

УДК 662.1.001:358.231

І. Е. МЕНТУС, кандидат військових наук, старший науковий співробітник, професор кафедри військової підготовки Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка, м. Кам'янець-Подільський

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕКОНТАКТНИХ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

На основі аналізу ефективності неконтактних зарядів наведені розрахункові вирази, які дозволяють більш точно розрахувати масу зарядів вибухової речовини для руйнування опор мосту. Надано рекомендації щодо визначення основних характеристик неконтактних зарядів вибухової речовини для руйнування опор мосту з наведенням прикладу застосування таких зарядів.

***Ключові слова:** вибухова речовина, неконтактний заряд, опора мосту.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. В умовах бойової обстановки, або при ліквідації наслідків руйнування будівель часто складаються такі умови, коли немає часу на підготовку об'єкта до вибуху або через значну небезпеку раптового руйнування застосувати внутрішні або контактні заряди неможливо, тому доводиться застосовувати неконтактні заряди. Наприклад, якщо немає часу для розміщення контактних зарядів на опорах і пролітних будовах, міст може бути зруйнований або пошкоджений вибухом одного зосередженого неконтактного заряду, поданого на міст у вагоні, на платформі або причепі безпосередньо перед вибухом.

© Ментус І. Е.

тні заряди застосовуються як резервні на випадок відмови або пошкодження електровибухових мереж, а при руйнуванні дерев'яних мостів – з метою скорочення кількості зарядів та точок ініціювання. Проблемами розрахунку параметрів та характеристик зарядів для руйнування елементів конструкцій із різноманітних матеріалів, ґрунтів та скельних порід займалися такі видатні вчені як О. Е. Власов, І. М. Рабинович, Т. М. Саламахин.

Метою статті є обґрунтування рекомендацій щодо розрахунку параметрів та характеристик неконтактного заряду вибухової речовини (ВР), який необхідний для перебування елементів конструкцій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стосовно розрахунку неконтактних зарядів усю сукупність будівельних матеріалів доцільно розбити на три групи: крихкі, в'язкі і складні матеріали.

До крихких матеріалів ми відносимо дерево, бетон, камінь, цеглу й інші матеріали, для яких діаграма “зусилля – деформація” аж до руйнування залишається практично лінійною. Як показують теоретичні розрахунки та практичний досвід найвигіднішою формою неконтактного заряду є сферичний заряд. Сферичні заряди для руйнування елементів конструкцій з крихких матеріалів можуть бути розраховані за формулою:

$$C = K_p \frac{ha^2}{\cos^4 \alpha}, \quad (1)$$

де K_p – питома витрата ВР, кг/м³.

Значення питомої витрати K_p для деяких крихких матеріалів наведено в таблиці.

Подовжені циліндрові заряди, вісь яких схрещується з віссю елемента під кутом, можуть бути розраховані за аналогічною формулою:

$$C_n = \frac{1}{2} K_p \frac{ha}{\cos^3 \alpha}. \quad (2)$$

Питома витрата ВР для неконтактних зарядів (крихкі матеріали)

Матеріали	Кр, кг/м ³
Вільха, липа, осика, тополя	27...50
Сосна, ялина, кедр, береза, в'яз	38...70
Модрина, дуб, ясен, клен, граб	46...85
Акація	48...90
Бетон марки М200	19...30
Бетон марки М300	25...40
Бетон марки М400	32...51
Бетон марки М500	38...62
Бетон марки М600	45...72
Цегляна кладка	9,5...15
Кладка з бетонних блоків	18...28

Примітка. Менше значення K_p відповідає вірогідності руйнування $W = 0,5$; більше значення — вірогідності руйнування $W = 0,997$.

h – товщина (діаметр) елемента;

a – відстань від центру заряду до елемента;

α – кут між нормаллю до елемента і радіусом, проведеним з центру заряду до зовнішньої межі зони руйнування (рис. 1).

