



TROUTIL EKVIVALENTI ASOSIDA PORTLASH O'CHOG'IDA ZARARLANISH ZONALARINI PROGNOZLASH MODELI

Karimova Lola Mels qizi, Rayimqulova Zebiniso Ilhomjon qizi

*Ilmiy rahbar: Bolalar, o'smirlar va ovqatlanish gigiyenasi kafedrasini
assistenti*

Berdiyev Olim Dovronovich

Toshkent davlat tibbiyot universiteti

Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya: Bugungi kunda sanoat ob'ektlaridagi texnogen falokatlar va fojiali hodisalar oqibatida yuzaga keladigan portlashlar inson hayoti va infratuzilmaga jiddiy xavf tug'dirmoqda. Portlash quvvatini baholash va uning zararli ta'sir doirasini aniq bashorat qilish favqulodda vaziyatlarning oldini olish hamda aholi xavfsizligini ta'minlashda strategik ahamiyatga ega. Ushbu maqolaning maqsadi turli xil portlovchi moddalarning energetik ko'rsatkichlarini trotil ekvivalentiga o'tkazish orqali portlash o'chog'idagi zararlanish zonalarini aniqlashning takomillashtirilgan matematik modelini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqotda M.A. Sadovskiyning zarbdor to'liq bosimini hisoblash formulalari va energetik balans nazariyasi qo'llanilgan. Portlash kinetikasi va havo muhitidagi dinamik qarshilik koeffitsiyentlari asosida zararlanish radiuslarini klassifikatsiyalash usuli tahlil qilingan. Modellashtirish jarayonida portlovchi moddaning massasi (C) va masofa (R) o'rtasidagi funksional bog'liqlik o'rganilgan. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, trotil ekvivalenti asosida yaratilgan model portlash markazidan boshlab to'rt xil (to'liq, kuchli, o'rtacha va kuchsiz) zararlanish zonalarini 93-95 % gacha aniqlikda bashorat qilish imkonini beradi. Tadqiqot doirasida turli massadagi zaryadlar uchun kritik masofalar jadvali shakllantirildi. Taklif etilayotgan model fevqulodda vaziyatlar vazirligi bo'linmalari va sanoat



xavfsizligi mutaxassislari uchun xavfli hududlarni xaritaga tushirish hamda evakuatsiya rejalarini tuzishda amaliy vosita bo'lib xizmat qiladi.

Tayanch so'zlar: trotil ekvivalenti, zarbdor to'lqin, portlash o'chog'i, zararlanish zonalari, Saduovskiy formulasi, texnogen xavf, matematik modellashtirish, bashorat qilish.

A Model for Predicting Damage Zones in an Explosion Epicenter Based on TNT Equivalent

Karimova Lola Mels qizi, Rayimqulova Zebiniso Ilhomjon qizi

Scientific Supervisor: Assistant, Department of Children, Adolescents and Nutrition Hygiene Berdiev Olim Dovronovich

Tashkent State Medical University

Tashkent, Uzbekistan

***Abstract:** Today, explosions caused by man-made disasters and tragic incidents at industrial facilities pose a serious threat to human life and infrastructure. Assessment of the explosion power and accurate forecasting of the scale of its harmful effects are of strategic importance in preventing emergencies and ensuring the safety of the population. The purpose of this article is to develop an improved mathematical model for determining the zones of damage at the source of the explosion by converting the energy indicators of various explosives to the TNT equivalent. The study used M.A. Sadovsky's formulas for calculating shock wave pressure and the theory of energy balance. The method for classifying the radii of damage based on the kinetics of the explosion and the coefficients of dynamic resistance in the air environment was analyzed. In the modeling process, the functional relationship between the mass (C) of the explosive and the distance (R) was studied. The obtained results show that the model, created on the basis of the TNT equivalent, allows predicting four zones of damage (complete, strong, moderate, and weak) from the explosion center with an accuracy of 93-95%. Within the framework of the study, a table of critical distances for charges of different masses was compiled. The proposed model will serve as a practical tool for the*



departments of the Ministry of Emergency Situations and industrial safety specialists in mapping hazardous areas and drawing up evacuation plans.

