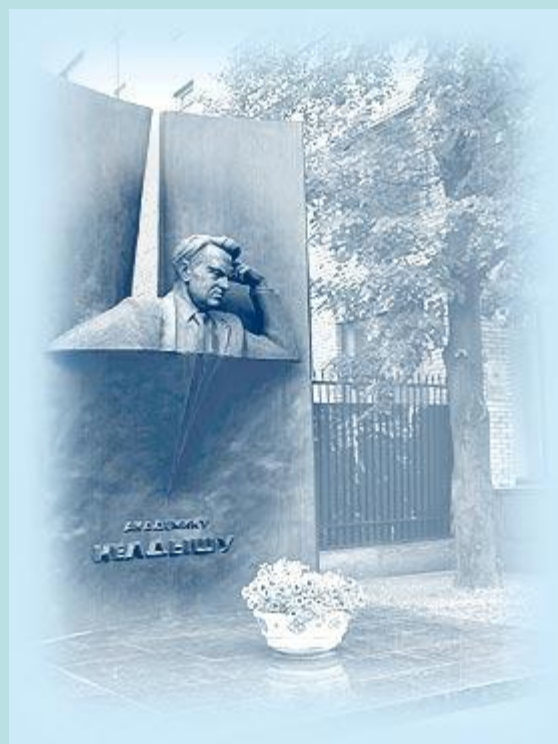


Точечный взрыв в атмосфере

Р.К.Казакова, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН





Конец сороковых годов



Д.Е.Охоцимский



М.В.Келдыш

Начало пятидесятых, «Стекловка» (МИ АН СССР)



Р.К.Казакова

З.П.Власова



«Стекловка - 1950», академик Л.И.Седов

Опыт проведения данной задачи на ЭВМ выявил чрезвычайно высокую эффективность использования автоматических быстродействующих цифровых машин для решения задач такого типа, а также перспективность их использования для решения задач, существенно более сложных и трудоемких.

Для характеристики производительности машины можно указать на то, что *полный расчет **одного шага** по времени с выводом всех результатов на печать занимал около **2 – 3 минут**, в то время как счет **одного шага на руках** занимает около **двух дней работы** двух квалифицированных вычислителей.*

*На проведение **всей задачи** при ее двукратном решении было затрачено около **12 – 14 часов** машинного времени. Проведение **всей задачи на руках** потребовало бы около **года** работы двух вычислителей.*

При выполнении настоящей работы основное время было потрачено на подготовку задачи к проведению ее на машине и на обработку полученных результатов (этот текст того далекого времени ярко иллюстрирует восторг по поводу появления такого вычислительного "чуда").

Первая советская быстродействующая электронно-счетная машина.

