

ОЦІНКА МАСШТАБНОСТІ АВАРІЙНОГО ВИБУХУ ЗА ЙОГО УРАЖАЮЧИМИ ФАКТОРАМИ

А. О. Кузьменко, канд. техн. наук (ІГМ НАНУ), В. Д. Воробйов, докт. техн. наук (ННДІПБОП),

Рассмотрено влияние поражающих факторов воздушного взрыва заряда в результате теракта в г. Волгодонске и определена масса заряда в тротиловом эквиваленте. Проведены исследования параметров воронки выброса и сейсмического эффекта при воздушных взрывах.

Збільшення потреб гірничого виробництва тягне за собою зростання об'ємів вибухових речовин (ВР), які концентруються у місцях ведення підричних робіт. При цьому не виключається ймовірність аварійних вибухів, що підтверджується реаліями життя. Останнім часом до аварійних вибухів додалися теракти із використанням значної кількості ВР.

В результаті аналізу виникнення подібних вибухів виникають такі запитання: як і що підривалось і який тротиловий еквівалент (ТЕ) вибуху. Щоб отримати відповіді на ці запитання, необхідно знати рівень уражаючих факторів у стандартній і в розгляданій ситуації.

Публікації, присвячені дослідженню аварійних вибухів, нечисленні [1–5]. Більш широким є перелік публікацій, які висвітлюють дослідження окремих уражаючих факторів підричних робіт, не пов'язаних з аварійністю [5–12].

Попередніми дослідженнями по розгляданій тематиці встановлені основні уражаючі фактори аварійних вибухів: утворення воронки на поверхні ґрунту, дія сейсмічних і ударно-повітряних хвиль (УПХ), теплове випромінювання, дія газопилової хмари. На основі фактичного і експериментального матеріалу **розроблені нормативні ступені руйнування об'єкта в залежності від параметрів уражаючих факторів вибуху.**

Осібю у числі робіт, присвячених аварійним вибухам, стоїть публікація [13] про визначення ТЕ повітряного (піднятого над земною поверхнею) вибуху заряду ВР, що стався у результаті теракту у м. Волгодонську в кінці минулого століття. Однак у цій статті допущені методичні помилки. Використані авторами формули [5, 14] у кращому випадку стосуються контактних, а не повітряних вибухів. Так, наприклад, автор праці [5] отримав усі вихідні дані від розривів авіаційних бомб під час Другої світової війни. Автор статті [13] для визначення ТЕ не використав такий уражаючий фактор вибуху, як воронка викиду, нормативні документи по ступеню руйнування будівель ударно-повітряною хвилею, зони дії сильної і слабкої УПХ, формулу відбитої від перешкоди УПХ, закон динамічної подібності при вибухових навантаженнях і т.п. У даній статті використовується наявний матеріал для заповнення цієї прогалини, в т.ч. і в питаннях воронкоутворення, через призму вибуху у м. Волгодонську.

Наслідки вибуху цього заряду на висоті 1,5 м від поверхні землі в умовах забудованої міської території: діаметр і глибина воронки викиду (видимі розміри) відповідно 15 і 5 м; у 9-поверховому великопанельному житловому будинку, що знаходився на відстані 15 м від епіцентру вибуху, зруйновані лицеві навісні залізобетонні панелі і внутрішні перегородки; руйнування засклення у будинках на відстані 300...350 м від епіцентру вибуху відповідає середньому рівню пошкоджень [2]. Є можливість відновлення будинку.

Методика розрахунку пошкодження об'єкта УПХ залежить від таких обставин. Коли довжина УПХ перевищує розмір будівлі, пошкодження в основному обумовлюються надлишковим тиском, у протилежному разі – питомим імпульсом. У зв'язку з тим, що нормативні документи, які б регламентували кількісну оцінку дії питомого імпульсу УПХ на будівлі, відсутні, розрахунки взаємодії УПХ з будівлями будемо вести з використанням критерію надлишкового тиску.

Описаному вище руйнуванню 9-поверхового великопанельного будинку відповідає надлишковий тиск в УПХ у діапазоні 30...140 КПа. Використовуючи формулу акад. М. О. Садовського для повітряних вибухів тротилових зарядів [10],

$$\Delta P = 0,85 \frac{Q^{1/3}}{R} + 3 \frac{Q^{2/3}}{R^2} + 8 \frac{Q}{R^3}, \text{ кг/см}^2, \quad (1)$$

отримаємо, що маса заряду в ТЕ дорівнює 25...280 кг. За наявності більш докладної характеристики пошкодження будівлі масу заряду можна визначити точніше.

