

*С.А. Виноградов, к.т.н., доцент кафедри, НУЦЗУ,
М.О. Консуров, ад'юнкт, НУЦЗУ,
Я.С. Сокол, викладач, НУЦЗУ*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО РУЙНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

(представлено д-ром техн. наук Бодянським Е.В.)

У статті наведені результати експериментальних досліджень з визначення впливу параметрів системи гідроімпульсного руйнування елементів будівельних конструкцій та відстані до точки контакту на швидкість струменя рідини.

Ключові слова: аварійно-рятувальні роботи, руйнування, система гідроімпульсного руйнування, струмінь рідини високої швидкості, будівельні конструкції.

Постановка проблеми. Використання високошвидкісних струменів рідини для руйнування елементів будівельних конструкцій є перспективним напрямком вдосконалення аварійно-рятувального інструменту (АІ) [1]. Для такого інструменту визначальною характеристикою є сила, з якою водяний струмінь діє на елемент, що руйнується. Ця сила прямо пропорційна швидкості струменя у точці контакту [2]. Тому необхідно визначити зміну швидкості на відстані від параметрів системи гідроімпульсного руйнування (СГІР).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спосіб руйнування елементів будівельних конструкцій, запропонований авторами, захищений охоронним документом [3]. У роботі [2] запропонована схема СГІР для руйнування елементів будівельних конструкцій та визначена швидкість струменя на виході з сопла. Дослідження швидкості польоту струменя рідини на відстані від сопла для СГІР такої конструкції не проводилось.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є визначення впливу параметрів системи гідроімпульсного руйнування елементів будівельних конструкцій та відстані точки контакту від СГІР на швидкість руху струменя рідини високої швидкості експериментальним шляхом.

Експериментальні дослідження проводилися за схемою, що наведена на рис. 1.

Дослідний зразок системи гідроімпульсного руйнування зображений на рис. 2. Він складається зі ствола 3 діаметром 20 мм, що закріплений на опорному пристрої 7 та має відкатний пристрій 2.

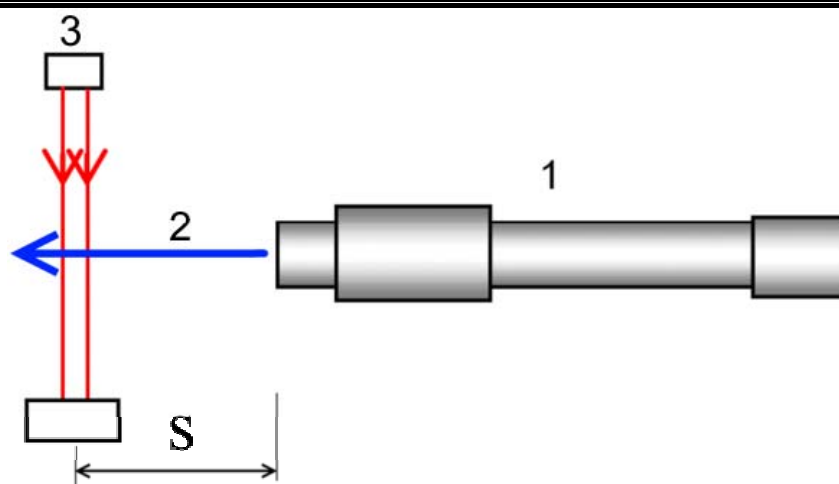


Рис. 1. Схема проведення експерименту: 1 – СГІР; 2 – струмінь рідини; 3 – система вимірювання швидкості

Довжину ствола можна змінювати за допомогою набору подовжувачів 5 за допомогою з'єднувачів 4. Для надання струменю рідини прискорення наприкінці ствола встановлюються змінні сопла 6 різного діаметру. Водяний заряд заливається через сопло 6 та отримує енергію від порохового заряду, що розташований в патроні в казенній частині 8 СГІР. За допомогою ударно-спускового механізму 1 з дистанційним керуванням СГІР приводиться в дію.

