

## Применение LS-DYNA (ANSYS/LS-DYNA)

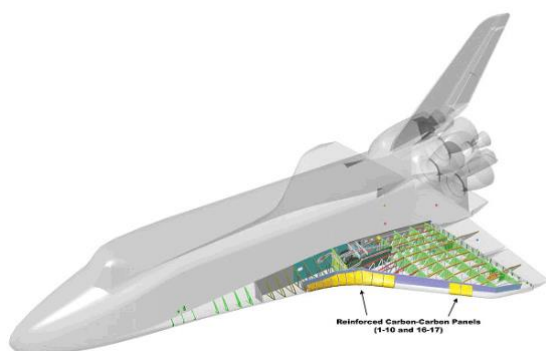
### В АВИАСТРОЕНИИ

Программа LS-DYNA широко применяется в различных авиационных и космических приложениях. LS-DYNA использовалась для выяснения причин катастрофы с челноком Колумбия. В программе были исследованы процессы столкновения пены, отлетевшей от стартовой ракеты, и удара ее о переднюю часть крыла Колумбии [1]. Применение программы показало возможность ее использования не только для деформирования твердых тел, но и в качестве инструмента для предсказания поведения различных материалов при столкновении, ударе и проникновении с такими элементами как птицы, пена, лед и др.

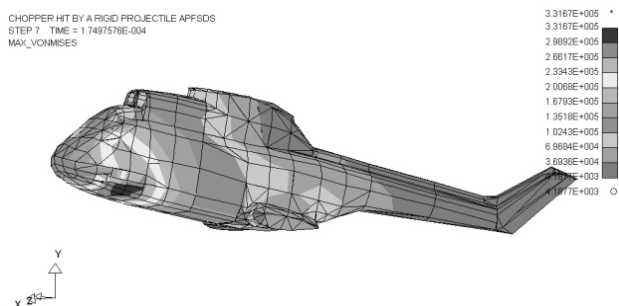


Для понимания процесса удара и проникновения пены в панель крыла челнока Колумбия была исследована пена и материал крыла в процессе их соударения [2].

Программа LS-DYNA доказала свою ценность при исследовании происшествий с челноком Колумбия, что может позволить вернуть полеты в будущем на кораблях данного типа.



В программе LS-DYNA было проведен анализ столкновения вертолета с горой [3]. Для анализа применялись различные материалы, которые применяются для защиты воздушных аппаратов. Данное исследование позволило исследовать процесс падения вертолета, и проанализировать сохранения герметичности баков для топлива.



Еще один вариант применения LS-DYNA связан с процессом удара конструкции о препятствие. В данном случае анализу подлежал процесс соударения вертолета с землей [4]. Динамическим анализом исследовался элемент демпфер, размещенный под фюзеляжем вертолета и исследовались его поглощающие параметры, для уменьшения усилия удара фюзеляжа о препятствие. Результаты моделирования, полученные после исследования в программе LS-DYNA, применялись для оптимизации конструкции летательного аппарата и демпферов, что способствовало снижению усилия удара при ударе о землю и позволит избежать его разрушение.



Другой вариант применения программы - для разработки конструкции парашюта. До этого когда не применялись средства конечно-элементного моделирования разработка парашютов основывалась на экспериментальных данных полученных при испытании. Применение LS-DYNA позволило существенно облегчить процесс разработки парашюта. LS-DYNA позволяет исследовать процесс раскрытия парашюта в воздухе. В любой момент времени можно проанализировать все необходимые параметры по перемещению, скорости движения, по ускорению. В программе LS-DYNA был исследован материал парашюта, ветровой туннель, а также этапы раскрытия парашюта [5].