Пошкодження засклення у будинках на відстані 300...350 м від епіцентру вибуху відповідають надлишковому тиску в УПХ 1000...1500 Па, що за формулою (1) відповідає вибуху заряду від 100 до 275 кг у ТЕ. За наявності докладної технічної характеристики засклення можна було б визначити допустимі напруження скла, а з урахуванням показника його руйнування (наприклад, у відсотковому відношенні) – точніше розрахувати масу заряду у ТЕ.

Під впливом динамічних навантажень, до яких належить і вибух заряду ВР, у ґрунтовому масиві виникають деформації. Масштабність деформацій залежить як від параметрів заряду, так і від фізико-механічних властивостей ґрунту. За певних обставин, пов'язаних зі значними деформаціями ґрунтового масиву, на його поверхні виникає воронка викиду.

Аналіз літературних джерел показує суттєвий вплив зв'язності ґрунту на параметри воронки викиду. Так, наприклад, порушення природної структури супіску приводить до збільшення глибини і об'єму воронки відповідно у 1,75 і 5,0 разів. На параметри воронки викиду суттєво впливає і вологість ґрунту. Зміна вологості супіску порушеної структури від 11,28 до 19% приводить до збільшення глибини і об'єму воронки відповідно у 3,5 і 6,0 разів.

На сьогодні накопичено **чималий** матеріал **по вивченню** воронки викиду у різних ґрунтах при вибухах хімічних зарядів, в основному контактних і підземних. Менш дослідженими є повітряні вибухи [8, 15].

Опрацювання літературних даних і дослідження авторів залежності показників воронки викиду від параметрів заряду ВР дозволило виразити ці залежності для супіску порушеної структури з різною вологістю ґрунту такими формулами.

Видима глибина воронки викиду

$$H = a\bar{h} + b, \quad (2)$$

видимий об'єм воронки викиду

$$V = K \exp(c\bar{h}), \quad (3)$$

де a, b, c і K – експериментальні коефіцієнти (табл. 1), \bar{h} – відносна висота повітряного заряду над земною поверхнею (м/кг^{1/3}).

Розв'язуючи (2) і (3) відносно маси заряду з використанням моделювання параметрів вибухів, визначаємо ТЕ аварійного вибуху (табл. 2).

Таблиця 1. Експериментальні значення коефіцієнтів у формулах (2) і (3)

Ґрунт	Глибина воронки		Об'єм воронки	
	a	b	K	c
Супісок порушеної структури:				
вологість 11,28%	0,32	0,09	$2,7 \cdot 10^{-3}$	11,25
вологість 15,46%	0,30	0,085	$2,6 \cdot 10^{-3}$	10,30
вологість 19,10%	0,24	0,08	$2,45 \cdot 10^{-3}$	6,75

Таблиця 2. Показники маси заряду вибуху від різних уражаючих факторів

Уражаючі фактори	ТЕ вибуху (кг), визначений за такими показниками:	
	глибина воронки	об'єм воронки
Воронка викиду Ґрунт: супісок порушеної структури вологістю 11,28%, вологістю 15,46%, вологістю 19,10%	290 220 110	300 220 110
Дія УПХ на 9-поверховий будинок	Ступінь пошкодження елементів конструкції будинку 25...280	
Дія УПХ на застелення інших будинків на відстані 300...350 м	Ступінь пошкодження застелення 100...275	
Дія сейсмовибухових хвиль на 9-поверховий будинок	Ступінь пошкодження елементів конструкції будинку 15...275	

Для оцінки уражаючого фактору від дії сейсмічної хвилі, то, на наш погляд, необхідно йти таким шляхом.

Пошкодження дев'ятиповерхового будинку від дії сейсмічних хвиль не повинні бути більшими, ніж від дії УПХ, оскільки перші виникли від динамічних навантажень УПХ на земну поверхню. Отже, сейсмічні пошкодження не можуть перевищувати інтенсивність коливань 8...9 балів по сейсмічній шкалі при ВР, а це, в свою чергу, відповідає швидкості коливань ґрунту в основі будівлі 12...48 см/с.