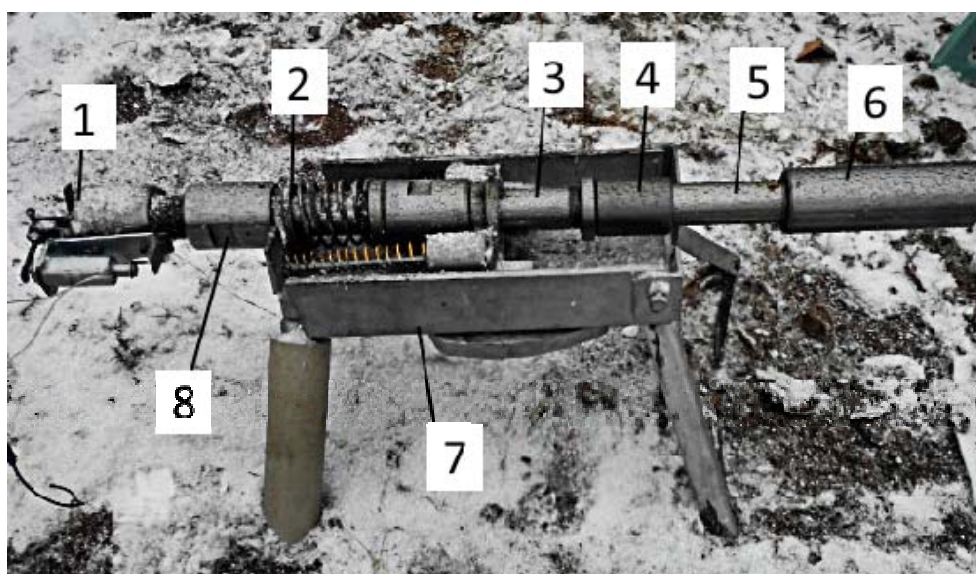


Рис. 2. Дослідний зразок системи гідроімпульсного руйнування: 1 – ударно-спусковий механізм; 2 – відкатний пристрій; 3 – ствол; 4 – з'єднувач; 5 – подовжувач ствола; 6 – сопло; 7 – опорний пристрій; 8 – казенна частина

Вимірювання швидкості струменя рідини в точці контакту на відстані S від СГІР проводилося за допомогою безконтактної лазерної системи вимірювання швидкості [4].

Виходячи з умов проведення експерименту та з урахуванням аналізу змінних в математичній моделі роботи СГІР [2], функцію відгуку швидкості руху струменю рідини можна представити у вигляді

$$u_{\max} = f(m_{p0}, L_c, S, d_s), \quad (1)$$

де m_{p0} – маса порохового заряду; L_c – довжина ствола СГІР (визначає кількість рідини, що бере участь у руйнуванні); d_s – діаметр сопла СГІР.

Нехай модель (1) має вид [5]

$$\begin{aligned} u_{\max} = & m_0 + m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + m_4 \cdot x_4 + \\ & + m_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + m_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + m_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + \\ & + m_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + m_{24} \cdot x_2 \cdot x_4 + m_{34} \cdot x_3 \cdot x_4 + \\ & + m'_1 \cdot x_1^2 + m'_2 \cdot x_2^2 + m'_3 \cdot x_3^2 + m'_4 \cdot x_4^2, \end{aligned} \quad (2)$$

де $m_0, m_i, m_{ij}, m'_i, m'_j, m'_c, m'_s$ – коефіцієнти регресії, що будуть отримані в результаті експерименту; $x_i, i = \overline{1,4}$ – змінні, що пов'язані з вихідними параметрами m_{p0}, L_c, S, d_s наступним чином

$$x_1 = \frac{m_{p0} - m_{p0(0)}}{\Delta m_{p0}}; \quad x_2 = \frac{L_c - L_{c(0)}}{\Delta L_c}; \quad x_3 = \frac{S - S_{(0)}}{\Delta S}; \quad x_4 = \frac{d_s - d_{s(0)}}{\Delta d_s}, \quad (3)$$

де $m_{p0(0)}, L_{c(0)}, S_{(0)}, d_{s(0)}$ – значення факторів на нульовому рівні, що наведені в табл. 1; $\Delta m_{p0}, \Delta L_c, \Delta S, \Delta d_s$ – інтервали варіювання факторів, наведені в тій же таблиці.

Табл. 1. Рівні варіювання факторів

Фактори		Кодове позначення	Нульовий рівень $x_i = 0$	Інтервал варіювання	Рівень $x_i = 1$	Рівень $x_i = -1$
Маса порохового заряду	$m_{p0},$ г	x_1	5	2	7	3
Довжина ствола СГІР	$L_c,$ мм	x_2	375	160	535	216
Відстань до точки контакту	$S,$ мм	x_3	30	20	50	10
Діаметр сопла СГІР	$d_s,$ мм	x_4	9,9	1,4	11,3	8,5

План-матриця експерименту представлена в табл. 2. Наведений план дозволяє проводити незалежну оцінку коефіцієнтів рівняння регресії.

