки нитей, как следствие в этих же зонах видно повышение температуры. Другой результат наблюдается на рис. 5б, здесь зона с наибольшими перемещениями и повышенной температурой на поверхности тканого образца локализована в месте соударения с поражающим элементом. Неограниченный рост перемещений в месте соударения (рис. 5б) свидетельствует о пробитии многослойного пакета и дальнейшем движении ударника. Для подтверждения этого предположения проверены критерии прочности ткани по действующим деформациям и напряжениям. В рассматриваемом случае превышено значение предельной деформации.

Заключение

Разработанные программные средства адаптированы к расчёту расчёта динамического деформирования многослойного тканого материала при ударе жестким поражающим элементом и вызванных им динамических



температурных полей. Специально разработанные средства визуализации позволяют строить деформируемые формы с указанием температур в узлах модели, что применимо при качественном и количественном сопоставлении натуральных и вычислительных экспериментов.

Литература

1. Козельская С.О, Каледин В.О. К вопросу о постановке задачи математического моделирования тепловыделения на тканом образце под воздействием ударного импульса поражающего элемента // Контроль. Диагностика. 2017. №2. С. 58-62.

2. Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения . М.: ЛЕНАНД, 2008. 456 с.

3. Манилык Т., Ильин К. Практическое применение программного комплекса ABAQUS в инженерных задачах. М.: МФТИ, ТЕСИС, 2006. 99 с.

4. Livermore Software Technology Corporation URL: lsc.com/products/lstc-dyna.

5. Рыбников Е. К. , Володин С. В. , Соболев Р. Ю. Инженерные расчёты механических конструкций в системе MSC Patran Nastran. Ч. 1. М.: 2003. 130 с.

6. Каледин В.О., Крюкова Я.С., Нагайцева Н.В. Программная система для алгоритмизации численного решения задач механики сплошной среды // Известия Алтайского государственного университета. 2014. №1-1 (81). С. 161-164.

7. Каледин В.О., Гилева А.Е. Функционально-объектное программирование алгоритмов математического моделирования // Решетневские чтения: материалы XXI Междунар. науч-практ. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет.-космич. систем акад. М.Ф. Решетнева .

Красноярск: Сиб. гос. ун-т науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2017. С. 323-333.

8. Программа расчета динамических температурных полей в многослойном композиционном материале при ударе: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2017615345, Рос. Федерация / заявитель и правообладатель Каледин В.О., Будадин О.Н., Гилева А.Е, Козельская С.О. – №2017612112; заявл. 15.03.2017; зарегистр. 12.05.2017; опубл. 12.05.2017, бюл. №5. — 1 с.

9. Kaledin V.O., Budadin O.N., Gilyova A.Ye., Kozelskaya S.O. Modeling of thermomechanical processes in woven composite material at blow by the striking element // Journal of Physics: Conf. Series. 2017. №894 (2017) 012019.

10. Гилева А.Е. Численная схема волновой и оболочечной стадии деформирования при соударении многослойного тканого материала с поражающим элементом // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. №5. С. 100-102.

References

1. Kozel'skaya S.O, Kaledin V.O., To the question of stating a problem of mathematical modeling of heat release on woven sample under acting the impact momentum of a projectile, Kontrol'. Diagnostika. 2017, no. 2, pp. 58-62.

2. Morozov, E.M., Muzemnek, A.Yu, and Shadskii, A.S. ANSYS v rukakh inzhenera: Mekhanika razrusheniya [ANSYS for Engineers: Fracture Mechanics], Moscow: LENAND, 2008.

3. Manilyk T., Il'in K., Prakticheskoye primeneniye programmogo kompleksa ABAQUS v inzhenernykh zadachakh [Practical application of the software complex ABAQUS in engineering problems]. Moscow: MFTI, TESIS, 2006.

4. Livermore Software Technology Corporation URL: lsc.com/products/lstdyna.

5. Rybnikov E. K. , Volodin S. V. , Sobolev R. YU. Inzhenernyye raschety mekhanicheskikh konstruktsiy v sisteme MSC Patran Nastran [Engineering analysis of mechanical structures in the MSC.Patran-Nastran], part 1, Moscow, 2003.

6. Kaledin V.O., Kryukova YA.S., Nagaytseva N.V. Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta, 2014, № 1-1 (81). pp. 161-164.

7. Kaledin V.O., Gileva A.E., Funktsional'no-ob'yektnoye programmirovaniye algoritmov matematicheskogo modelirovaniya, Reshetnevskiye chteniya: materialy XXI Mezhdunar. nauch-prakt.konf., posvyashch. pamyati gener. konstruktora raket.-kosmich. sistem akad. M.F. Reshetneva, Krasnoyarsk, Sib. gos. un-t nauki i tekhnologiy im. akad. M.F. Reshetneva, 2017, pp. 323-333.

8. Programma rascheta dinamicheskikh temperaturnykh poley v mnogosloynnom kompozitsionnom materiale pri udare: svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy dlya EVM №2017615345 [The program for calculating dynamic temperature fields in a multilayer composite material upon impact: certificate of official registration of a computer program for EVM №2017615345]. Ros. Federatsiya, zayavitel' i pravoobladatel' Kaledin V.O., Budadin O.N., Gileva A.E, Kozel'skaya S.O., № 2017612112, zayavl. 15.03.2017, zaregistr. 12.05.2017, opubl. 12.05.2017, byul. № 5.

9. Kaledin V.O., Budadin O.N., Gilyova A.Ye., Kozelskaya S.O. Journal of Physics: Conf. Series, 2017, № 894 (2017) 012019.

10. Gileva A.E. Nauchno-tekhnicheskyy vestnik Povolzh'ya, 2019, № 5, pp. 100-102.