

УДК 624.131

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФОРМЫ КОНТАКТА ВЗОРВАННОГО МАССИВА С ЗАЖИМАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Камалян С. Р., Камалян Р. З.

TO THE DETERMINATION OF THE CONTACT'S FORMS OF EXPLODED MASS WITH  
THE CLAMPING MEDIUM

Kamalyan S. R. \*, Kamalyan R. Z. \*\*

\* Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia

\*\* Academy of marketing and socially-information technologies, Krasnodar, 350010, Russia  
e-mail: kasarub@gmail.com

*Abstract.* Previously authors have considered the problem of the explosion of a flat charge of explosive substance (ES) in a two-layer medium. The flat shape of the charge is achieved by using the system of the parallel-hole charges, which parameters are uniform (system parameters cylindrical charges are uniform in the given sphere, if they have the same diameter, density and type of explosive charge, and their axes are parallel to each other, the boundary between the medium and are from this boundary at equal distances), and the displacement of the contact points of the array with the clamping medium is the same.

In this paper we have considered the problem of the explosion of the fan charges system. In this case, the parameters are already heterogeneous as the distance between the wells is continuously changing.

It is noted that this heterogeneity of charge gets to uneven displacement of the contact; therefore, there has been no uniaxial strain of the clamping medium state. However, assuming that in this case, in the volume of the clamping medium we can distinguish the horizontal bars, in which there is a uniaxial deformation of the medium and we can neglect effects associated with the relative displacement of the rods, in particular – dilatancy, it becomes possible to apply the previously found solutions and to discover the form of the contact's section after the explosion of charges' heterogeneous system for determination the displacement of the contact of every rod.

Numerical studies showed that the greater the charge heterogeneity, the more different the design of the actual contact form.

*Keywords:* clamping medium, wave load, displacement, inhomogeneous, contact, charge.

В [1] представлены результаты модельных взрывов в двухслойной среде. Конкретным примером служило взрывание взрывчатых веществ (ВВ) в зажимающей среде (ЗС) при разработке месторождений как открытым, так и подземным способами.

Основной целью моделирования было качественное изучение смещений среды в результате динамического воздействия на нее массива. От этого процесса зависят размеры и форма разрушенной взрывом секции массива и результаты ее выпуска, а также уплотнение зажимающей среды [2]. Теоретическому исследованию последней посвящена работа [3]. В ней задача сведена к рассмотрению удара жесткого слоя по полупространству жесткопластической упрочняющейся среды. Но если

роль жесткого слоя играет взорванный массив, это означает, что в [2] пренебрегали взаимодействием массива со средой в тот период, когда в ней существовала волна нагрузки. В отличие от [3], в [4, 5] был рассмотрен процесс разгона массива и образование в уплотняющейся среде волны нагрузки. При этом модель массива и характеристики процесса его метания взяты из [3]. Рассмотрен только интервал времени, в который в среде существует римановская волна нагрузки. Найдена координата Лагранжа места возникновения ударной волны из простой волны нагрузки. В предположении, что поведение среды описывается моделью Прандтля с жесткой разгрузкой, оценен вклад волн нагрузки и разгрузки в величину остаточного смещения контакта

Камалян Самвел Рубенович, доцент, канд. физ.-мат.наук, доцент кафедры математического моделирования Кубанского государственного университета; e-mail: kasarub@gmail.com.

Камалян Рубен Заенович, профессор, д-р техн. наук, профессор кафедры математики и вычислительной техники Академии маркетинга и социально-информационных технологий; e-mail: karuzav@mail.ru.