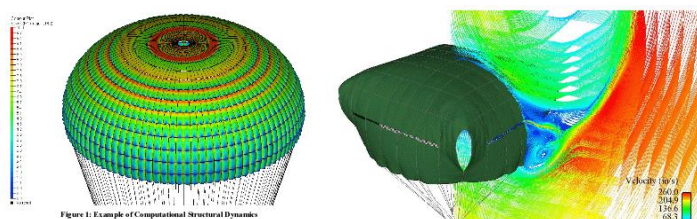
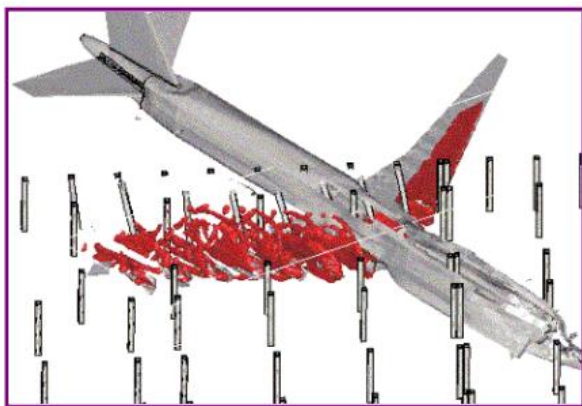
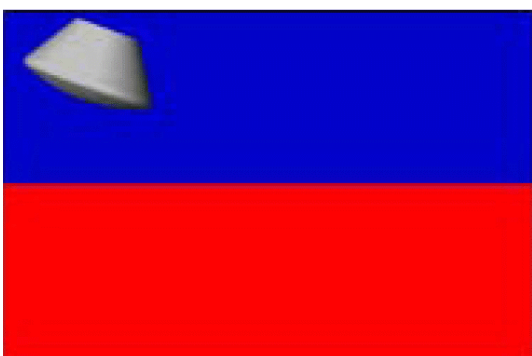


Figure 1: Example of Computational Structural Dynamics

Программа математического моделирования LS-DYNA также применялась для исследования процесса разрушения зданий МТЦ и здания Пентагона 11 сентября 2001 года в процессе удара и столкновения с самолетом [6]. С помощью данной программы удалось симитировать все этапы событий в подробностях, как это было на самом деле. В LS-DYNA были проанализированы процессы разрушения элементов летательного аппарата и бетонных колон здания, процессы возгорания топлива самолета и влияния его горения на разрушение.



Другой вариант применения программы - моделирование процесса посадки капсулы на воду [7]. Посадка капсулы на воду позволяет снизить усилие удара капсуле и является вариантом посадки на землю. Для анализа величины ускорения и торможения для данного исследования использовалась LS-DYNA . В программе изучались ускорения капсулы для различных углов встречи с препятствием (водой). Данное моделирование позволило выбрать рациональный вариант посадки и позволило минимизировать силу удара воздействующего на корпус. При моделировании применялись различные возможности LS-DYNA: алгоритм ALE, MALE и прочие возможности.



## **В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Обработка металлов давлением (ОМД) широко применяется в различных отраслях промышленности. Для примера прокаткой производится примерно 70-75% всего выплавляемого металла и до 60% цветного; операциейковки до 20-25 % металла; операцией прессования до 40% цветного металла и пр. Штампованные детали

могут составлять до 60-85% массы локомотивов, автобусов, летательных аппаратов и др.

Основные процессы обработки металлов давлением:

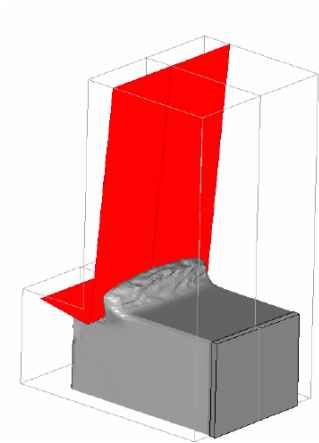
- горячая объемная штамповка;
- листовая штамповка
- ковка объемных деталей;
- прессование, выдавливание;
- прокатка кругляков и прутков;
- волочение;
- вытяжка заготовки;
- гибка;
- производство гнутых сортовых профилей (традиционное профилирование, СИ, МИД);
- волочение профилей в фильерах и роликах;
- вытяжка заготовки без утонения элементов;
- редуцирование, раздача, обжим;
- вытяжка-отбортовка;
- различные формообразующие и разделительные операции (просечка, отрубка и др.);

Одно из направлений развития процессов обработки металлов давлением – использование средств математического конечно-элементного моделирования. Математическое моделирование является эффективным методом анализа, путем применения новых методов аналитических методов, математики при анализе технологических процессов.

Современная форма конечно-элементного моделирования - это вычисление на сервере с использованием новых методов математики. Расчетные сервера дали инженерам средство для анализа различных процессов путем математического расчета. Развитие методов моделирования процессов ОМД, позволяет в полуавтоматизированном режиме моделировать различные процессы пластического деформирования, исследовать НДС, температуру и др.

