

ЛИТЕРАТУРА

1. Фот П. А., Алексеевский В. П., Ярош В. В. Диэлектрический датчик импульсного давления.— Приборы и техника эксперимента, 1973, № 2.
2. Степанов Г. В., Астанин В. В. Определение сопротивления материала сдвигу за фронтом плоской ударной волны.— Проблемы прочности, 1976, № 4.
3. Романенко В. И., Степанов Г. В., Астанин В. В. Откольное разрушение упруго-пластического материала в плоских волнах напряжений.— В кн.: Тезисы докладов II Всесоюзного симпозиума по импульсным давлениям. М., 1976.
4. Писарев С. П., Рогозин В. Д. Измерение скорости ударных волн в порошках.— В кн.: Тезисы докладов II Всесоюзного симпозиума по импульсным давлениям. М., 1976.
5. Степанов Г. В. О методике регистрации упругоэластических волн напряжений в твердых телах с помощью диэлектрического датчика.— Проблемы прочности, 1972, № 10.
6. Баканова А. А., Дудолов И. П., Сутулов Ю. П. Ударная сжимаемость пористых вольфрама, молибдена, меди и алюминия в области низких давлений.— ПМТФ, 1974, № 2.
7. Батьков Ю. В., Вишневецкий Е. Д. Аппаратура для измерения импульсных давлений пьезорезистивными датчиками в диапазоне 0,1—20 ГПа.— В кн.: Тезисы докладов II Всесоюзного симпозиума по импульсным давлениям. М., 1976.
8. Батьков Ю. В., Повиков С. А., Синицына Л. М., Чернов А. В. Исследование адиабат расширения оргстекла и текстолита из ударно-сжатого состояния при давлении ~30 кбар.— Механика композитных материалов, 1979, № 2.
9. Иванов А. Г., Повиков С. А. Метод емкостного датчика для регистрации мгновенной скорости движущейся поверхности.— Приборы и техника эксперимента, 1963, № 1.

УДК 531.66 : 539.372

О МИНИМИЗАЦИИ СКАЧКА ЭНТРОПИИ ПРИ СЖАТИИ

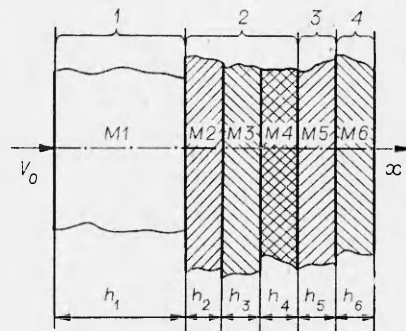
А. П. Саженов

(Томск)

1. Динамические методы воздействия на вещество при их сравнительно легкой осуществимости дают принципиальную возможность приблизиться к изэнтропическому характеру сжатия до высоких давлений [1]. Для этого ударная волна требуемой амплитуды давления трансформируется каким-либо способом в серию последовательно набегающих ударных волн, суммарная амплитуда которых равна начальной.

Одним из методов трансформации импульса сжатия является установка перед сжимаемым веществом слоистой прокладки (см. фигуру, 1 — боек, 2 — прокладка, 3 — контрольный слой, 4 — демпфер, М1 — медь, М2 — железо, М3 — титан, М4 — полиэтилен, М5 — медь, М6 — железо, $h_1 = 5$ см, $h_i = 1$ см, $i = 2, \dots, 6$). Ударная волна, проходя через слоистые материалы, обладающие различными динамическими жесткостями, распадается на серию ударных волн и волн разрежения, взаимодействующих друг с другом и с контактными поверхностями. В результате в контрольный слой преграды проходит изменяющийся во времени импульс сжатия ступенчатой формы.

По сравнению с ударной волной равной амплитуды такой импульс вызовет меньший прирост энтропии в контрольном слое вещества [2].



Изменяя толщины слоев прокладки, можно управлять трансформацией импульса, кумулируя или растягивая его по преграде, и, как следствие, получать больший или меньший прирост энтропии. Максимально возможный для данного набора материалов скачок энтропии обеспечивает наименьший прирост температуры при сжатии и, следовательно, наименьшее снижение прочностных характеристик материала контрольного слоя. Кроме того, предельно расширяется достижимая для динамического нагружения область в координатах температура—давление, что важно для ряда практических приложений [2].

Вариационные методы, обычно применяемые для нахождения оптимума в подобных задачах, вынуждают существенно упрощать модель самого процесса динамического сжатия [3, 4]. При этом координаты оптимума определяются с точностью, не превышающей точность упрощенной модели.