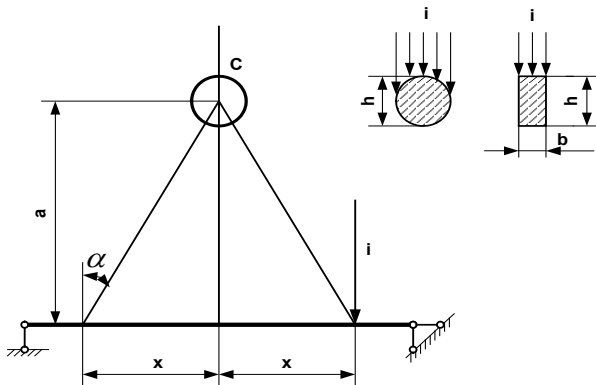


Рис. 1. Розрахункова схема до розрахунку неконтактного заряду для руйнування елементів з крихких матеріалів, де $2x$ – ділянка руйнування крихкого матеріалу; i – питомий імпульс, який діє на елемент у розрахунковому перетині

Якщо за умови елемент конструкції достатньо зруйнувати (переломити) в одному перетині, то у формулах (1) і (2) слід покласти $\alpha = 0^0$ і вони при цьому приймають більш просту форму:

$$C = K_p h a^2, \quad (1^*)$$

$$C_n = \frac{1}{2} K_p h a. \quad (2^*)$$

Саме в такій формі формула (1) була використана з метою отримання відомих розрахункових формул:

для руйнування дерев'яних елементів конструкцій

$$C = 30KDr^2; \quad (3)$$

для руйнування елементів з бетону, каменя і цеглини

$$C = 10Ahr^2. \quad (4)$$

Із аналізу формул (1*) і (3) витікає, що в останній, у порівнянні з теоретичною, застосовані інші позначення товщини (діаметра) елемента (D замість h), і відстані від заряду до елемента (r замість a), а замість питомої витрати K_p введена величина $10K$, де K – коефіцієнт, що ураховує міцність окремих порід деревини (від 0,8 до 2,0).

У формулі (4) замість питомої витрати BP введена величина $10A$. Таким чином, формули (3) і (4) є окремими випадками теоретичної формули (1), в якій $\alpha = 0^0$, а замість питомої витрати BP введена величина $30K$ – для деревини і $10A$ – для бетону, каменя і цегли (від 0,75 до 1,8).

Сферичні заряди на практиці застосовують рідко. Замість них, звичайно, застосовують кубічні заряди або такі, що за формою наближаються до куба. Вони володіють яскраво вираженою направленою дією: по напрямку нормалі до грані вони на відстані $\frac{a}{r_0} \leq 18$ в 1,5 ... 1,75 разів ефективніше за сферичні заряди, а по напрямку ребра – в 2...2,5 рази менш ефективні, ніж сферичні заряди. З цієї причини рекомендується розраховані за формулами (3) і (4) заряди орієнтувати на розрахунковий руйнований елемент гранню.

Кубічний заряд, орієнтований гранню на елемент що руйнується, еквівалентний сферичному заряду, якщо виконується умова:

$$\frac{C_k}{C_o} = 0,58 + 0,0074 \frac{a}{r_o}, \quad (5)$$

де C_k – маса кубічного заряду; C_o – маса сферичного заряду; r_o – радіус сферичного заряду, що визначається за формулою (для тротилу з щільністю 560 кг/м^3):

$$r_o = \frac{\sqrt[3]{C}}{18,7}. \quad (6)$$

Приклад розрахунку. Руйнування опори моста (палі), схема якої показана на рис. 2, вирішено провести вибухом одного неконтактного заряду. Розрахувати заряд, якщо діаметр паль $d = 0,3 \text{ м}$, матеріал – сосна.

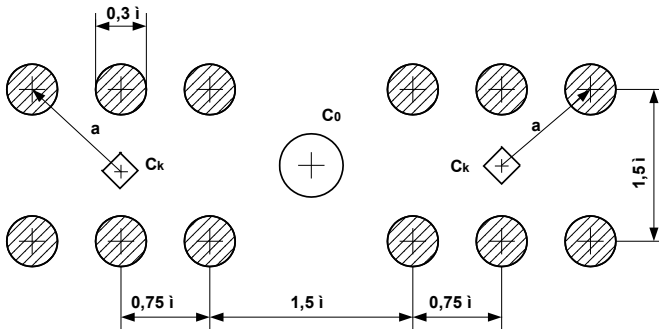


Рис. 2. Розміщення неконтактних зарядів для руйнування опори моста (палі):

C_o – сферичний заряд в центрах опори; C_k – кубічні заряди в центрах кущів паль; a – відстань від центру заряду до центру палі

Розв’язання. Оскільки за умовою задачі вимагається тільки перебити крайні палі в одному перетині, то для розрахунку зарядів можна скористатися формулою (1*).