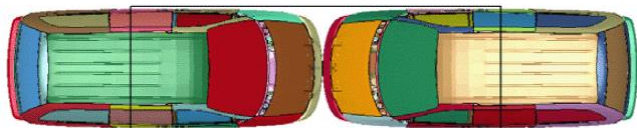
Для решения задач ОМД наиболее эффективным является применение программ математического моделирования, основанных на МКЭ. К таким программам можно отнести LS-DYNA, ANSYS, ABAQUS и др.

Еще одним направлением в применении программы LS-DYNA в машиностроении - применение ее в процессах механообработки, в исследовании резки металла со стружкообразованием [8]. Такой анализ процесс может быть проведен в LS-DYNA разными методами: лагранжевым, ALE, SPH . Процесс может быть исследован при различных параметрах трения, скорости и др. Такие результаты хорошо коррелируют с результатами эксперимента.



## ПРИМЕНЕНИЕ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Одно из основных применений программы LS-DYNA это испытание на crash-test удара и разрушения [9]. В программе LS-DYNA рассчитывают свои автомобили ведущие автомобильные заводы мира.



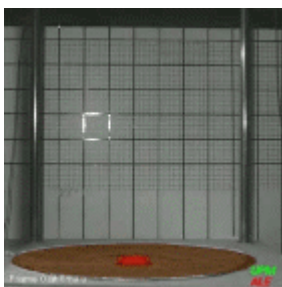
При моделировании краш-тестов могут применяться различные виды манекенов [10].



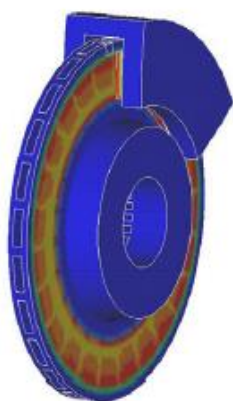
Еще одно применение LS-DYNA - проектирование подушек безопасности [11]. В этом случае используется Ейлеровый подход. В этой программе может рассматриваться весь процесс раскрытия подушки, начиная от начала раскрытия подушки и заканчивая соприкосновением с манекеном, моделируется процесс заполнения газом, раскрытие и закрытие подушки, и поведение манекена.

С применением полученных данных автомобильные технологии и системы безопасности могут развиваться гораздо быстрее. Такой анализ может показать,

что с необходимо делать для снижения повреждения водителя и пассажира при аварии.

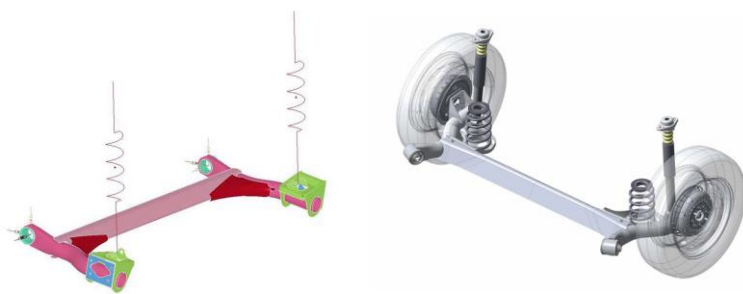


Еще одно направление в автомобилестроении касается процессов теплопередачи при нагреве, для примера, дискового тормоза [12]. Программа может моделировать как стационарные, так и кратковременные быстротекущие задачи тепловой передачи, как в 2D, так и в 3D виде. Процесс тепловой передачи может быть смоделирован и с другими особенностями программы, например, связывания тепло и напряжения или тепло и жидкость. При остановке диска тормоза колеса диск нагревался от силы трения. В частности анализировался процесс коробления диска и причины почему это происходит. Как показал анализ в программе LS-DYNA, причина - это неравномерность нагревания в результате присутствия ребер, действующих как радиатор.

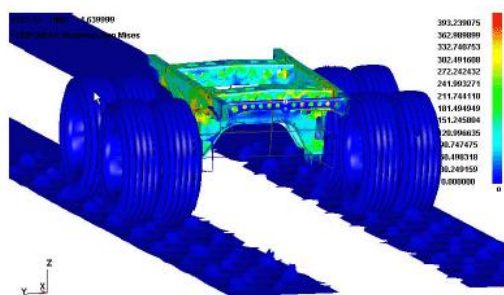


Относительно новое применение LS-DYNA - использование ее в статистических расчетах с использованием Implicit анализа, например, для расчета подвески автомобиля [13]. Программа может использоваться для расчетов на прочность при экстремальных нагрузках автомобиля, при расчете на долговечность, при ускорении и торможении в поворотах, при расчете узлов автомобиля и многих других расчетах.

