

## К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТРОТИЛОВОГО ЭКВИВАЛЕНТА ВЗРЫВА ЗАРЯДА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ\*

С. Н. Точилин<sup>1</sup>, В. Д. Гаврюшова<sup>2</sup>, С. С. Басакина<sup>3</sup>, П. В. Комиссаров<sup>4</sup>, М. А. Силакова<sup>5</sup>

**Аннотация:** Рассмотрена задача определения тротилового эквивалента (ТЭ) взрыва для цилиндрических зарядов с отношениями высоты ( $L$ ) к радиусу ( $R$ )  $L/R = 2, 3$  и  $4$ . Проведено численное моделирование распространения ударных волн при наземных взрывах вертикальных цилиндрических зарядов тротила, по результатам которого получены аналитические формулы зависимостей давления на фронте ударной волны от приведенного расстояния. Результаты расчета верифицированы экспериментальными данными. Установлено, что ТЭ цилиндрического заряда тротила не постоянен во всем диапазоне расстояний и монотонно уменьшается с  $2$  до  $0,8$ . Проведена оценка погрешностей, возникающих при различной плотности расчетной сетки. Определены оптимальные размеры расчетной ячейки для разных уровней давления во фронте воздушной ударной волны (ВУВ), обеспечивающие достаточную точность расчетов.

**Ключевые слова:** тротильный эквивалент; избыточное давление во фронте воздушной ударной волны; сферические заряды; цилиндрические заряды; погрешность измерения; численное моделирование

DOI: 10.30826/CE25180312

EDN: LOBTFU

### Литература

1. Андреев С. Г., Бабкин А. В., Баум Ф. А. и др. 2002. Физика взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. — 3-е изд. — М.: Физматлит, 2002. Т. 2. 656 с.
2. Гельфанд Б. Е., М. В. Сильников. Баротермическое действие взрывов. — СПб.: Астерион, 2006. 658 с.
3. Дубнов Л. В., Н. С. Бахаревиц, А. И. Романов. Промышленные взрывчатые вещества. — 3-е изд. — М.: Недра, 1988. 358 с.
4. Guerke G., Scheklinski-Giueck G. Blast parameters from cylindrical charges detonated on the surface of the ground // Minutes of the 20th Explosives Safety Seminar. — Norfolk, VA, USA, 1982. Vol. 1. P. 87–92.
5. Unified facilities criteria 3-340-02. Structures to resist the effects of accidental explosions. — Washington, D.C., USA: Naval Facilities Engineering Command, 2008. 1943 p.
6. Селиванов В. В. Численная оценка влияния формы ВВ на параметры воздушных ударных волн // Физика горения и взрыва, 1985. Т. 4. С. 93–98.
7. Adamic V., Vagenknecht J., Vavra P., Trzeinski W. A. Effect of TNT charges orientation on generated air blast waves. Numerical simulation using LS-Dyna // 7th Seminar “New Trends in Research of Energetic Materials” Proceedings. — Pardubice: University of Pardubice, 2004. P. 380–389.
8. Sherkar P., Whittaker A. S. Modeling the effects of detonation of high explosives to inform blast-resistant design. — Buffalo, NY, USA: University at Buffalo, State University of New York, 2010. 236 p.
9. Knock C., Nigel D. Blast waves from cylindrical charges // Shock Waves, 2013. Vol. 23. P. 337–343.
10. Gao Chu, Kong Xiang-zhen, Fang Qin, Hong Jian, Wang Yin. Numerical investigation on free air blast loads generated from center-initiated cylindrical charges with varied aspect ratio in arbitrary orientation // Defence Technology, 2022. Vol. 18. No. 9. P. 1662–1678. doi: 10.1016/j.dt.2021.07.013.
11. Fan Yi, Chen Li, Li Zhan, Xiang Heng-bo, Fang Qin. Modeling the blast load induced by a close-in explosion considering cylindrical charge parameters // Defence Technology, 2023. Vol. 24. P. 83–108. doi: 10.1016/j.dt.2022.02.005.
12. Кобылкин И. Ф., Селиванов В. В., Соловьёв В. С., Сысоев Н. Н. 2004. Ударные и детонационные волны. Методы исследования. — М.: Физматлит. 376 с.

\* Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований РФ «Химическая физика окисления, горения и взрыва», регистрационный № 1024040200065-4.

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, nordica06@rambler.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, varvara.gavryushova@yandex.ru

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, basakina.s@mail.ru

<sup>4</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, komissarov@chph.ras.ru

<sup>5</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, silakova@yandex.ru

13. *Larcher M.* Simulation of the effects of an air blast wave. — Ispra: Joint Research Centre. 2007. 86 p.
14. *Valcartier A., Nguyen-Dang T. V.* High explosive simulation using arbitrary Lagrangian–Eulerian formulation. — Quebec: Defence Research and Development Canada — Valcartier, 2008. 34 p.
15. *Shi Y., Li Z., Hao H.* Mesh size effect in numerical simulation of blast wave propagation and interaction with structures // Transactions Tianjin University, 2008. Vol. 14. No. 6. P. 396–402. doi: 10.1007/S12209-008-0068-9.
16. *Rigby S. E., Osborne C., Langdon G. S., Cooke S. B., Pope D. J.* Spherical equivalence of cylindrical explosives: Effect of charge shape on deflection of blast loaded plates // Int. J. Impact Eng., 2021. Vol. 155. No. 6. P. 103892. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2021.103892.

*Поступила в редакцию 11.04.2024*

*После доработки 15.04.2025*

*Принята к публикации 21.04.2025*