

Программа LS-DYNA®

**РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ
ПО КЛЮЧЕВЫМ СЛОВАМ**

ТОМ III

Решатели мультифизических задач

**4 июня 2013 года
Дополнение LS-DYNA**

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ 0-2

ВВЕДЕНИЕ 1-1

*CESE 2-1

 *CESE_BOUNDARY_AXISYMMETRIC 2-2

 *CESE_BOUNDARY_FSI 2-4

 *CESE_BOUNDARY_NON_REFLECTIVE 2-6

 *CESE_BOUNDARY_PRESCRIBED 2-8

 *CESE_BOUNDARY_REFLECTIVE 2-11

 *CESE_BOUNDARY_SLIDING 2-13

 *CESE_BOUNDARY_SOLID_WALL 2-15

 *CESE_CONTROL_LIMITER 2-18

 *CESE_CONTROL_MESH_MOV 2-19

 *CESE_CONTROL_SOLVER 2-20

 *CESE_CONTROL_TIMESTEP 2-22

 *CESE_EOS_CAV_HOMOG_EQUILIB 2-23

 *CESE_EOS_IDEAL_GAS 2-25

 *CESE_INITIAL 2-26

 *CESE_INITIAL 2-27

 *CESE_INITIAL_CHEMISTRY 2-28

 *CESE_INITIAL_CHEMISTRY_ELEMENT 2-29

 *CESE_INITIAL_CHEMISTRY_PART 2-31

 *CESE_MAT_GAS 2-35

 *CESE_PART 2-36

*CHEMISTRY 3-1

 *CHEMISTRY_COMPOSITION 3-2

 *CHEMISTRY_CONTROL_0D 3-3

 *CHEMISTRY_CONTROL_1D 3-5

 *CHEMISTRY_CONTROL_FULL 3-7

 *CHEMISTRY_CONTROL_ZND 3-9

 *CHEMISTRY_DET_INITIATION 3-10

 *CHEMISTRY_PATH 3-12

*EM	4-1
*EM_2DAXI	4-3
*EM_BOUNDARY	4-4
*EM_CIRCUIT	4-6
*EM_CIRCUIT_ROGO	4-9
*EM_CONTACT	4-10
*EM_CONTACT_RESISTANCE	4-11
*EM_CONTROL	4-13
*EM_CONTROL_CONTACT	4-14
*EM_CONTROL_SWITCH	4-15
*EM_CONTROL_TIMESTEP	4-16
*EM_EOS_BURGESS	4-17
*EM_EOS_MEADON	4-21
*EM_EOS_PERMEABILITY	4-24
*EM_EOS_TABULATED1	4-25
*EM_EXTERNAL_FIELD	4-26
*EM_MAT_001	4-27
*EM_MAT_002	4-28
*EM_OUTPUT	4-29
*EM_ROTATION_AXIS	4-31
*EM_SOLVER_BEM	4-32
*EM_SOLVER_BEMMAT	4-34
*EM_SOLVER_FEM	4-35
*EM_SOLVER_FEMBEM	4-36
*ICFD	5-1
*ICFD_BOUNDARY_CONJ_HEAT	5-3
*ICFD_BOUNDARY_FREESLIP	5-4
*ICFD_BOUNDARY_FSI	5-5
*ICFD_BOUNDARY_NONSLIP	5-6
*ICFD_BOUNDARY_PRESCRIBED_MOVEMESH	5-7
*ICFD_BOUNDARY_PRESCRIBED_VEL	5-8
*ICFD_BOUNDARY_PRESCRIBED_PRE	5-9
*ICFD_BOUNDARY_FLUX_TEMP	5-10
*ICFD_BOUNDARY_PRESCRIBED_TEMP	5-11
*ICFD_CONTROL_ADAPT	5-12
*ICFD_CONTROL_ADAPT_SIZE	5-13

*ICFD_CONTROL_FSI	5-14
*ICFD_CONTROL_LOAD	5-15
*ICFD_CONTROL_MESH	5-16
*ICFD_CONTROL_MESH_MOV	5-17
*ICFD_CONTROL_OUTPUT	5-18
*ICFD_CONTROL_PARTITION	5-19
*ICFD_CONTROL_SURFMESH	5-20
*ICFD_CONTROL_SPLIT	5-21
*ICFD_CONTROL_TIME	5-22
*ICFD_CONTROL_TURBULENCE	5-23
*ICFD_DATABASE_DRAG	5-25
*ICFD_DATABASE_AVERAGE	5-26
*ICFD_DEFINE_POINT	5-27
*ICFD_DEFINE_NONINERTIAL	5-28
*ICFD_INITIAL	5-29
*ICFD_MAT	5-30
*ICFD_PART	5-32
*ICFD_PART_VOL	5-33
*ICFD_SECTION	5-36
*ICFD_SET_NODE	5-37
*MESH	6-1
*MESH_BL	6-2
*MESH_BL_SYM	6-3
*MESH_EMBEDSHELL	6-4
*MESH_INTERF	6-5
*MESH_SIZE	6-6
*MESH_SIZE_SHAPE	6-7
*MESH_SURFACE_ELEMENT	6-9
*MESH_SURFACE_NODE	6-10
*MESH_VOLUME	6-11
*MESH_VOLUME_ELEMENT	6-12
*MESH_VOLUME_NODE	6-13
*MESH_VOLUME_PART	6-14
*STOCHASTIC	7-1
*STOCHASTIC_SPRAY_PARTICLES	7-2
*STOCHASTIC_TBX_PARTICLES	7-6