В качестве выходных параметров может быть выведены данные по энергии, по НДС, силам, скоростям и др. Отмечено, что для таких задач Implicit решатель программы работает в несколько раз быстрее Explicit.



LS-DYNA может использоваться в качестве виртуальной системы для различных транспортных средств [14]. Это применение основано на нелинейном контакте с целью оценки дорожных усилий и поведения долговечности компонентов с дорогой и шинами. До этого такой анализ был невозможен из-за затратного вычислительного процесса. Используя LS-DYNA, могут быть решены задачи поведения долговечности рамы и корпуса, подвески и остальных элементов машины. Программа может дать анализ по НДС в течение времени, предсказать усталостную долговечность и другие характеристики элементов машины.

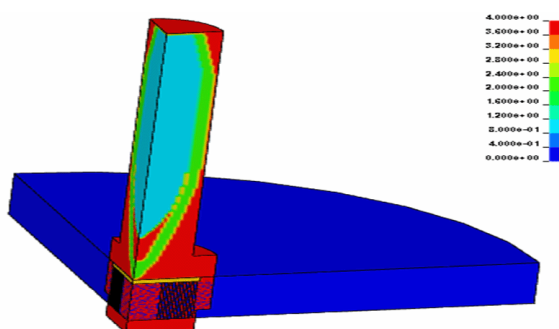


## В задачах УДАРА И РАЗРУШЕНИЯ

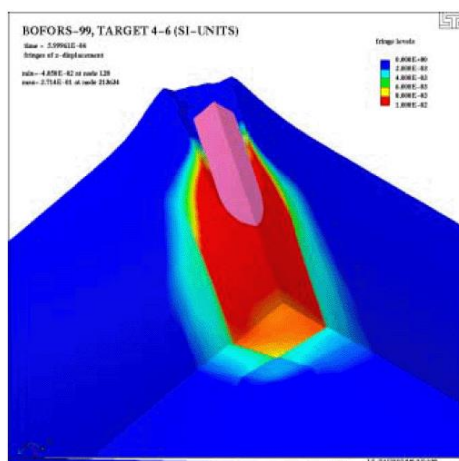
Программа LS-DYNA широко используется для моделирования в расчетах на удар и разрушение.

LS-DYNA широко используется для расчета процессов динамики деформирования и разрушения элементов при быстром нагружении ударника, например, при анализе разрушения бронежилета или взрыва [15].

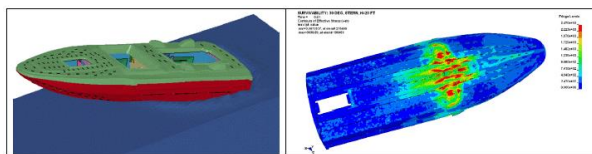
При этом эти элементы может быть исследованы в различных постановках (лагранжевой, эйлеровой); оболочка и сердечник пули, а пространство может быть определено эйлеровым методом.



Другое направление программы LS-DYNA в моделировании проникновения снарядов в бетон [16]. Анализ результатов моделирования, сравнение с теоретическими результатами показывает хорошую сходимость значений. В данном случае оценивалась способность модели бетона определить глубину проникновения. Для исследования бетона использовался стандартный материал 72 "Concrete Damage", при этом применялось лагранжевое решение вместе с разрушением.

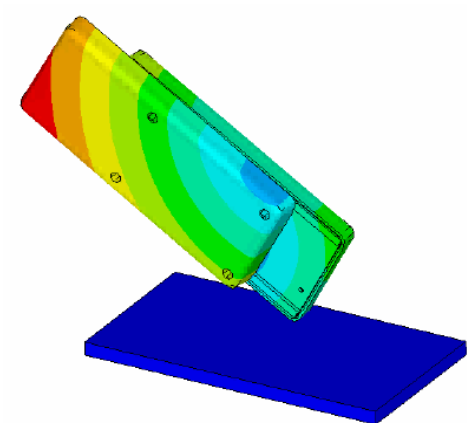


Программа LS-DYNA применялась для оценки безопасности плавательных средств новой конструкции, для примера, судна, корпус которого состоял из полиэтилена [17]. В программе анализировалось структурно-жидкостное моделирование воды и лодки, анализировался удар плавательного средства о воду. Корпус лодки соударялся с водой под различными углами и высотой волны, кроме того был проведен и модальный анализ. Моделирование в программе показало довольно реалистичные формы волн воды. Результаты расчета позволили увидеть критические зоны на корпусе лодки. После корректировки конструкции расчет был выполнен заново. Результаты моделирования показали, что пластиковая лодка может выдерживать волны высотой 1 метр и скоростью 40 узлов без разрушения, в то время как стекловолоконный корпус лодки может выдержать волны воды со скоростью только 30 узлов. Таким образом, результаты моделирования подтвердило возможность применения полиэтилена высокой плотности для применения его для корпуса лодки.