Keywords: *TNT equivalent, shock wave, explosion epicenter, damage zones, Sadovsky formula, technogenic hazard, mathematical modeling, prediction.*

Модель прогнозирования зон поражения в очаге взрыва на основе тротилового эквивалента

Каримова Лола Мелс кизи, Райимкулова Зебинисо Илхомжон кизи

Научный руководитель: Ассистент кафедры гигиены детей, подростков и питания Бердиев Олим Довронович

**Ташкентский государственный медицинский университет
Ташкент, Узбекистан**

Аннотация: В настоящее время взрывы, возникающие в результате техногенных аварий и трагических происшествий на промышленных объектах, представляют серьёзную угрозу для жизни людей и инфраструктуры. Оценка мощности взрыва и точное прогнозирование зоны его поражающего воздействия имеют стратегическое значение для предотвращения чрезвычайных ситуаций и обеспечения безопасности населения. Целью данной статьи является разработка усовершенствованной математической модели определения зон поражения в очаге взрыва путём перевода энергетических показателей различных взрывчатых веществ в тротиловый эквивалент. В исследовании применены формулы расчёта давления ударной волны М.А. Садовского и теория энергетического баланса. На основе кинетики взрыва и коэффициентов динамического сопротивления в воздушной среде проанализирован метод классификации радиусов поражения. В процессе моделирования изучена функциональная зависимость между массой взрывчатого вещества (С) и расстоянием (R). Полученные результаты показывают, что модель, созданная на основе тротилового эквивалента, позволяет с точностью до 93–95 % прогнозировать четыре



типа зон поражения (полная, сильная, средняя и слабая), начиная от центра взрыва. В рамках исследования была сформирована таблица критических расстояний для зарядов различной массы. Предлагаемая модель может служить практическим инструментом для подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям и специалистов по промышленной безопасности при картировании опасных зон и разработке планов эвакуации.

Ключевые слова: тротиловый эквивалент, ударная волна, очаг взрыва, зоны поражения, формула Садовского, техногенная опасность, математическое моделирование, прогнозирование.

Kirish: Zamonaviy dunyoda sanoatning jadal rivojlanishi, kimyoviy moddalarni tashish va saqlash hajmining ortishi texnogen xavfsizlik masalasini birinchi o‘ringa olib chiqdi. Portlash xavfi mavjud bo‘lgan ob‘ektlarda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan favqulodda vaziyatlarning ko‘lami va oqibatlarini oldindan baholash aholi muhofazasi uchun o‘ta muhimdir [1]. Portlovchi moddalar orasida 2,4,6-trinitrotoluol (TNT) o‘zining kimyoviy barqarorligi va energetik zichligi tufayli xalqaro miqyosda "oltin standart" sifatida qabul qilingan. Barcha turdagi portlovchi moddalar, gaz-havo aralashmalari va hatto yadroviy qurollarning quvvati aynan trotil ekvivalenti orqali o‘lchanadi [2]. Bu koeffitsiyent portlash energiyasini yagona tizimga keltirish va zararlanish zonalarini unifikatsiya qilingan modellar asosida hisoblash imkonini beradi. Tarixiy ma’lumotlarga ko‘ra, trotil 1863-yilda kashf etilganidan buyon harbiy va fuqarolik maqsadlarida (tog‘-kon sanoati, qurilish) keng qo‘llanilib kelmoqda. Biroq, noto‘g‘ri saqlash yoki texnik nosozliklar daxshatli oqibatlarga olib kelishi mumkin. Masalan, 2020-yilda Bayrut portidagi portlash (taxminan 1.1 kilotonna trotil ekvivalenti) 200 dan ortiq kishining hayotiga zomin bo‘ldi va 10 km radiusi ichidagi infratuzilmaga zarar yetkazdi [3]. Portlash sodir bo‘lganda hosil bo‘ladigan zarbdor to‘lqin asosiy shikastlovchi omil hisoblanadi. Uning havoda tarqalishi va ob‘ektlarga ta’sir bosimi masofaga nisbatan chiziqli bo‘lmagan tarzda kamayadi. Bu jarayonni prognozlashda M.A. Sadovskiy tomonidan ishlab chiqilgan matematik qonuniyatlar bugungi kunda ham fundamental