*LSO.....	8-1
*LSO_DOMAIN.....	8-2
*LSO_POINT_SET.....	8-4
*LSO_TIME_SEQUENCE.....	8-5

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА ПРОГРАММЫ LS-DYNA

ВВЕДЕНИЕ

В этом “Руководстве...” рассматриваются три основных решателя – соответственно для задач сжимаемой текучей среды, несжимаемой текучей среды и электромагнетизма. Каждый из них обеспечивает связывание с решателем задач механики, реализованным в программе LS-DYNA.

Ключевые слова, представленные в Руководстве, относятся к одной из трех категорий. В первую категорию входят карты, с помощью которых обеспечивается ввод данных в отдельный мультифизический решатель, связанный, в свою очередь, с решателем задач механики. Ко второй категории относятся карты, обеспечивающие подключение к базовым решателям программы. В настоящее время в эту категорию входят два решателя: для решения химических задач и для описания стохастического (вероятностного) поведения частиц. Оба решателя используются совместно с рассматриваемым ниже решателем для сжимаемой текучей среды. В третьей категории собраны карты для вспомогательных средств программы. Одним из этих средств является генератор объемной сетки, который создает четырехгранные элементы на основе поверхностной сетки. Еще один инструмент – это новое средство вывода (для ограниченного набора переменных) результатов работы решателей, приведенных в этом Руководстве. Этот инструмент доступен при использовании карт *LSO.

Решатель CESE – это инструмент для задач сжимаемой текучей среды, в котором используется метод под названием “элемент с законами сохранения/элемент решения” (Conservation Element/Solution Element – CE/SE), первоначально предложенный Чангом из Исследовательского Центра Гленна в составе NASA (Национальное агентство по авиационной и исследованию космического пространства). Этот метод представляет собой новую численную структуру для законов сохранения. Он содержит много нестандартных возможностей, включая унифицированную обработку координат пространства и времени, введение отдельных элементов для учета законов сохранения (CE) и элементов решения (SE), а также новый способ описания ударного фронта без использования подхода Римана. Метод используется для решения многих типов задач текучей среды, таких как движение детонационных волн, взаимодействие ударных и акустических волн, кавитационные явления в жидкости, возникновение сверхзвуковых струй жидкости и истечение химически реагирующих веществ. В программе LS-DYNA этот метод применяется для решения проблем взаимодействия текучей среды с конструкцией (FSI). При этом используются два подхода. В первом решаются уравнения несжимаемой текучей среды с использованием сетки Эйлера, а отклик механической системы определяется для сетки, которая движется сквозь фиксированную сетку элементов CE/SE. Во втором подходе (новом в этой версии программы), сетка элементов CE/SE движется вместе с соответствующими граничными поверхностями механической системы, с которой текучая среда взаимодействует. Второй подход дает более точные результаты для проблем взаимодействия среды с конструкцией (в особенности для граничных слоев). Еще одной новой особенностью решателя CESE является сопряжение процесса теплопередачи в текучей среде с тепловым решателем для твердого тела. Кроме того, возможности решателя CESE расширяют два дополнительных решателя: для химических задач и для описания стохастического (вероятностного) поведения частиц.

Второй решатель (ICFD) предназначен для несжимаемой текучей среды и полностью связан с твердотельным решателем. Такое связывание дает возможность надежного, робастного анализа взаимодействия текучей и твердотельной среды посредством использования явных методов связывания, когда взаимодействие слабое, или неявных методов при сильном взаимодействии. В дополнение к возможности анализа течений со свободной поверхностью реализован алгоритм для двухфазной среды, в котором используется метод Лагранжа отслеживания границ взаимодействия, учитывающий законы сохранения. Доступна также базовая модель турбулентности. Этот решатель – первый в программе LS-DYNA, позволяющий воспользоваться новым генератором объемных сеток. Для построения объемной сетки используется сетка, задаваемая на поверхности текучей среды с помощью соответствующих ключевых слов (*MESH keywords). Кроме того, особенностью этого решателя является автоматическое адаптивное перестроение сетки по мере получения решения для несжимаемого течения. Еще одна важная особенность сеточного генератора касается его способности создавать сетки в приповерхностном слое. Такие анизотропные сетки становятся критической частью расчетной модели, когда требуется определить напряжения сдвига в пограничном слое жидкости. Решатель ICFD также сопряжен с тепловым твердотельным решателем, обеспечивая единый подход к проблеме связанной теплопередачи.