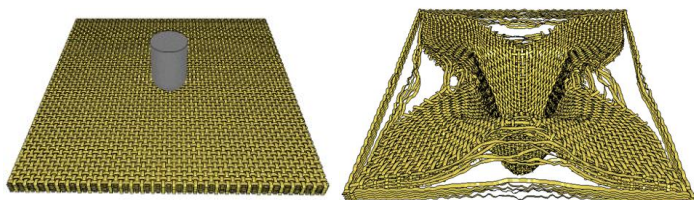
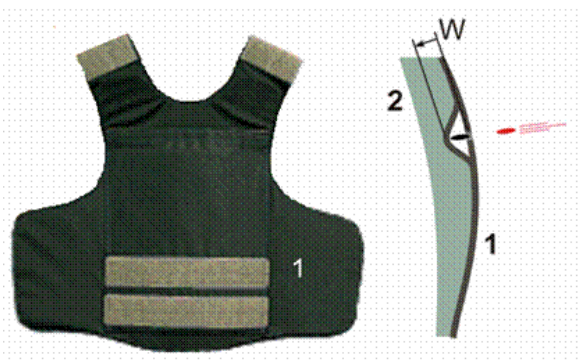


Еще одно распространенное применение LS-DYNA при моделировании падения (drop-test) различных конструкций: сотовых телефонов [18], корпуса летательных аппаратов и др. Моделирование падения (drop-test) позволяет выявить возможности разрушения при исходных параметрах, а также места этого разрушения. Использование данных выводов позволит создать более устойчивые к падению аппараты.



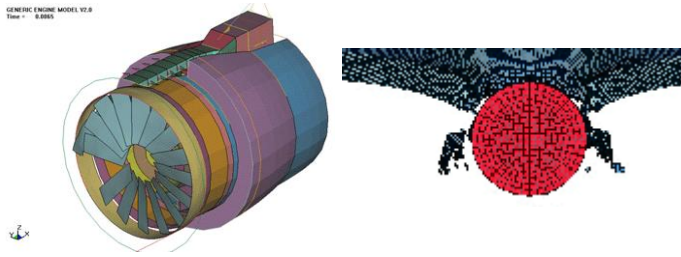


Программа математического моделирования LS-DYNA позволяет проанализировать бронежилеты из различных материалов, в том числе из слоистых пластин при локальном нагружении [19], например от пули. К аналогичным типам расчета могут быть отнесены такие задачи как удар фюзеляжа самолета, удар по корпусу автомобиля и др.

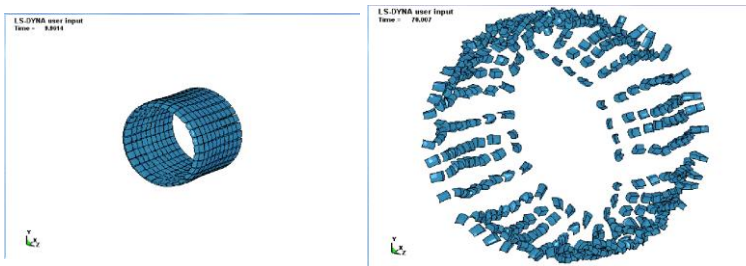


Другое применение программы - в исследовании проникновения для 3D разрушаемых моделях алюминия, например, при разрушении лопатки двигателя летательного аппарата [20].

Программа LS-DYNA позволяет анализировать воздействие между лопатками двигателя и другими предметами, например птицами. Программа имеет большую базу данных для моделирования с применением различных критериев разрушения, что позволяет проводить множество самых различных испытаний.