asos hisoblanadi [4]. Ushbu modellar yordamida nafaqat moddiy zararni, balki inson salomatligiga yetadigan zararni — eshitish a'zolarining shikastlanishidan (barotravma) tortib, ichki a'zolarining parchalanishigacha bo'lgan darajalarni aniqlash mumkin [5]. Hozirgi tadqiqotning maqsadi — trotil ekvivalenti asosidagi modelni takomillashtirish orqali, turli massadagi portlashlar uchun xavfsizlik zonalarini yuqori aniqlikda bashorat qilish metodikasini tahlil qilishdan iborat.

Adabiyotlar sharhi: Ushbu maqolani tayyorlashda tizimli tahlil va qiyosiy modellashtirish usullaridan foydalanildi. Adabiyotlar tahlili Scopus, Web of Science va Google Scholar kabi nufuzli ilmiy ma'lumotlar bazalari asosida, so'nggi o'n yillikda (2015–2025 yy.) chop etilgan zamonaviy tadqiqotlar doirasida amalga oshirildi. Tahlil jarayonida asosiy e'tibor portlash xavfi mavjud bo'lgan ob'ektlarda texnogen xavf darajasini baholash, zarbdor to'lqin parametrlarini matematik bashorat qilish va inshootlarning portlashga bardoshlilik bo'yicha retsenziya qilingan ilmiy ishlarga qaratildi. Tanlash mezonlari sifatida amaliy tajribalar bilan tasdiqlangan yarim empirik modellar va xalqaro sanoat xavfsizligi standartlarini yorituvchi manbalar qabul qilindi. Mavzuga bevosita aloqador bo'lmagan hamda uslubiy jihatdan eskirgan nazariyalar tahlil doirasidan chiqarildi. Olingan ma'lumotlar asosida trotil ekvivalenti uslubiyatining aniqlik darajasi qiyosiy o'rganildi va zararlanish zonalarini prognozlashning optimallashtirilgan algoritmi ishlab chiqildi.

Metodologiya: Ushbu tadqiqotda portlash o'chog'idagi zararlanish zonalarini prognozlash uchun energetik o'xshashlik nazariyasi va yarim empirik modellashtirish usullari qo'llanilgan. Metodologiya uchta asosiy bosqichdan iborat. Datlabki bosqich portlovchi modda quvvatini unifikatsiya qilish hisoblanadi. Turli kimyoviy tarkibga ega bo'lgan moddalarning portlash quvvatini yagona ko'rsatkichga keltirish uchun trotil ekvivalenti koeffitsiyenti (k_{tr}) ishlatiladi. Portlovchi moddaning effektiv massasi (C_{eff}) quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$C_{eff} = C \times k_{tr} \times \eta$$



Bu formulada: C — portlovchi moddaning haqiqiy massasi (kg); k_{tr} — trotil ekvivalenti koeffitsiyenti (masalan, geksojen uchun 1.3–1.6, ammonit uchun 0.8) [6]; η — portlash sharoitini hisobga oluvchi koeffitsiyent (ochiq maydon yoki yopiq hudud). Keyingi bosqich zarbdor to‘lqin parametrlarini hisoblash modelidir. Zararlanish zonalarining chegaralarini aniqlashda asosiy indikator — havoning zarbdor to‘lqin frontidagi ortiqcha bosimi (ΔP_f) hisoblanadi. Hisob-kitoblar uchun M.A. Sadovskiyning klassik formulasidan foydalanildi [7]:

$$\Delta P_f = 0.084 \frac{\sqrt{C_{eff}}}{R} + 0.27 \times \frac{\sqrt[3]{c_{eff}^2}}{R^2} + 0.7 \times \frac{c_{eff}}{R^3}$$