Табл. 2. Центральний композиційний план повного факторного експерименту типу 2^4 і результати дослідів

№ р/п	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_1 x_4$	$x_2 x_3$	$x_2 x_4$	$x_3 x_4$	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_4^2	u , м/с
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	376
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	958
3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	342
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	989
5	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	401
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	976
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	432
8	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1127
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	351
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	337
11	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	283
12	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	423
13	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	281
14	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	401
15	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	296
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	412

Обробка експериментальних даних проводилася в пакеті програм STATISTICA 6.0, після чого були отримані регресійні рівняння швидкості руху струменя рідини в точці контакту від вихідних параметрів та побудовані відповідні залежності.

Так, на рис. 3 наведені поверхні відгуку залежностей швидкості струменя в точці контакту від довжини ствола та маси порохового заряду.

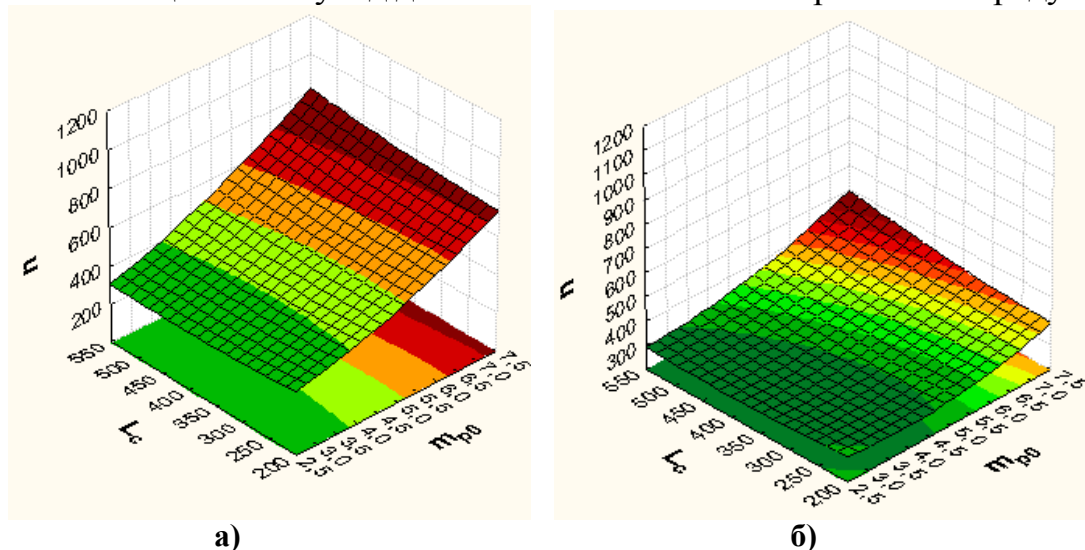


Рис. 3. Залежність u від L_c та m_{p0} : а) $S=10$ мм, $d_s=9,9$ мм; б) $S=50$ мм, $d_s=11,3$ мм

Виходячи з аналізу цих поверхонь можна зробити висновок, що швидкість струменя рідини в точці контакту на малих відстанях від СГІР не залежить від довжини ствола, а з віддаленням від сопла вплив кількості рідини збільшується. Збільшення порохового заряду веде до підвищення швидкості в точці контакту.

Так, збільшення маси порохового заряду в 3 рази призводить до збільшення швидкості на відстані 10 мм від СГІР на 100-150 %. Але зі збільшенням відстані до точки контакту вплив порохового заряду на швидкість зменшується і її підвищення за тих самих умов не перевищує 70 %.

Аналіз впливу діаметра сопла СГІР та довжини її ствола (рис. 4) підтвердив, що довжина не є визначальним параметром для швидкості рідини в точці контакту.