Сферичний заряд C_o , розміщений в центрі опори палі, з врахуванням того, що згідно з таблицею, для сосни $K_p = 38...70 \text{ кг/м}^3$, а відстань від центру заряду до центру крайньої палі

$$a = \sqrt{0,75^2 + 2,25^2} = 2,37 \text{ (м)},$$

$$C_0 = (38 \dots 70) \cdot 0,3 \cdot 2,372 = 64,0 \dots 118,0 \text{ (кг)}.$$

При цьому менший заряд забезпечує вірогідність руйнування $W = 0,5$, а більший $W = 0,997$.

Згідно з (6) для цього заряду

$$r_0 = \frac{\sqrt[3]{C}}{18,7} = \frac{\sqrt[3]{64 \dots 118}}{18,7} = 0,214 \dots 0,262 \text{ (м)}$$

і відносна відстань від центру заряду до центру палі

$$\frac{a}{r_0} = \frac{2,37}{0,214 \dots 0,262} = 11,07 \dots 9,04,$$

тому за формулою (5)

$$\frac{C_k}{C_0} = 0,58 + 0,0074 \cdot (11,1 \dots 9,04) = 0,58 + (0,082 \dots 0,067) = 0,662 \dots 0,647.$$

Отже, якщо замість сферичного заряду застосувати кубічний заряд, то за вірогідності руйнування $W = 0,5$:

$$C_k = 0,662 \cdot 64,1 = 42,4 \text{ (кг)},$$

а за вірогідності руйнування $W = 0,997$:

$$C_k = 0,647 \cdot 118,0 = 76,4 \text{ (кг)}.$$

За формулою (3):

$$C = 30 \text{ КДг}^2 = 30 \cdot 1 \cdot 0,3 \cdot 2,372 = 50,6 \text{ (кг)}.$$

Отже, формула (3) гарантує руйнування з вірогідністю $0,5 < W < 0,997$, якщо заряд буде орієнтований гранями на крайні палі. В даному випадку це зробити неможливо, якщо палі руйнувати одним зарядом. З цієї причини замість одного заряду застосуємо два заряди, розмістивши їх в центрах куців паль так, як показано на рис. 2. При цьому :

$$a = \sqrt{0,75^2 + 1,75^2} = 1,92 \text{ м}.$$

Сферичний заряд згідно з (1*):

$$C_0 = (38 \dots 70) \cdot 0,3 \cdot 1,062 = 12,8 \dots 23,6 \text{ (кг)}.$$

Для нього

$$r_0 = \frac{\sqrt[3]{C}}{18,7} = \frac{\sqrt[3]{12,8 \dots 23,6}}{18,7} = 0,125 \dots 0,153 \text{ (м)},$$

відносна відстань

$$\frac{a}{r_0} = \frac{1,06}{0,125...1,153} = 8,5...6,9 \text{ (м)}.$$

Тому:

$$\frac{C_k}{C_0} = 0,58 + 0,0074 \cdot (8,5...6,9) = 0,58 + (0,063...0,651) = 0,643...0,631$$

і для вірогідності руйнування $W = 0,5$ кубічний заряд, орієнтований гранями на крайні палі, повинен мати масу:

$$C_k = 0,643 \cdot 12,8 = 8,23 \text{ (кг)},$$

а для вірогідності руйнування $W = 0,997$ –

$$C_k = 0,631 \cdot 23,6 = 14,9 \text{ (кг)}.$$

За формулою (3):

$$C = 30 \cdot K \cdot D \cdot r^2 = 30 \cdot 1 \cdot 0,3 \cdot 1,06^2 = 10,1 \text{ (кг)}.$$

Кубічний заряд з шашок із стороною 0,2 м має масу ($C = v \cdot \rho$):

$$C = 0,2^3 \cdot 1600 = 12,8 \text{ кг (або 32 шашки по 0,4 кг)}, \text{ а заряд з шашок}$$

із сторонами (м) 0,25 x 0,25 x 0,15 має масу

$$C = 0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,15 \cdot 1600 = 15 \text{ (кг)}.$$

Таким чином, якщо застосувати два кубічні заряди (C_k) зі стороною куба 0,2 м і $C = 12,8$ кг, то вірогідність руйнування буде дещо меншою від максимальної (вона складе $W = 0,88$), а якщо застосувати заряд формою близький до кубічного, із сторонами (м) 0,25 x 0,25 x 0,15 м і $C = 15$ кг, то забезпечується максимальна вірогідність руйнування опори.

У сучасному будівництві в великій кількості використовуються такі матеріали, як сталь, алюмінієві і магнієві сплави, мідь, латунь і інші матеріали, для яких діаграма “зусилля – деформація” не лінійна і на ній може бути вказана межа текучості: фізична або умовна. Такі матеріали відносяться до в’язких.