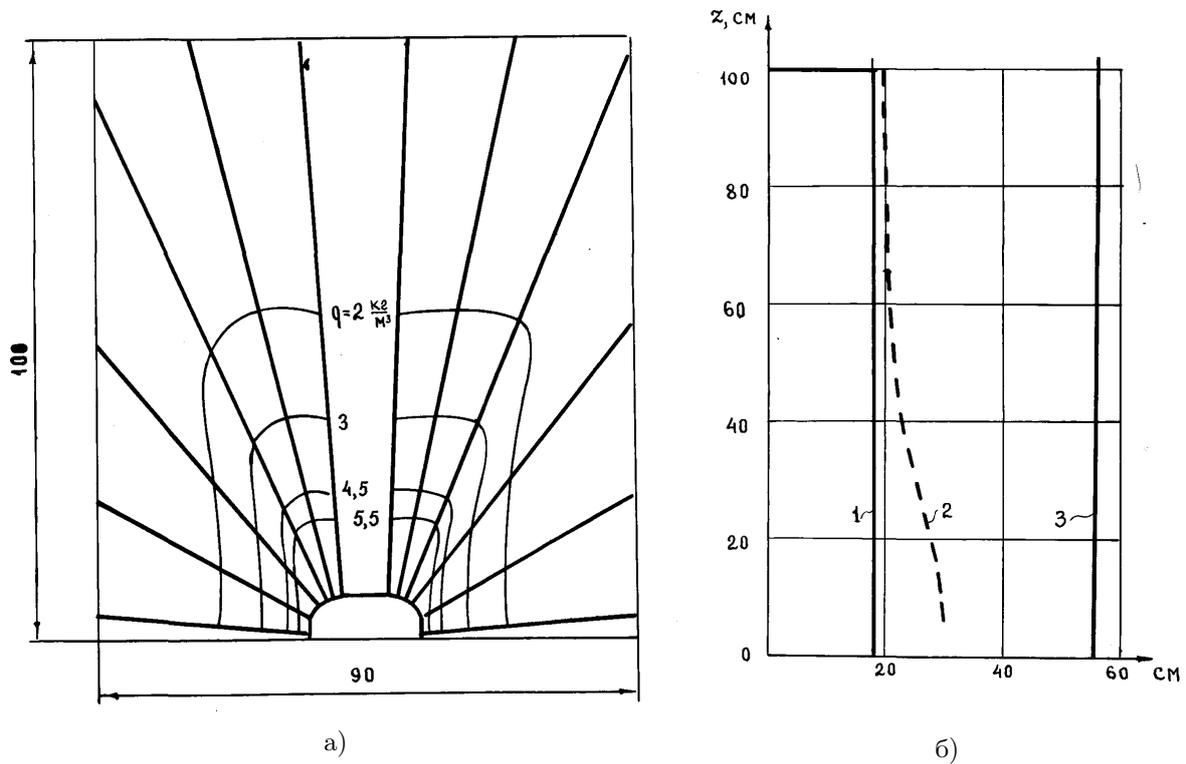


Рис. 1. а) веер модели с линиями уровней  $q$ ; б) смещение контакта массива со средой; 1 — положение контакта до взрыва; 2 — то же после взрыва; 3 — жесткая стенка, ограничивающая слой среды

полупространств. При численных значениях параметров, характерных для условий подземной разработки, вклад волны нагрузки составил примерно шесть процентов [5].

Отмеченные выше результаты получены при взрыве системы параллельных скважинных зарядов, параметры которых однородны, смещение всех точек контакта массива с ЗС одинаково.

В случае системы веерных зарядов (рис. 1а) их параметры уже неоднородны (параметры системы цилиндрических зарядов будем считать однородным в данной области, если равны диаметры, плотности и тип ВВ зарядов, а их оси параллельны друг другу, границе раздела сред и находятся от этой границы на равных расстояниях), так как непрерывно меняется расстояние между скважинами. Если пренебречь размерами буровой выработки в сравнении с длиной скважин  $l_s$ , то это расстояние можно представить

$$a_z = \frac{az}{l_s}, \quad 0 < z \leq l_s. \quad (1)$$

Как видно из рис. 1б, такая неоднородность заряда ведет к неравномерному смещению контакта, поэтому уже не имеет места одноосное деформированное состояние ЗС. Но

допустим, что и в этом случае в объеме ЗС можно выделить горизонтальные стержни, в которых происходит одноосное деформирование среды, и можно пренебречь эффектами, связанными с относительным смещением стержней, в частности — дилатансией. Тогда для определения смещения контакта каждого из стержней можно применить полученные в [3] решения и найти форму контакта секции после взрыва неоднородной системы зарядов. При этом с увеличением неоднородности заряда расчетная форма контакта все сильнее отличается от действительной.

Найдем, например, форму контакта при взрыве системы веерных зарядов. Для этого воспользуемся выражением для скорости метаемого массива, полученного в [3]

$$V_0 = W^{-1}\Psi^{1/2}, \quad (2)$$

$$\Psi = \frac{2SP_0[1 - (1 + yW/S)^{1-\gamma}]}{\rho(\gamma - 1)},$$

где  $P_0$  — давление продуктов детонации,  $S$  — площадь поперечного сечения цилиндрической полости в начале метания,  $\gamma$  — показатель адиабаты продуктов детонации,  $y$  — перемещение метаемого массива,  $\rho$  — плотность

Таблица 1. Таблица значений  $\varphi_2(\dots)$ ,  $\varepsilon_a = 0,7$

$\varepsilon_0(0)$	$\varphi_2 \dots$	
	$\varepsilon_- = 0,02$	$\varepsilon_- = 0,05$
0,68	46,53	–
0,58	14,634	–
0,50	8,92	4,83
0,42	5,693	3,05
0,34	3,566	1,885
0,28	2,406	1,254
0,24	1,785	0,920
0,20	1,268	0,644
0,16	0,841	0,420
0,12	0,500	0,243
0,08	0,242	0,113
0,06	0,144	0,066
0,04	0,070	0,030
0,00	0,000	0,000

массива,  $W$  — толщина взорванного слоя. В (2) принято, что  $W = a$ , где  $a$  — расстояние между скважинами в ряду.