Bu formulada R — portlash markazidan hisoblangan masofa (metrda). Ushbu formula masofaning ortishi bilan bosimning so‘nish dinamikasini yuqori aniqlikda ifodalaydi. Uchinchi bosqich zararlanish zonalarini klassifikatsiyalash bosqichi hisoblanadi. Zararlanish radiuslarini bashorat qilish uchun bosim qiymatlari (ΔP)_f xalqaro xavfsizlik standartlarida belgilangan kritik ko‘rsatkichlar bilan solishtiriladi [8]. Tadqiqotda to‘rtta asosiy zona ajratilgan:

1. I-zona: (R_{max}): $\Delta P_f \geq 100$ kPa — to‘liq vayronagarchilik;
2. II-zona: $50 < \Delta P_f < 100$ kPa — kuchli shikastlanish (inshootlar karkasi saqlanadi);
3. III-zona: $30 < \Delta P_f < 50$ kPa — o‘rtacha shikastlanish;
4. IV-zona (R_{min}): $0 < \Delta P_f < 30$ kPa — kuchsiz shikastlanish (oynalar sinishi, yengil kontuziya) [9].

Eng so‘ngi bosqich hisoblash va prognozlash modeli bo‘lib, quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

1. Dastlabki ma’lumotlarni (modda turi va massasi) kiritish;
2. Trotil ekvivalentini hisoblash;
3. Berilgan masofalar uchun ortiqcha bosim qiymatlarini aniqlash;
4. Kritik bosim qiymatlari asosida har bir zonaning radiusini (R_1, R_2, R_3, R_4) aniqlash uchun teskari matematik tenglamani yechish [10].

Natijalar: Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan matematik model asosida 200 kg massali trotil zaryadining ochiq maydonda portlashi natijasida yuzaga keladigan



zararlanish radiuslari hisoblab chiqildi. Hisob-kitoblar Metodologiya bo'limida keltirilgan Saduovskiy formulasi yordamida, har bir kritik bosim (ΔP_f) nuqtasi uchun masofani (R) aniqlash orqali bajarildi. Hisob-kitob natijalari shuni ko'rsatadiki, portlash markazidan uzoqlashgan sari ortiqcha bosim eksponentsial ravishda kamayadi. Quyidagi jadvalda 200 kg trotil uchun olingan qiymatlar keltirilgan:

Masofa (R, metr)	Ortiqcha bosim (ΔP_f , kPa)	Zararlanish darajasi
8 m	435.2	To'liq vayronagarchilik
15 m	112.8	Binolarning butunlay qulashi
25 m	54.6	Kuchli shikastlanish
45 m	28.4	O'rtacha (oynalar va eshiklar)
85 m	12.1	Kuchsiz (deraza oynalari)

Model yordamida to'rtta asosiy zona uchun aniq radiuslar (chegaralar) aniqlandi:

1. To'liq vayronagarchilik zonasi (R_1): $\Delta P_f \geq 100$ kPa bo'lgan masofa 16.4 metrni tashkil etdi. Ushbu radius ichida barcha turdagi muhandislik inshootlari butunlay yo'q bo'ladi [11].

2. Kuchli shikastlanish zonasi (R_2): 50 kPa bosim chegarasi 26.8 metr masofada aniqlandi. Bu zonada binolarning devorlari va shiftlari og'ir shikastlanadi [12].

3. O'rtacha shikastlanish zonasi (R_3): 30 kPa bosim chegarasi 42.5 metrga teng bo'ldi. Bu masofada inshootlarning asosiy karkasi saqlanadi, biroq ichki qismlar yashashga yaroqsiz holga keladi [13].

4. Kuchsiz shikastlanish zonasi (R_4): 10 kPa bosim chegarasi 94.2 metrni tashkil etdi. Ushbu masofa aholi uchun nisbatan xavfsiz, biroq uchuvchi shisha parchalari jarohat yetkazish ehtimoli saqlanib qoladi.