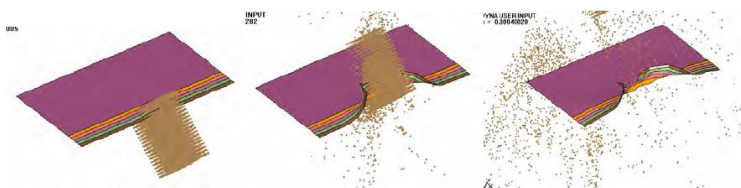


LS-DYNA может применяться для получения характеристики осколочных полей [21] при анализе взрыва гранаты, когда необходимы данные параметров осколочного поля.



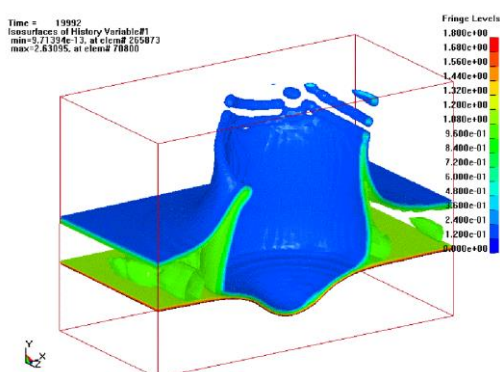
Одно из распространенных применений программы LS-DYNA в авиационных расчетах - моделирование процесса столкновения птицы с лопатками самолета [22].

Для данного исследования могут применяться различные методы: лагранжевый, эйлерово-лагранжевый и SPH методы.



Другое направление применения S-DYNA - применение ее в моделировании падения астероида в океан [23]. В данном случае задаются математические модели материалов грунта, астероида и воды. При этом грунт и астероид были определены гидродинамической моделью материала. Для воды была использована модель материала NULL с зависимости изменения объема от давления.

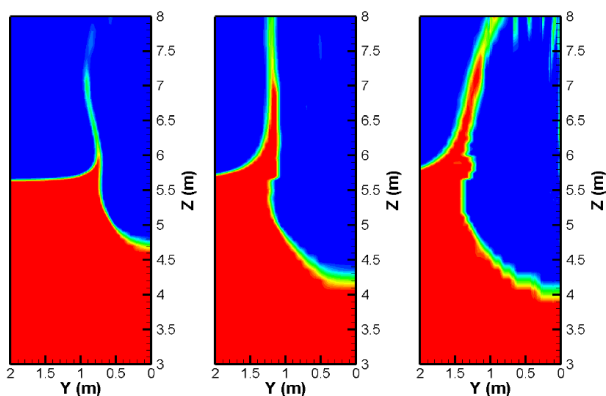
Задача решалась с применением Explicit метода интегрирования. Результаты решения, выполненного в LS-DYNA, показал отличное согласование с другими данными



## В задачах ВЗРЫВА

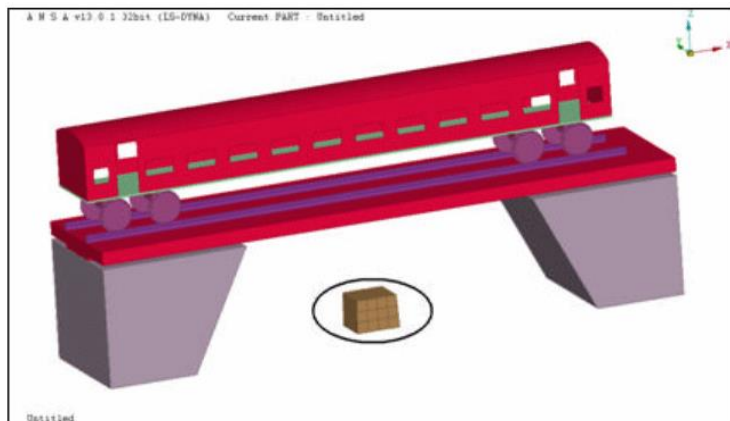
Отдельным направлением в применении LS-DYNA является анализ и расчет взрыва с использованием разнообразных моделей взрывчаток и исследования воздействия взрывной волны и продуктов детонации на ОС.

Часто программу применяют для исследования технологических процессов взрыва в почве, в частности, анализа механизма появления воронки после взрыва [24]. При этом в качестве модели материала почвы могут использоваться разнообразные математические модели.