Для того чтобы вычислить скорость удара по высоте взорванного слоя, заменим  $W^{-1}$  на  $(aW)^{-1/2}$  и  $W$  на  $a$  и будем изменять расстояние между зарядами по формуле (1). Так как импульс удара теперь не остается постоянным, то вместо формулы (17) из [3]

$$\bar{U} = U \rho_0 \Theta / I = (\Theta / V_0) \varphi_n(V_0 / \Theta, \varepsilon_-, \varepsilon_a)$$

будет удобнее воспользоваться следующим безразмерным выражением

$$U \rho_0 V_0 / I = \varphi_n(V_0 / \Theta, \varepsilon_-, \varepsilon_a),$$

где  $U$  — смещение поверхности по которой нанесен удар,  $I$  — удельный импульс удара.

Значения функции  $\varphi_n(\dots)$ , определенные численным интегрированием для  $n = 2$ , представлены в табл. 1.

Зная величины  $V_0(a_z)$  и учитывая, что согласно [3] из условия

$$v_0 = -\Theta[\varepsilon_0(\varepsilon^n - \varepsilon_-^n) / \varepsilon_b]^{1/2}, \quad (3)$$

$$v_0(0) = V_0, \quad \varepsilon_0(0) = \varepsilon_0(V_0 / \Theta),$$

найдем из таблицы значения функции  $\varphi_2(\dots)$  при  $\varepsilon_- = 0,05$ . Для остальных параметров примем:  $a = 5$  м,  $W = 0,7$  и  $2,08$  м,  $d_S = 0,105$  м,  $l_S = 2,0$  м,  $\Theta = 274$  м/с.

На рис. 2 представлена расчетная форма контакта в безразмерных переменных  $\bar{z} = z/l_S$ ,  $\varphi_2(\dots)$

С увеличением  $W$  при  $a = \text{const}$  кривизна контакта в точках с равными  $\bar{z}$  возрастает, а вся линия контакта нелинейно сдвигается в сторону больших  $\varphi_2(\dots)$ . Для линии  $\varphi_2 = \varphi_2(\bar{z})$  характерно, что

$$\frac{d^2 \varphi_2}{d\bar{z}^2} > 0.$$

Это не соответствует рис. 1б, что можно объяснить деформированием на модели слоя ЗС, ограниченного жесткой стенкой.

### Выводы

1. Неоднородность заряда ВВ ведет к неравномерному смещению контакта.

2. С увеличением неоднородности заряда, расчетная форма контакта все сильнее отличается от действительной.

### Литература

1. Камалян Р.З., Камалян С.Р. Некоторые результаты исследования взрывов цилиндрических зарядов в двухслойной среде // Известия Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 1. С. 24–29.
2. Камалян Р.З., Королев К.Д. О математическом моделировании и оптимизации геометрических параметров выпуска руды // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1990. № 3. С. 102–107.
3. Королев К.Д. К ударному уплотнению грунтов и сыпучих тел // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1984. № 1. С. 24–31.

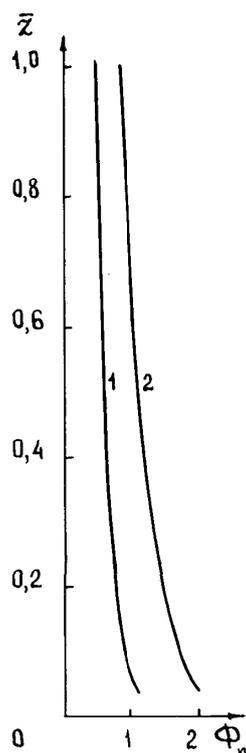


Рис. 2. Расчетная форма контакта

4. Камалян Р.З., Камалян С.Р. О взрыве плоского заряда в двухслойной среде // Обзорные прикладной и промышленной математики. 2001. Т. 8. Вып. 1. С. 203.
5. Камалян С.Р., Камалян Р.З. К задаче о взрыве плоского заряда в двухслойной среде // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2015. № 4. С. 43–48.

### References

1. Kamalyan R.Z., Kamalyan S.R. Nekotorye rezultaty issledovaniya vzryvov tsilindricheskikh zaryadov v dvukhsloynoy srede]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki* [Proc. of the Universities. North-Caucasian region. Natural Sciences], 2015, no. 1, pp. 24–29. (In Russian)
2. Kamalyan R.Z., Korolev K.D. O matematicheskom modelirovani i optimizatsii geometricheskikh parametrov vypuska rudy [Mathematical modeling and optimization of the geometric parameters of the ore release]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mining], 1990, no. 3, pp. 102–107. (In Russian)
3. Korolev K.D. K udarnomu uplotneniyu grunтов i sypuchikh tel [To the shock compaction of soils and granular materials]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mining], 1984, no. 1, pp. 24–31. (In Russian)
4. Kamalyan R.Z., Kamalyan S.R. O vzryve ploskogo zaryada v dvukhsloynoy srede [About the explosion of a flat charge in a two-layer medium]. *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki* [Review of Applied and Industrial Mathematics], 2001, vol. 8, iss. 1, p. 203. (In Russian)
5. Kamalyan S.R., Kamalyan R.Z. K zadache o vzryve ploskogo zaryada v dvukhsloynoy srede [On the problem of the explosion of a flat charge in a two-layer medium]. *Ekologicheskyy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2015, no. 4, pp. 43–48. (In Russian)