50-ые годы

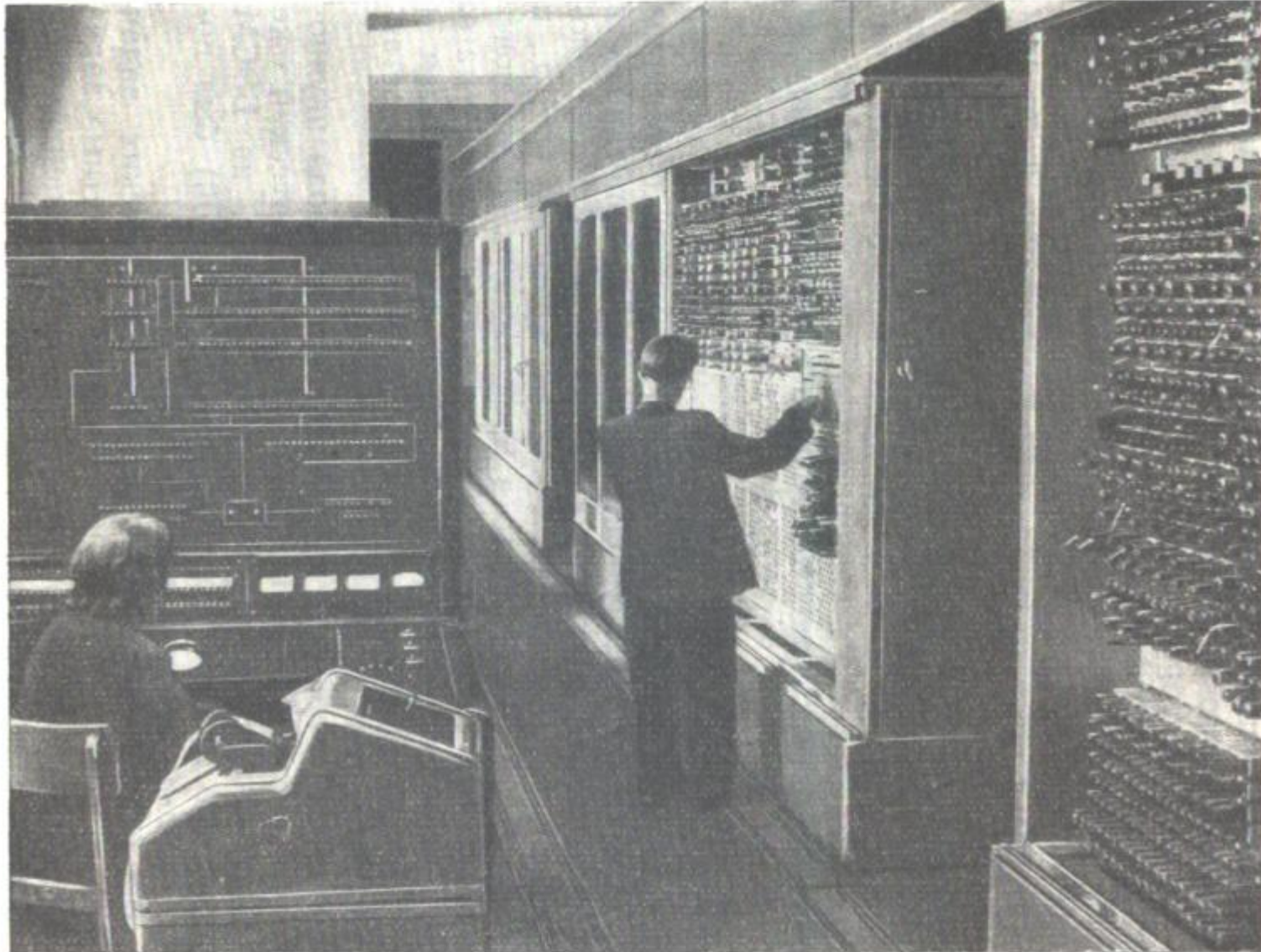


Рис. 1. Общий вид БЭСМ

СОЗДАТЕЛИ ПЕРВЫХ СОВЕТСКИХ БЭСМ



Академик С.А.ЛЕБЕДЕВ (справа) и В.А.МЕЛЬНИКОВ
(Снимок известного фотокорреспондента Е.УМНОВА)

Постановка задачи

Рассматривается нетеплопроводный, лишенный вязкости газ, подчиняющийся уравнению состояния Клапейрона.

Излучение не учитывается. Газ находится в покое. В момент времени $t=0$ происходит взрыв, т.е. мгновенное выделение в некоторой точке пространства конечной энергии E_0 . В результате взрыва образуется ударная волна, отделяющая область возмущенного движения газа от покоящегося газа. Движение предполагается сферически симметричным. *Все характеристики движения газа зависят только от одной геометрической координаты r (расстояние от центра взрыва) и времени t .*

В качестве независимых переменных были взяты лагранжевы координаты t и s , где t - время, прошедшее с момента взрыва, s – координата частицы в момент прохождения через нее ударной волны.

Основными искомыми функциями являются скорость частиц v , давление p , плотность ρ , расстояние от центра взрыва r .

Параметры задачи:

$$E_0, p_0, \rho_0, \gamma = C_p / C_v,$$

где C_p -теплоемкость при постоянном давлении.

C_v -теплоемкость при постоянном объеме.

Расчет ведется с безразмерными координатами: лагранжева координата σ , безразмерные время τ , давление p , плотность ρ , скорость v , эйлера координата ξ .

В качестве стандартного значения энергии взрыва взята энергия

$$E_0 = 8.54 \times 10^{12} \text{ кгм}$$

Значение константы E при выбранном g получается равным

$$E = \alpha E_0 = 1,175 E_0$$

Или в нашем случае

$$E = 10,03 \times 10^{12} \text{ кгм}$$

Величины ρ и r взяты соответствующими стандартным условиям у поверхности Земли

$$\rho_0 = 10321 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$$

$$r_0 = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2 \cdot \text{м}^{-4}$$

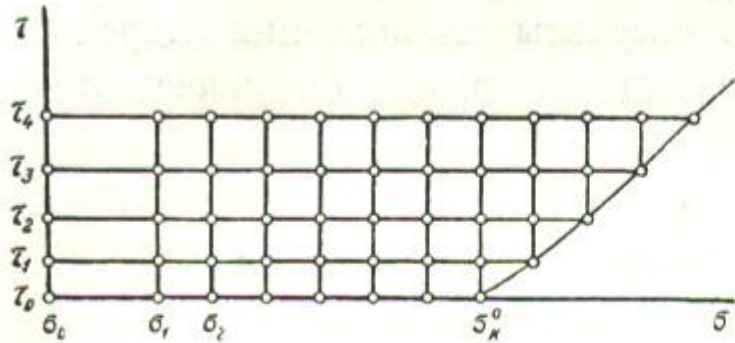
Расчеты были начаты от автомодельного решения при следующих значениях времени, расстояния ударной волны от центра взрыва и давления за фронтом:

$$t_0 = 0,00037119 \quad (t = 0,001280 \text{ сек.}),$$

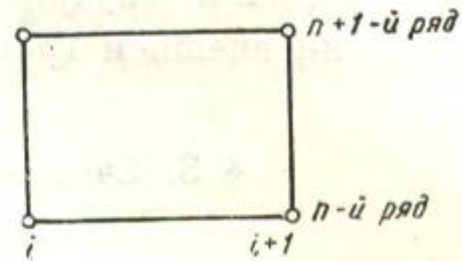
$$x = 0,042448 \quad (r = 42,05 \text{ м}),$$

$$p = 1743,3 \quad (p = 1799 \text{ атм})$$

В основу расчетного метода была положена, с некоторыми изменениями и дополнениями, схема, основанная на **методе сеток**.



Фиг. 1



Фиг. 2

Расчеты проводились в два этапа.

Первый этап был закончен в **конце 1954** года,

второй – в **конце 1955** года. Расчет доведен до перепада давления на ударной волне, равного **1,031** на первом этапе, до **1.005** на втором этапе.

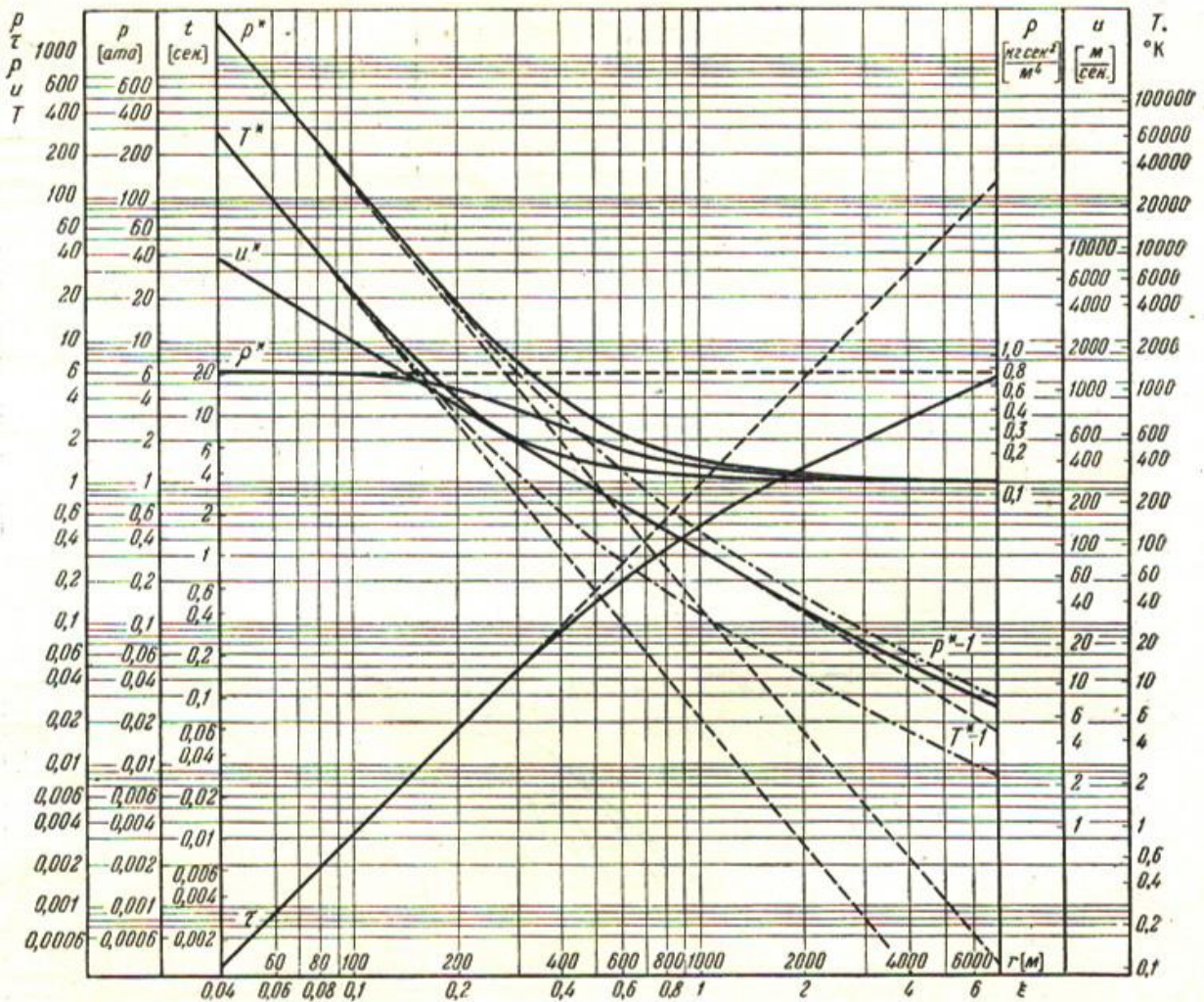
В итоге для задачи точечного взрыва с противодавлением делается ряд заключений. Например для температуры:

В точках, более удаленных от центра взрыва, например, для

$\xi = 0,2962$ (203,4 м) и $\xi = 0,3522$ (348,9 м), после прохождения ударной волны температура несколько понижается за счет понижения давления, затем снова начинает возрастать при прохождении через эти точки более нагретого газа из области центра, и дальнейшее изменение температуры имеет тот же характер, что и для точек вблизи центра.

На больших расстояниях от центра для

$\xi = 0.6460 - 1,938$ (640 – 1920 м) температура газа повышается только в момент прохождения ударной волны и затем постепенно падает. В фазе разрежения она становится меньше наружной температуры. В дальнейшем температура постепенно приближается к температуре газа перед волной.



Фиг. 6. Давление, скорость, плотность и температура за фронтом ударной волны и время в зависимости от положения фронта

На этом графике приведены кривые в логарифмической шкале параметров течения полученные из автомодельного решения (пунктирные линии) и в результате численных расчетов.

Хорошо видно, что автомодельные решения, как и должно быть, представляют собой прямые.

Численные решения, полученные с учетом противодействия на первых, малых временах, совпадают с ними, а затем начинают сильно отличаться, причем качественно. Например, график давления достаточно быстро отклоняется от прямой и выходит на константу (в логарифмической шкале), также как и графики скорости и плотности. В частности, из этих расчетов следует ограниченность возможности применения рассматриваемого аналитического автомодельного решения в условиях учета противодействия.

Рассчитано огромное количество таблиц характеристик ударной волны: распределение давления, скорости частиц и плотности по радиусу для различных моментов времени τ ; изменение давления, скорости частиц, плотности и скорости звука с течением времени на различных расстояниях ξ от центра взрыва и многие другие

Продолжение таблицы 1

τ	φ^*	c	ρ^*	$\rho_{ц}$
0,15478498	0,53615332	1,7863459	2,4925263	0,90752183
0,17338380	0,56881836	1,7269304	2,3185739	0,86325296
0,19257978	0,60154095	1,6766648	2,1760040	0,83111245
0,24075188	0,68006497	1,5838527	1,9225047	0,78788931
0,28279541	0,74537449	1,5262107	1,7744325	0,77671520
0,32624714	0,81084344	1,4817491	1,6629836	0,77986937
0,37087547	0,87613419	1,4463630	1,5766384	0,79243432
0,41649606	0,94159634	1,4176835	1,5081888	0,81090524
0,46296120	1,0068640	1,3940443	1,4527996	0,83265022
0,54835908	1,1375785	1,3607171	1,3692012	0,87839736
0,65517718	1,2682835	1,3309649	1,3095564	0,91923625
0,72426297	1,3596500	1,3163134	1,2772341	0,94230499
0,82415753	1,4902189	1,2994275	1,2404266	0,96695357
0,92521260	1,6207801	1,2860387	1,2115796	0,98311912
1,0272174	1,7513436	1,2751971	1,1884397	0,99288293
1,1300115	1,8819135	1,2662619	1,1695159	0,99826189
1,3374959	2,1430754	1,2524510	1,1405280	1,0019609
1,4420092	2,2736583	1,2470215	1,1292188	1,0021915
1,6944759	2,5870953	1,2367219	1,1079008	1,0016508
1,9062747	2,8483764	1,2302327	1,0945604	1,0011213
2,1190714	3,1096352	1,2250545	1,0839654	1,0007686

Основным результатом проведенной работы явилось
утверждение:

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ (В ДАННОМ СЛУЧАЕ МЕХАНИКИ
СПЛОШНОЙ СРЕДЫ) МОЖНО ПРОДУКТИВНО РЕШАТЬ С
ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ, ПРИМЕНЯЯ ЭВМ.
(Это банальное по нынешним временам утверждение было, в
общем-то, революционным для того времени).

В заключение хотелось бы привести слова крупнейшего ученого атомщика Героя Социалистического Труда Льва Петровича Феокистова: «...если кто-то...вознамерится сделать атомную бомбу...мой вам совет, искреннее пожелание человека, который все это прошел: **пусть ни ум ваш, ни руки не затронет эта тема**».