Розчленовувати конструкції або їх елементи з таких матеріалів за допомогою неконтактних зарядів недоцільно, оскільки заряди виходять надмірно великими і незручними для практичного застосування. У ряді випадків споруда, в конструкції якої застосовані в’язкі матеріали може бути зруйнована і без розчленовування

елементів на частини, для цього достатньо деформувати вибухом несучі елементи конструкції, щоб вони втратили стійкість або були скинуті з опор. Наприклад, балка довільного поперечного перетину (рис. 3), вільно сперта по кінцях, під дією вибуху може бути деформована на кут φ , після чого буде скинута з опор.

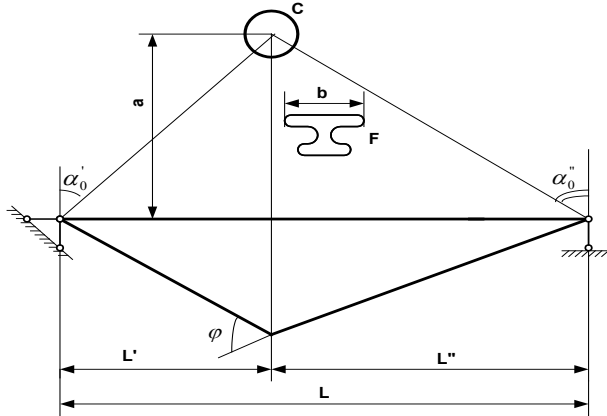


Рис. 3. Розрахункова схема до розрахунку неконтактного заряду для деформації вільно спертої балки з в'язкого матеріалу

Вгорі над балкою показано її поперечний перетин:

F – площа поперечного перетину, b – ширина полиці, що сприймає дію вибуху:

Найбільш поширеним складним або композиційним матеріалом є залізобетон. У такому матеріалі арматура захищена від безпосередньої дії вибуху, навантаження на неї передається через масивний шар крихкого бетону, міцність якого у свою чергу, посилена арматурою, тому елементи конструкцій не вдається розчленувати навіть вибухом контактних зарядів. При неконтактному вибуху типовою формою руйнування залізобетонного елемента є вибивання бетону і оголення арматури на деякій ділянці. Для тих елементів, що стискаються або згинаються, цього може виявитися цілком достатньо для того, щоб споруда була зруйнована і без розчленування елементів. При руйнуванні пошкоджених залізобетонних мостів

така форма руйнування несучих елементів моста навіть переважна, оскільки після їх обвалення в осі моста залишаються нерозчленовані і, отже, незручні для видалення елементи, зв'язані між собою сильно деформованою арматурою блоки обрушеної конструкції, які неможливо видалити, не розчленувавши її заздалегідь на частини. Отже руйнуючи міст за цим методом ми створюємо для противника більш важкі умови його відновлення.

Неконтактні зосереджені і подовжені заряди для вибивання бетону (рис. 4) можуть бути розраховані за формулами:

$$C = K_{\text{виб}} \frac{ha^2}{\cos^4 \alpha}. \quad (7)$$

$$C_n = \frac{1}{2} K_{\text{виб}} \frac{ha}{\cos^3 \alpha}, \quad (8)$$

де $K_{\text{виб}}$ – питома витрата ВР для вибивання бетону:

$$K_{\text{виб}} = \xi K_p, \quad (9)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує підвищення міцності бетону за рахунок його армування. Цей коефіцієнт залежить від характеру розташування арматури в елементі і коефіцієнта армування:

$$\mu_a = \frac{F_a}{F},$$

де F_a – площа поперечного перетину арматури; F – площа поперечного перетину елемента.

Для залізобетонних елементів, що застосовуються в залізобетонних мостах й інших інженерних конструкціях, коефіцієнт ξ можна приблизно розрахувати за формулою:

$$\xi = \sqrt{3(1 + 50\mu_a^{1/2})}. \quad (10)$$

Решта величин, що входять до формул (7) і (8) визначаються так само, як і для крихких матеріалів.