З іншого боку, як зазначено вище, нами встановлено, що ймовірний діапазон величини надлишкового тиску, який діє на 9-поверховий будинок на відстані 15 м від епіцентру вибуху, становить 30...140 кПа. За цих умов, з урахуванням властивостей ґрунту і того факту, що на поверхні ґрунту у більшості випадків тиск у хвилі стиснення дорівнює подвоєному тиску у падаючій хвилі, швидкість зміщення ґрунту у сейсмічній хвилі можна розрахувати з допомогою відомого співвідношення

$$\sigma = U \cdot V_p \cdot \rho, \quad (4)$$

де σ – тиск у ґрунті; U – швидкість зміщення частинок ґрунту; V_p – швидкість поширення поздовжньої хвилі; ρ – щільність ґрунту.

Розрахунки за допомогою (4) дають значення швидкості зміщення ґрунту в фундаменті будинку від 11 до 52 см/с, тобто майже такі, як і за сейсмічною шкалою.

Існує також відома формула [16] для прогнозування експрес-методом безпечних умов проведення вибухових робіт, з допомогою якої за величиною швидкості зміщення ґрунту, викликаної УПХ, можна визначити масу заряду (кг) власне повітряного вибуху

$$Q = \left(\frac{U}{K}\right)^{3/n} \cdot r^3, \quad (5)$$

де Q – маса заряду повітряного вибуху; K – коефіцієнт пропорційності і як такий, що враховує умови вибуху; n – показник затухання сейсмовибухових хвиль при їх поширенні; r – відстань від епіцентру вибуху.

Розрахунки показують, що маса заряду повітряного вибуху повинна дорівнювати 15...275 кг тротилового еквіваленту, що (табл. 2). З таблиці випливає, що середнє значення маси заряду вибуху при теракті у ТЕ не повинно перевищувати 200 кг.

Висновки Це не висновки, а анотація

Розширені можливості методики визначення характеристики аварійного вибуху за рахунок досліджень уражаючих факторів, у т.ч. воронки викиду, від підриву повітряного заряду.

На конкретному прикладі підриву заряду ВР при теракті показаний порядок визначення маси заряду в ТЕ.

1. *Бесчастнов М. В.* Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
2. *Морозов В. В., Шахраманьян М. А.* Прогнозирование и ликвидация последствий аварийных взрывов и землетрясений (Теория и практика) – М.: УРСР, 1998. – 272 с.
3. *Адушкин В. В., Гарнов В. В., Христоффов Б. Д.* Крупномасштабный экспериментальный взрыв как модель аварийного взрыва // Безопасность труда в промышленности. – М.: 1999, №10. – С. 21–23.
4. *Адушкин В. В., Козарко С. М., Лямин А. Г.* Расчет безопасных расстояний при газовом взрыве в атмосфере // Взрывное дело, №75/32. – М.: Недра, 1975. – С. 82–94.
5. *Бейкер У. и др.* Взрывные явления. Оценки и последствия: В 2 т. – М.: Мир, 1986. – 384 с.
6. *Базилевский А. Т., Иванов Б. А.* Обзор достижений механики кратерообразования // Механика образования воронок при ударе и взрыве. Серия „Механика”. – 1977. – № 12. – С. 172–227.
7. *Докучаев М. М., Родионов В. Н., Ромашов А. Н.* Взрыв на выброс. – М.: Изд. АН СССР, 1963. – 108 с.
8. Механика твердых деформируемых тел // Итоги науки и техники. – М., 1973. – Т. 7. – 199 с.
9. *Обербек В. Р.* Лабораторное моделирование ударного кратерообразования при помощи взрывчатых веществ // Механика образования воронок при взрыве. Серия „Механика”. – 1977, № 12. – С. 33–61.
10. *Садовський М. А.* Механическое действие воздушных ударных волн взрыва по данным экспериментальных исследований // Физика взрыва. – М.: Изд. АН СССР, 1952. – С. 20–110.
11. *Адушкин В. В.* О формировании ударной волны и разлете продуктов взрыва в воздухе. – М.: ПМТФ. – 1963. – № 5. – С. 108–114.
12. *Коротков А. И.* Соотношение импульсов в отраженной и проходящей ударной волне // Физика взрыва. – Изд. АН СССР. – 1956. – № 5.
13. *Луговий П. З. та інші.* Визначення та аналіз ударних і сейсмічних навантажень на об’єкт під дією вибуху // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДІОП, 2000. – Вип. 3. – С. 63–68.
14. *Единые правила безопасности* при взрывных работах. – К.: Норматив, 1992. – 171 с.
15. *Вовк А. А. и др.* Поведение грунтов под действием импульсных нагрузок. – К.: Наук. думка, 1984. – 288 с.
16. *Цейтлин Я. И.* Исследование сейсмической опасности технологических взрывов. – М.: ЦБНТИ Межмонтажспецстроя СССР, 1974.