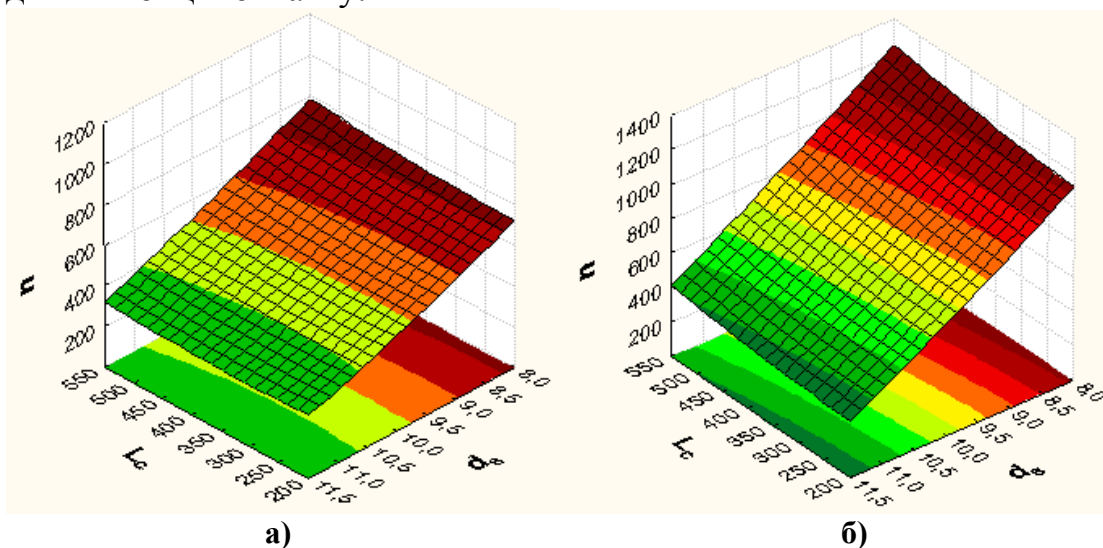


Рис. 4. Залежність u від L_c та d_s : а) $S=30$ мм, $m_{p0}=5$ г; б) $S=50$ мм, $m_{p0}=7$ г

А зменшення діаметру сопла призводить до збільшення швидкості в залежності від кількості порохового заряду.

Наглядно цю залежність можна простежити, проаналізувавши поверхні на рис. 5.

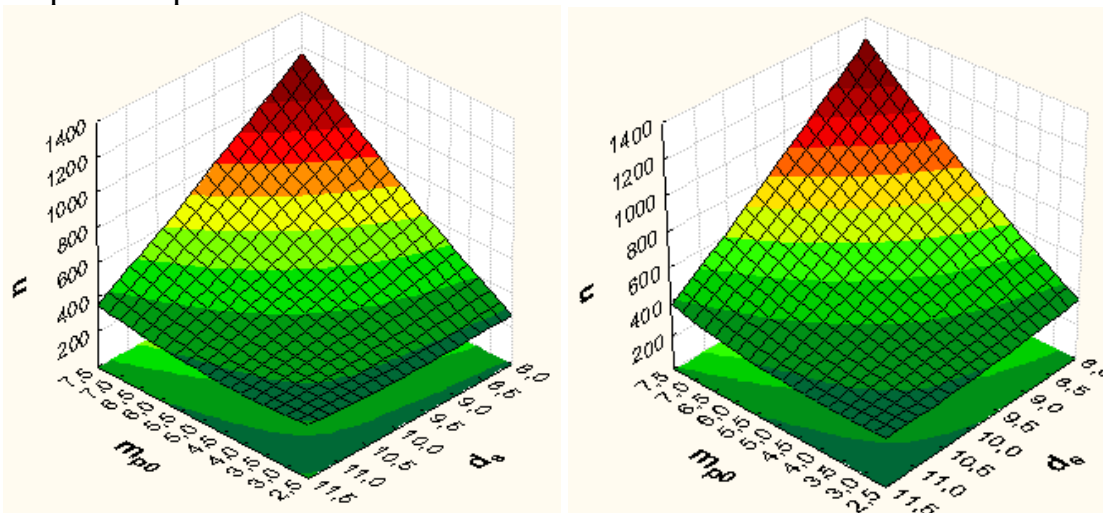


Рис. 5. Залежність u від d_s та m_{p0} : а) $S=10$ мм, $L_c=375$ мм; б) $S=50$ мм, $L_c=375$ мм

Збільшення швидкості при зменшенні радіусу сопла тим більше, чим більше пороховий заряд. За маси порохового заряду 7,5 г зменшення діаметру сопла на 30 % дійсно призводить до підвищення швидкості у 3-4 рази, але за маси 2,5 г підвищення швидкості не перевищує 80 % за тих самих умов.

Аналізуючи зміну швидкості струменя в точці контакту на відстані від сопла СГР (рис. 6) від різних параметрів можна зробити висновок, що зі збільшенням відстані з 10 мм до 50 мм швидкість підвищується на (15-20) % та досягає свого максимуму на відстані $S_{\max}=(4,5-6) \cdot d_s$.