Программа также может использоваться для моделирования подрывов различных транспортных средств, в т.ч. поездов а различных участках дороги или мостах, а так же в авиации [25]. При этом могут быть исследованы места трещин, может

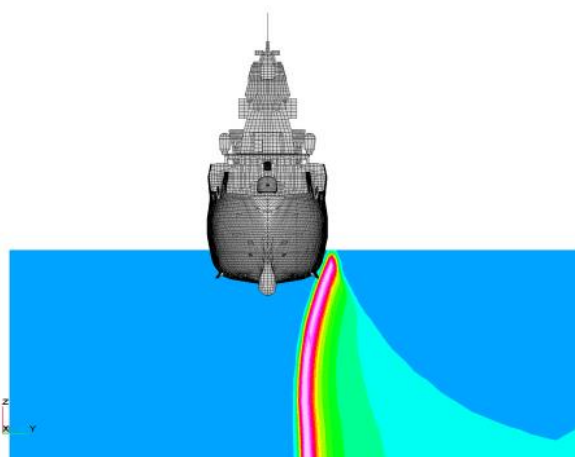
быть проанализирована реакция моста и поезда на взрывное воздействие. По полученным результатам может быть предложены варианты по изменению конструкции как моста так и транспортных средств.



Некоторые исследователи применяют для расчета процесса детонации SPH метод, другие ALE метод. Другой особенностью LS-DYNA является использование карты load\_blast\_enhanced для расчета взрыва, которая не требует выше перечисленных методов. Использование этой карты позволяет уменьшить время расчета задачи до 100 -500 раз.

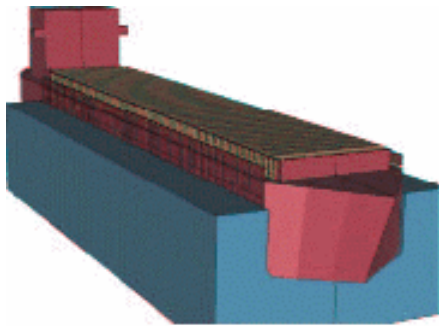
Часто программа LS-DYNA применяется для моделирования воздействия взрыва на различные объекты, например, на корпус корабля [26].

Как правило, взрывное воздействие имеет сложный вид и использование таких расчетов позволяет адекватно разрабатывать большие конструкции, для примера, корабли.



Моделирование взрыва позволяет создать методические материалы для разработки новых безопасных структур, например, танкеров [27] и т.п. Это может касаться как грузовых судов так и пассажирских кораблей, поскольку новые методы разработки, основанные применением программ динамического анализа, являются очень надежными и разработанная конструкция позволит выдержать значительные нагрузки. Цель моделирования при этом случае в предсказании разрушения или появление трещин, возникающих в структуре. В большинстве

случаев критерием разрушения при анализе принимается пластическая деформация. Но в тоже время, эквивалентная деформация не может быть применена, когда разрушение происходит под воздействием в нескольких направлениях.



Программу LS-DYNA также применяют для численного моделирования воздействия взрыва на сооружения в горской черте. Поскольку теоретический расчет в случае исследования в городской застройке не точен и только математическое моделирование в КЭ программах может дать правильные результаты.

1. Test and analysis correlation of foam impact onto space shuttle wing leading edge RCC panel 8. Edwin L. Fasanella, Kare H. Lyle, Jonathan Gabrys. 8 th International LS-DYNA Users Conference .
2. A Summary of the Space Shuttle Columbia Tragedy and the Use of LS-DYNA in the Accident Investigation and Return to Flight Efforts. Matthew Melis and Kelly Carney, Jonathan Gabrys, Edwin L. Fasanella, Karen H. Lyle. 8th International LS-DYNA Users Conference.
3. Virtual reality visualization of realistic weapons effects predicted using ls-dyna. David W. Nicholson, Ricardo F. Moraes, Eduardo Divo, Brian Cahill.
4. LS-DYNA Analysis of a Full-Scale Helicopter Crash Test. Martin S. Annett Structural Dynamics Branch NASA Langley Research Center Hampton , VA 23681 . 11 International LS-DYNA Users Conference .
5. Development of Parachute Simulation Techniques in LS-DYNA. Benjamin Tutt, Richard Charles, Scott Roland, Greg Noetscher. 11 th International LS-DYNA Users Conference .
6. September 11 Pentagon Attack Simulations Using LS-Dyna. Phase I, September 11, 2002 . Mete A. Sozen, Sami A. Kilic and Christoph M. Hoffmann. [www cs.purdue.edu/homes/cmh/simulation/](http://www.cs.purdue.edu/homes/cmh/simulation/)
7. The Use of LS-DYNA to Simulate the Water Landing Characteristics of Space Vehicles. Benjamin A. Tutt, Anthony P. Taylor. 8th International LS-DYNA Users Conference.
8. Prediction of Cutting Forces in Metal Cutting, Using the Finite Element Method, a lagrangian Approach. Morten F. Villumsen, Torben G. Fauerholdt. LS-DYNA Anwenderforum, Bamberg 2008, metallumformung III