Третий решатель (EM) предназначен для анализа задач электромагнетизма. В этом модуле уравнения Максвелла решаются с использованием аппроксимации для вихревых токов (т. е. для процесса индукции-рассеивания электромагнитной энергии). Это оправдано в тех случаях, когда распространение электромагнитных волн в воздухе (или в вакууме) можно считать мгновенным. Поэтому процесс распространения волн не рассматривается. Основные приложения решателя: магнитная обработка металлов давлением, изгибание или сваривание металлических полос, индукционный нагрев, развальцовка колец и т. д. Решатель EM позволяет учесть наличие источника электрического тока в проводнике и рассчитать связанные с ним магнитные и электрические поля, а также индуцированные (наведённые) токи. Модуль EM связан как с решателем задач механики (силы Лоренца введены в уравнения движения), так и с тепловым решателем (разогрев за счет омического сопротивления задается в виде дополнительного источника тепла). Определяемые решателем EM поля рассчитываются для проводника методом конечных элементов (FEM) и методом граничных элементов (BEM) – для окружающего проводник воздуха или изоляционного материала. Таким образом, построение сетки для воздуха не требуется.

Как указывалось выше, в настоящее время с решателем CESE используются только карты *CHEMISTRY и *STOCHASTIC.

***CESE**

Ключевое слово ***CESE** обеспечивает ввод данных для элементов сохранения Conservation Element и элементов решения Solution Element (CESE), используемых решателем для сжимаемой текучей среды:

- *CESE_BOUNDARY_AXYSYMMETRIC_{OPTION}**
- *CESE_BOUNDARY_FSI_{OPTION}**
- *CESE_BOUNDARY_NON_REFLECTIVE_{OPTION}**
- *CESE_BOUNDARY_PRESCRIBED_{OPTION}**
- *CESE_BOUNDARY_REFLECTIVE_{OPTION}**
- *CESE_BOUNDARY_SOLID_WALL_{OPTION1}_{OPTION2}**
- *CESE_CONRTOL_LIMITER**
- *CESE_CONRTOL_MESH_MOV**
- *CESE_CONRTOL_SOLVER**
- *CESE_CONRTOL_TIMESTEP**
- *CESE_EOS_CAV_HOMOG_EQUILIB**
- *CESE_EOS_IDEAL_GAS**
- *CESE_INITIAL**
- *CESE_INITIAL_{OPTION}**
- *CESE_INITIAL_CHEMISTRY**
- *CESE_INITIAL_CHEMISTRY_ELEMENT**
- *CESE_INITIAL_CHEMISTRY_PART**
- *CESE_INITIAL_CHEMISTRY_SET**
- *CESE_MAT_GAS**
- *CESE_PART**

Обратите внимание, что при выполнении химических расчетов с помощью решателя CESE для инициализации следует использовать не карты **CESE_INITIAL**, а только карты **CESE_INITIAL_CHEMISTRY**.

Дополнительную опцию “**_TITLE**” можно использовать с любым ключевым словом ***CESE**. Если такая опция используется, то строка из 80 символов после первой карты представляет собой заголовок для карт ввода. В данной версии программы LS-DYNA заголовки карт не используются. Добавление заголовков делает более прозрачным назначение входной колоды карт.

*CESE_BOUNDARY_AXISYMMETRIC_OPTION

Доступны следующие опции:

PART

SET

SEGMENT

Цель: задать осесимметричные граничные условия на оси симметрии для особого решателя CESE, в котором используются геометрия с 2D-симметрией.

Для опции PART задается карта:

Карта 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Переменная	SURFPRT							
Тип	I							
По умолчанию	нет							

Для опции SET задается карта:

Карта 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Переменная	SSID							
Тип	I							
По умолчанию	нет							

Для опции SEGMENT задается карта:

Карта 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Переменная	N1	N2	N3	N4				
Тип	I	I	I	I				
По умолчанию	нет	нет	нет	нет				

ПЕРЕМЕННАЯ**ОПИСАНИЕ**

SURFPRT	Идентификатор части поверхности, на которую есть ссылка в картах *MESH_SURFACE_ELEMENT.
SSID	Идентификатор набора сегментов
N1, N2...	Номера узлов, определяющих сегмент

Замечания:

1. Это граничное условие можно использовать только для оси симметрии решателя CESE, в котором используются геометрия с 2D-симметрией.