В данной работе применяется подход, не ограничивающий сложность модели и допускающий ее легкую замену. Проводимый ниже расчет плотирует этот подход на примере достаточно сложной модели процесса, для которой традиционные методы оптимизации неприменимы.

2. Рассмотрим одномерную гидродинамическую модель процесса распространения ударной волны по слоистой преграде. Согласно [5], ее математическое описание представляет систему квазилинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Система замыкалась уравнением состояния Осборна [6] и решалась численно с использованием разностной аппроксимации [7]. Процесс рассчитывался до выхода ударной волны на свободную поверхность преграды.

Описанная модель рассматривалась как оптимизируемый объект, имеющий параметры входа h_i (толщины слоев прокладки) и функции выхода $p(x, t)$, $\rho(x, t)$ (давление, плотность).

По функциям выхода рассчитывалось приращение энтропии в каждой ячейке контрольного слоя преграды. Для этого применялось уравнение [8] со степенным потенциалом [9]

$$(2.1) \quad \Delta S \equiv \frac{S - S_0}{c_V} = \ln \left\{ \frac{p - \rho_0 a^2 \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{(2b-1)}}{c_V T_0 \rho_0 \gamma_0 \exp \left[\gamma_0 \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \right]} + 1 \right\},$$

где c_V — теплоемкость; S_0 — начальная энтропия; T_0 — начальная температура; γ_0 — параметр Грюнайзена; a , b — константы материала [8].

Предполагалось, что процесс сжатия можно характеризовать максимальным по времени и по толщине контрольного слоя значением приращения энтропии, т. е. критерий, характеризующий процесс в целом, выбирался в виде

$$(2.2) \quad K = \max_t \left\{ \max_x \{ \Delta S(x, t) \} \right\}.$$

Принимая во внимание (2.1), (2.2), можно считать критерий неявной функцией переменных входа

$$(2.3) \quad K = \varphi(h_i), \quad i = 1, \dots, n.$$

Для нашей задачи установить вид функции (2.3) не представляется возможным, так как система допускает лишь численное решение, а от упрощающих модель предположений мы отказались. Кроме того, характер гиперповерхности K в пространстве переменных h_i неизвестен, число переменных n от задачи к задаче может меняться.

В этих условиях для нахождения оптимума K целесообразно применение нелинейного симплексного метода [10]. Метод был объединен с идеей перевода переменных входа в нормированное пространство [11] и моди-

фицирован так, чтобы допускалось применение ограничений типа неравенств.

3. Перечисленные составные части общей задачи оптимизации запрограммированы в отдельные функционально связанные между собой блоки так, что их совокупность образует

систему, адаптирующуюся в процессе счета к гиперповерхности критерия (2.3). Основные взаимодействующие блоки следующие: оптимизируемый объект—программа численного решения системы (см. п. 2), позволяющая по параметрам входа h_i получать функции выхода $p(x, t)$, $\rho(x, t)$; критериальный блок, рассчитывающий по функциям выхода с помощью (2.1), (2.2) значения K ; оптимизирующий автомат, основу которого составляет алгоритм симплекс-метода [10], позволяющий по ряду предыдущих значений h_i и K рассчитать такие новые параметры входа, которые по логике автомата должны уменьшить значение критерия.

При циклической работе этой системы шаговым образом рассчитывалось минимально возможное значение K и соответствующие ему параметры h_i^* , тем самым для заданной скорости удара и выбранных материалов слоев находились их оптимальные толщины.

4. Для предварительного изучения характера гиперповерхности (2.3) и выявления возможностей алгоритма задача рассчитывалась при условиях, обозначенных на фигуре, и скорости соударения $V_0 = 4$ км/с. Оптимизировались величины h_2, h_3, h_4 .

В результате расчета полученные оптимальные толщины оказались равны

$$h_2^* = 0,20 \text{ см}, \quad h_3^* = 0,24 \text{ см}, \quad h_4^* = 2,36 \text{ см}.$$

Сравнение рассчитанных значений критерия и температуры в контрольном слое М5 для различных вариантов прокладок приведено в табл. 1.

Температура вычислялась по формуле [8]

$$T = T_0 \exp [\gamma_0(1 - \rho/\rho_0) + \Delta S].$$

Из табл. 1 следует, что оптимальная структура существенно снижает прирост энтропии (и температуры) в контрольном слое по сравнению с равномерным распределением толщин и тем более по сравнению с ударом без прокладки.