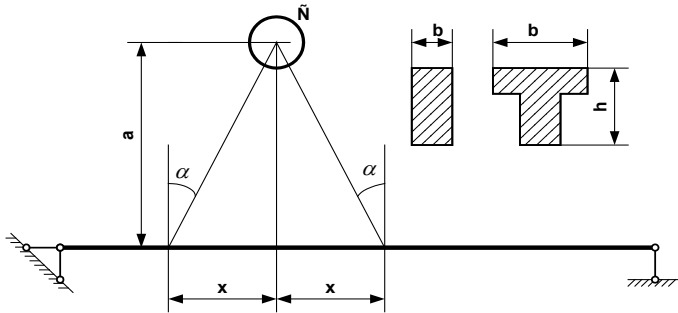


Рис. 4. Розрахункова схема до розрахунку вільно спертої балки з складного матеріалу; $2x$ – ділянка вибивання бетону

Приклад розрахунку. Для прискореного руйнування залізобетонного шляхопроводу вирішено застосувати один зосереджений заряд, встановлений на автомобільному причепі (рис. 5). Відстань від центру заряду до прогону $a = 2$ м, а до стійки опори $a = 7$ м. Прогін має ширину $b = 0,3$ м, висоту $H = 1,2$ м, стійка опори квадратного перетину $0,3 \times 0,3$ м; залізобетон марки М300, коефіцієнт армування $\mu_a = 0,03$.

Розрахувати заряд вибухової речовини, необхідний для вибивання бетону з прогону на ділянці $2,5$ м, а також визначити довжину ділянок вибивання бетону із стійок опори при вибуху цього заряду.

Розв'язання. Для бетону марки М300 (згідно з таблицею) $K_p = 25 \dots 40$ кг/м³, при цьому менше значення відповідає вірогідності руйнування $W = 0,5$, а більше – вірогідності руйнування $W = 0,997$.

Приймаємо для гарантованого руйнування $K_p = 40$ кг/м³. Згідно з (10) коефіцієнт ξ , який враховує підвищення міцності бетону за рахунок армування:

$$\xi = \sqrt{3(1 + 50\mu_a^{1/2})} = \sqrt{3(1 + 50 \cdot 0,03^{1/2})} = 5,38.$$

Отже, згідно (9) питома витрата ВР для вибивання бетону:

$$K_{\text{виг}} = \xi K_p = 5,38 \cdot 40 = 215 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

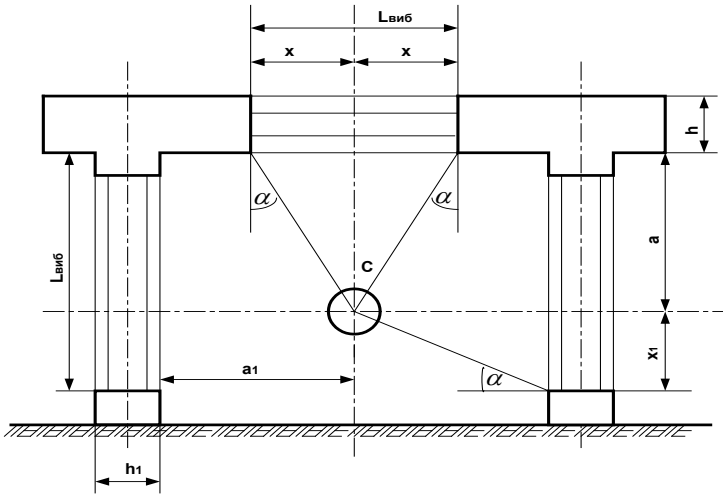


Рис. 5. Розрахункова схема до задачі

Оскільки ділянка вибивання бетону $2x = 2,5$ м, то

$$\alpha' = \arctg \frac{x}{a} = \arctg \frac{1,25}{2} = 32^\circ,$$

$$\cos \alpha = \cos 32^\circ = 0,848.$$

Сферичний заряд, згідно з (7)

$$C = K_{\text{виб}} \frac{ha^2}{\cos^4 \alpha} = 215 \cdot \frac{1,2 \cdot 2^2}{0,848^4} = 1995,7 \text{ (кг)}.$$

Приймаємо $C = 2000$ кг.

Для стійок рамної опори, розрахувавши формулу (7) щодо невідомого кута, одержуємо:

$$\cos^4 \alpha = \frac{K_{\text{виб}} ha_1^2}{C} = \frac{215 \cdot 0,3 \cdot 7^2}{2000} = 1,58.$$

Але косинус кута не може бути більше одиниці, тому, гарантоване вибивання бетону із залізобетонних стійок не відбувається.

Перевіримо можливість вибивання бетону за вірогідності $W = 0,5$.