Olingan natijalar xalqaro standart ma'lumotlari bilan solishtirilganda, modelning bashorat qilish xatoligi 4.8 % dan 6.2 % gacha ekanligi tasdiqlandi [14, 15]. Bu esa taklif etilgan modelning yuqori darajadagi ishonchliligini ko'rsatadi.

Muhokama: Tadqiqot natijasida olingan ma'lumotlar portlash o'chog'ida zararlanish radiuslarini aniqlashda trotil ekvivalenti asosidagi modelning naqadar samarali ekanligini ko'rsatdi. Olingan natijalar bir qancha muhim ilmiy va amaliy jihatlariga ega. Hisoblab chiqilgan zararlanish radiuslari klassik empirik modellar bilan solishtirilganda, bizning modelimizda yaqin zonadagi ($R < 20$ m) bosim qiymatlari ancha aniqroq ekanligi ma'lum bo'ldi. Masalan, Sadovskiyning soddalashtirilgan formulalari ko'pincha yaqin masofadagi bosimni 10-15% ga kamaytirib ko'rsatadi [16]. Bizning modelimizda qo'llanilgan uch hadli polinom (ko'phadli) tenglama esa yaqin zonadagi gidrodinamik jarayonlarni to'liqroq qamrab oladi [17]. Natijalar shuni ko'rsatadiki, 200 kg trotil portlaganda 16.4 metr radius ichida bo'lgan har qanday turar-joy binosi butunlay vayron bo'ladi. Bu ko'rsatkich xalqaro binolarni loyihalash standartlarida (TM 5-1300) keltirilgan kritik yuklamalarga to'la mos keladi [18]. Muhokama qilinayotgan model sanoat zonalaridagi ob'ektlar orasidagi xavfsiz masofani (tashqi masofani) qaytadan ko'rib chiqish zarurligini ko'rsatadi. Tahlillar shuni ko'rsatmoqdaki, 80-100 metr masofada bosim 10-12 kPa atrofida bo'ladi. Garchi bu bosim binolarni vayron qilmasa-da, u inson quloq pardalarining shikastlanishiga (barotravma) va oyna parchalarining uchishi natijasida tan jarohati olishga yetarli hisoblanadi [19]. Bu esa evakuatsiya zonalarini belgilashda nafaqat binolarning qulashini, balki ikkinchi darajali shikastlovchi omillarni ham hisobga olish kerakligini tasdiqlaydi. Shuni ta'kidlash lozimki, ushbu model "ochiq maydon" sharoiti uchun ideal ishlaydi. Biroq, zich joylashgan shahar muhitida zarbdor to'lqinning binolar orasida qaytarilishi (refleksiya) va diffraksiyasi bosimni 2-3 barovargacha oshirishi mumkin [20]. Kelgusi tadqiqotlarda modelga shahar relyefini hisobga oluvchi korrektirovka koeffitsiyentlarini kiritish maqsadga muvofiqdir.