9. The performance of 10-million element car model by MPP version of LS-DYNA of Fujitsu PrimePower. Mitsuhiro Makino. 10 th International LS-DYNA user conference .
10. LSTC / NCAC Dummy Model Development Pradeep Mohan, Chung-Kyu Park, Dhafer Marzougui, Cing-Dao Kan, Sarba Guha, Christoph Maurath, Dilip Bhalsod. 11 th 11 International LS-DYNA Users Conference .
11. OOP-Simulation - A tool to design airbags? Current capabilities in numerical simulation. Benno Beesten, Andreas Hirth, Robert Reilink, Rolf Remensperger, Doris Rieger, Gunther Seer.
12. Heat Transfer in LS-DYNA. Arthur B. Shapiro. 5th European LS-DYNA Users Conference.
13. Бабулин А.Ю. Использование LS - DYNA для расчётов подвески со связанными рычагами // Инновационные направления в расчетах прочности: Тез. докл. конф. Стрела (4 окт. - 8 окт.). - Кыштым.
14. Wheel Truck Dynamic and Durability Analysis using Virtual Proving Ground. Ramesh Edara, Shan Shih, Nasser Tamini, Tim Palmer, Arthur Tang. 10th International LS-DYNA Users Conference.
15. Сапожников С.Б., Форенталь М.В. Динамика деформирования и разрушения пластин при высокоскоростном нагружении ударниками со сложной структурой // 2-я Всероссийская конференция пользователей LS-DYNA , 7-8 октября, 2010, Дальняя дача, Россия.
- 16 . Numerical simulations of penetration and perforation of high performance concrete with 75mm steel projectile. Weapons and Protection Division SE-147 25 TUMBA .
17. Drop Test into Water and Wave Impact Simulations of a Novel 7-Meter Plastic Boat with LS-DYNA. Martin Vezina, Arash Firoozrai, SimuTech Group Inc. 550 Chemin du Golf, suite 100 Verdun ( Quebec ), Canada H3E 1A8.
18. Comparison of ANSYS and LS-DYNA for Performing Drop Test Simulation. Rich Bothmann Analysis Services Division Manager IMPACT Engineering Solutions. 2007 - IMPACT Engineering Solutions, Inc.
19. Сапожников С.Б., Долганина Н.Ю. Деформирование и разрушение слоистых тканевых пластин при локальном ударе // 2-я Всероссийская конференция пользователей LS-DYNA , 7-8 октября, 2010, Дальняя дача, Россия.
20. Paul Du Bois, Murat Buyuk, Jeanne He, Steve Kan . Development, implementation and Validation of 3-D Failure Model for Aluminium 2024 for High Speed Impact Applications // 2nd Russian LS-DYNA Users Conference October 7-8, 2010 Dalnaya Dacha, Russia.
21. Комлева Н.В., Лыткин Н.В., Орлов А.Г. Проблемно-ориентированное приложение к постпроцессору ls-dyna для получения характеристических

параметров осколочных полей // 2-я Всероссийская конференция пользователей LS-DYNA , 7-8 октября, 2010, Дальняя дача, Россия.

22. Robust bird-strike modeling using ls-dyna. Carlos alberto huertas-ortecho. University of puerto rico mayaguez campus 2006 .

23. Минаев И.В., Абрамов А.В., Войкина О.В. и др. Математическое моделирование падения астероида в океан // 2-я Всероссийская конференция пользователей LS-DYNA , 7-8 октября, 2010, Дальняя дача, Россия.

24. Numerical Study of Soil Modelling Approaches using LS-DYNA: Part 2. Defence R&D Canada - Valcartier Contract Report DRDC Valcartier CR 2009-164 April 2009.

25. Simulation of explosions in train and bridge applications. Mrityunjaya. R. Y, Trivikram S, Ramesh. 3-rd ANSA and Meta International Conference.

26. Ship shock response & developments in simulation tools. Theo bosman, Ulrich Andelfinger, Wim Trouwborst and Bernd Jost.

27. Design of Crashworthy Ship Structures. Rikard Tornqvist. Technical university of denmark department of mechanical engineering maritime engineering. June 2003.