У цьому випадку

$$K_{\text{виб}} = \xi K_p = 5,38 \cdot 25 = 134,5 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

При цьому

$$\cos^4 \alpha = \frac{K_{\text{виб}} h a_1^2}{C} = \frac{134,5 \cdot 0,3 \cdot 7^2}{2000} = 0,9886,$$

$$\cos \alpha = 0,997.$$

Довжина ділянки вибивання:

$$L_{\text{виб}} = 2x = 2a_1 \operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot 7 \cdot \operatorname{tg} \arccos 0,997 = 1,09 \text{ (м)}.$$

Таким чином, з вірогідністю $W = 0,5$ зі стійок рамної опори може бути вибитий бетон на ділянці близько 1 метра.

Висновки. Наведений у статті матеріал дозволяє визначити основні характеристики неконтактних зарядів вибухової речовини для руйнування опор мосту та елементів конструкцій і буде корисним не тільки під час проведення занять зі студентами та слухачами, але і фахівцям піротехнічних підрозділів під час запобігання або ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Подальші дослідження у даному напрямку можуть бути спрямовані на розрахунки зарядів для руйнування конструкцій з нових, сучасних композитних матеріалів або нових конструкцій у будівництві, наприклад при використанні металевих труб, заповнених бетоном. Матеріали статті можуть бути корисними для фахівців антитерористичних служб, щодо питань розрахунку стійкості елементів конструкцій та їх захисту при застосуванні терористами неконтактних зарядів.

Список використаної літератури

1. Саламахин Т. М. Основы моделирования и боевая эффективность зарядов разрушения. Ч. 1. / Т. М. Саламахин – М. : ВИА им. Куйбышева, – 1984. – 160 с.

2. Руководство по подрывным работам : руководство / ред. В. Ф. Машиевский. – М. : Воениздат, 1969. – 464 с.

Рецензент – кандидат військових наук, доцент Руснак В. М.

Стаття надійшла до редакції 24.02.2014

Ментус И. Е. **Определение основных характеристик неконтактных зарядов взрывчатых веществ**

На основе анализа эффективности неконтактных зарядов приведены расчетные соотношения, которые позволяют более точно рассчитать массу зарядов взрывчатого вещества для разрушения опор моста. Предложены рекомендации относительно определения основных характеристик неконтактных зарядов взрывчатого вещества для разрушения опор моста с приведением примера применения таких зарядов.

Ключевые слова: *взрывчатое вещество, неконтактный заряд, опора моста.*

Mentus I. E. **Definition of main specifications for non-contact explosives**

Based on non-contact charges, efficiency analysis of calculation, correlations are resulted which allow to calculate the explosive charge weight more accurately to destroy a construction support.

While liquidating consequences of building destruction the situations occur when there is no time to prepare the object for blast or it is impossible to apply non-contact or contact charges due to a risk of sudden breakage; that is why it is required to apply non-contact charges. As for calculation of non-contact charges, all building materials should be divided into three groups: fragile, ductile and composite materials.

Fragile materials are timber, concrete, stone, stone and other materials with the diagram of “effort - deformation” practically remain linear up to destruction. Recommendations are given as to main specifications of non-contact explosive charges to destroy wooden bridge supports.

Such materials as steel, aluminium and magnesium alloys, copper, brass and other materials are used in large amount in modern constructions which have a non-linear “effort-deformation” diagram and it can have a fluidity limit – physical or conditional. They are ductile materials.

There is no need to split constructions or their elements of such materials by means of non-contact charges, as charges are large and inconvenient for practical application. In some cases, constructions of ductile

materials can be blasted and without split of elements, it is enough to deform support elements by blast so that they loose firmness or are removed from supports. Reinforced concrete is the most widespread composite material. In such materials an armature is protected from explosion, tense is passed through a massive layer of fragile concrete, capacity of which is increased by an armature that is why constructions elements can not be split even by explosion. Non-contact explosion of reinforced-concrete element supposes knockout of concrete and uncovering of steel. No split is supposed for compressing or bending elements to be blasted. To destroy damaged reinforced-concrete bridges, such form of destruction of support elements are even prevalent, as after their bringing down in a bridge wasp there remain non-split elements and uncomfortable to move away elements, thus bound, strongly deformed steel blocks of ruined constructions which are impossible to move away and split into pieces. Thus, destruction of a bridge applying this technique we create more complicated conditions to renew it by the enemy. Recommendations are given as for determination of basic descriptions of non-contact explosives to destroy bridge supports.

Keywords: *explosives, non-contact charge, bridge support.*