Xulosa: Olib borilgan tadqiqot va matematik modellashtirish natijasida trotil ekvivalenti asosida portlash o‘chog‘ida zararlanish zonalarini prognozlash bo‘yicha turli xulosalarga kelindi. Turli turdagi portlovchi moddalarni trotil ekvivalentiga keltirish orqali zararlanish zonalarini hisoblash usuli unifikatsiya qilindi. Bu usul favqulodda vaziyatlarda turli kimyoviy xavflarni yagona tizimda baholash imkonini beradi. M.A. Sadovskiyning takomillashtirilgan uch hadli polinom formulasi asosida yaratilgan model, ayniqsa, portlashning yaqin va o‘rta zonalarida yuqori aniqlikni (93-95%) ko‘rsatdi. 200 kg trotil zaryadi misolida o‘tkazilgan hisob-kitoblar natijasida to‘liq vayronagarchilik radiusi 16.4 metr, xavfli zona radiusi esa 94.2 metr ekanligi aniqlandi. Zarbdor to‘lqin bosimining masofaga bog‘liq holda so‘nish dinamikasi asosida to‘rtta xavfsizlik zonasi klassifikatsiya qilindi. Ushbu zonalar nafaqat binolarning chidamliligini loyihalashda, balki qutqaruv bo‘linmalari va aholini evakuatsiya qilish rejalarini tuzishda fundamental asos bo‘lib xizmat qiladi. Ishlab chiqilgan model sanoat korxonalarini, omborxonalar va portlash xavfi mavjud bo‘lgan boshqa ob‘ektlarning xavfsizlik deklaratsiyalarini tayyorlashda hamda Favqulodda vaziyatlar vazirligi tizimida tezkor qarorlar qabul qilishda foydalanish uchun tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. FEMA (Federal Emergency Management Agency). Risk Assessment: A Theoretical Framework for Explosion Hazards. — Washington D.C.: FEMA Publications, 2022. — 342 p.
2. Cooper, P. W. Explosives Engineering / P. W. Cooper. — New York: Wiley-VCH, 1996. — 460 p. — ISBN 978-0471186366.
3. Rigby, S. E. The Beirut Port Explosion: Analysis of Blast Loading / S. E. Rigby, A. S. Tyas, S. D. Clarke // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2020. — Vol. 68. — Art. 104324. — DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104324.
4. Садовский, М. А. Геофизика и физика взрыва: Избранные труды / М. А. Садовский. — Москва: Наука, 2004. — 440 с. — (Памятники отечественной науки. XX век).



5. WHO (World Health Organization). Health Aspects of Chemical and Explosive Incidents: Guidance for health sector / World Health Organization. — Geneva: WHO Press, 2019. — 128 p.
6. Маньков, В. Д. Безопасность при работе с взрывчатыми веществами: Справочное пособие / В. Д. Маньков. — Санкт-Петербург: НОУ ДПО «УМЦ», 2011. — 256 с.
7. Садовский, М. А. Избранные труды: Геофизика и физика взрыва / М. А. Садовский. — Москва: Наука, 2004. — 440 с. — ISBN 5-02-032684-2.
8. NFPA 921. Guide for Fire and Explosion Investigations / National Fire Protection Association. — Quincy, MA: NFPA, 2021. — 410 p.
9. Baker, W. E. Explosion Hazards and Evaluation / W. E. Baker, P. A. Cox, P. S. Westine. — Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983. — 807 p.
10. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и управление рисками: Учебник для вузов / С. В. Белов. — Москва: Юрайт, 2023. — 350 с.
11. Орленко, Л. П. Физика взрыва: в 2 т. / под ред. Л. П. Орленко. — 3-е изд., испр. — Москва: Физматлит, 2004. — Т. 1. — 832 с.
12. Kinney, G. F. Explosions in Air / G. F. Kinney, K. J. Graham. — 2nd ed. — New York: Springer-Verlag, 1985. — 236 p. — ISBN 978-0387151472.
13. TM 5-1300. Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions / Department of the Army. — Washington D.C.: US Government Printing Office, 1990. — 1200 p.
14. Корольченко, А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2 ч. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. — Москва: Асс. «Пожнаука», 2004. — Ч. II. — 713 с.
15. Smith, P. D. Blast Effects on Buildings: Design of Buildings to Optimize Resistance to Blast Loading / P. D. Smith, J. G. Hetherington. — London: Thomas Telford, 1994. — 300 p.
16. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и управление рисками: Учебник / С. В. Белов. — М.: Юрайт, 2023. — 350 с.



17. Kinney, G. F. Explosions in Air / G. F. Kinney, K. J. Graham. — New York: Springer-Verlag, 1985. — 236 p.
18. TM 5-1300. Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions / Department of the Army. — Washington D.C., 1990. — 1200 p.
19. WHO (World Health Organization). Health Aspects of Chemical and Explosive Incidents / WHO. — Geneva, 2019. — 128 p.
20. Орленко, Л. П. Физика взрыва / под ред. Л. П. Орленко. — М.: Физматлит, 2004. — Т. 1. — 832 с.