Для того чтобы исключить определение локального минимума и проверить единственность оптимальной структуры, спуск к оптимуму проводился из различных начальных точек. Результаты приведены в табл. 2. Меньшая точность локализации минимума выбиралась для сокращения вычислительных затрат. Из табл. 2 следует, что поиск оптимума из дополнительных начальных точек приводит практически к одной и той же оптимальной структуре. Это подтверждает глобальность достигнутого минимума.

Т а б л и ц а 2

Начальная точка, см			Точка оптимума, см			K
h_2	h_3	h_4	h_2^*	h_3^*	h_4^*	
1,00	1,00	1,00	0,20±0,05	0,24±0,05	2,36±0,05	0,94
1,00	1,00	0,45	0,21±0,10	0,30±0,10	2,67±0,25	1,01
1,00	0,50	0,25	0,22±0,05	0,40±0,10	2,60±0,22	0,99
0,50	1,00	2,00	0,21±0,15	0,38±0,10	3,07±0,80	1,03

му и однозначную зависимость K от h_i в исследованной области их изменения.

Наблюдавшийся в процессе оптимизации правильный характер траекторий спуска позволяет судить об отсутствии оврагов и особенностей на гиперповерхности (2.3) (по крайней мере, для рассматриваемых начальных условий). Поэтому при небольшом числе слоев в прокладке изложенный подход может быть доведен до упрощенного расчета путем применения в оптимизирующем автомате быстрых и менее трудоемких поисковых методов, использующих гладкость критерия.

Автор выражает благодарность Г. А. Аржанникову, составившему программу оптимизируемого объекта, за помощь в работе.

Поступила 13 III 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Ададунов Г. А. О развитии методов динамического воздействия на вещество.— В кн.: Тезисы докладов II Всесоюзного симпозиума по импульсным давлениям. М., изд. ВНИИФТРИ АН СССР, 1976.
2. Альтшулер Л. В., Дынин Е. А., Свишинский В. А. Гидродинамические методы низкотемпературного сжатия твердого водорода.— Письма в ЖЭТФ, 1973, т. 17, вып. 1.
3. Огарков В. А., Пурьгин И. П., Самылов С. В. Простая модель слоеных систем для получения больших скоростей тел.— В сб.: Детонация. Критические явления. Физико-химические превращения в ударных волнах. Черногловка, 1978.
4. Kaliski S. Rendering the explosion compression isentropic by a «soft» layer effect.— J. Techn. Phys., 1976, vol. 17, N 3.
5. Рождественский Б. Л., Яценко И. П. Системы квазилинейных уравнений. М., 1968.
6. Высокоскоростные ударные явления. М., Мир, 1973.
7. Рихтмайер Р. Д. Разностные методы решения краевых задач. М., ИЛ, 1961.
8. Жданов В. А., Жуков А. В. Термодинамически полные уравнения состояния металлов (твердая фаза).— ПМТФ, 1978, № 5.
9. Щеголев Е. А. Уравнения изотерм твердого тела.— В кн.: Материалы IV научной конференции по математике и механике. Ч. II. Томск, изд. ТГУ, 1974.
10. Бояринов А. И., Кафаров В. В. Методы оптимизации в химической технологии. М., Химия, 1975.
11. Рузинов Л. П. Статистические методы оптимизации химических процессов. М. Химия, 1972.

УДК 537.1 : 546.3 : 531.66

О ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В УПРУГИХ ВОЛНАХ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЯХ

А. М. Злобин, Ю. Г. Кашаев, С. А. Новиков

(Москва)

Исследование ЭДС, возникающей при ударном нагружении твердых тел, как показали уже полученные экспериментальные результаты [1, 2], позволяет изучить широкий круг тонких динамических эффектов: увлечение носителей тока поляризованными фононами, диффузии носителей тока с фронта ударной волны (ФУВ), электронно-инерционный эффект, ударную поляризацию материала за ФУВ и т. д. С другой стороны, измерение электрических сигналов при ударном нагружении твердых тел открывает новые возможности при исследовании ударных взаимодействий и динамических физико-механических свойств материалов [3, 4].

Одним из возможных механизмов генерации ЭДС при ударном нагружении металлов является электронно-инерционный эффект, аналогичный эффекту Толмена—Стюарта [5]. Он заключается в том, что в области ФУВ кристаллическая решетка испытывает как сжатие, так и ускорение, приводящее вследствие инерции носителей тока к возникновению стороннего электрического поля. Послед-