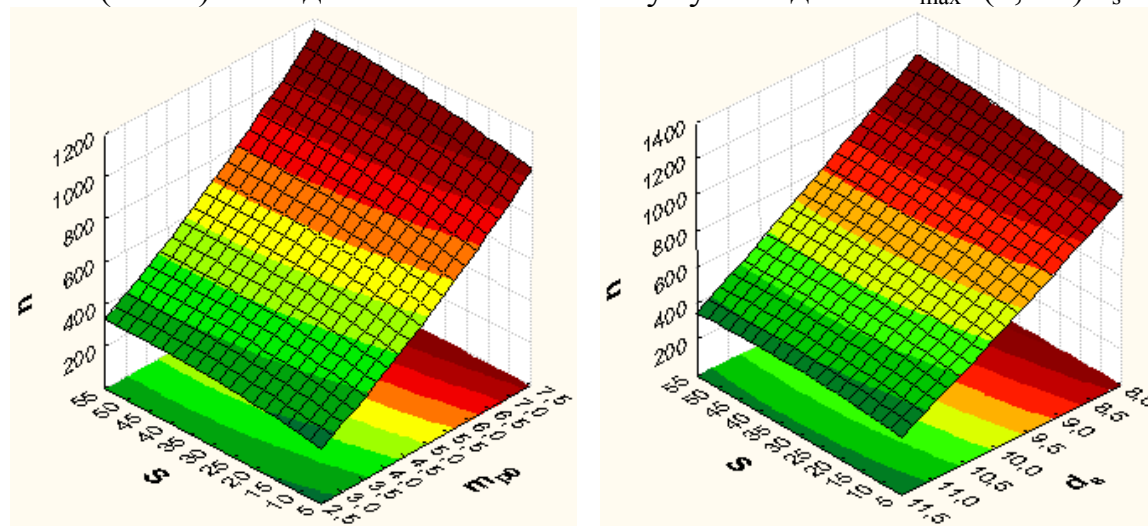


Рис. 6. Вплив S на u : а) залежність u від S та m_{p0} ; б) залежність u від S та d_s

Висновки. Проведені дослідження з визначення швидкості струменя рідини в точці контакту з перешкодою від початкових параметрів системи гідроімпульсного руйнування показали, що визначальними параметрами для швидкості є діаметр сопла СГР та маса порохового заряду. Збільшення маси порохового заряду в 3 рази призводить до підвищення швидкості в 2-2,5 рази, а зменшення діаметру з 11,5 мм до 8 мм дозволяє підвищити швидкість в 3-4 рази. Довжина ствола, а отже кількість рідини, не має визначального впливу на швидкість струменя. Дослідження показали, що швидкість струменя рідини СГР зростає по мірі віддалення від сопла та набуває максимуму на відстані від 4,5 до 6 діаметрів сопла. Подальші дослідження в цьому напрямку повинні бути спрямовані на дослідження процесу руйнування елементів будівельних конструкцій за допомогою СГР.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грицына И.Н. Высокоскоростные струи жидкости как средство гидроразрушения элементов строительных конструкций при проведении аварийно-спасательных работ / Грицына И.Н., Виноградов С.А.,

Консуров Н.О. // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ, 2013. – №2 (28) . – С. 173-178.

2. Разработка схемы аварийно-спасательного инструмента для разрушения элементов строительных конструкций и определение его геометрических параметров [Электронный ресурс] / Виноградов С.А., Грицына И.Н., Консуров Н.О., Семко А.Н. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – Вып. 34. – С. 45-51. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol34/vinogradov.pdf>.

3. Пат. 93939 Україна, МПК (2014.01) А62В 5/00, Е21F 11/00. Спосіб руйнування елементів будівельних конструкцій / Виноградов С.А., Консуров М.О., Калиновський А.Я., Ларін О.М.; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № u201404035, заяв. 15.04.2014; опубл. 27.10.2014, бюл. № 20.

4. Виноградов С.А. Удосконалення системи вимірювання швидкості високошвидкісних водяних струменів / Виноградов С.А., Консуров Н.О. // Матеріали 16 Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників, Київ, 23-24 вересня 2014 р. – Київ : ІДУЦЗ, 2014. – С. 60-61.

5. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье – К.: Техника, 1975. – 168 с.

С.А. Виноградов, Н.О. Консуров, Я.С. Сокол

Экспериментальные исследования системы гидроимпульсного разрушения элементов строительных конструкций

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по определению влияния параметров системы гидроимпульсного разрушения элементов строительных конструкций и расстояния до точки контакта на скорость струи жидкости.

Ключевые слова: аварийно-спасательные работы, разрушение, система гидроимпульсного разрушения, струя жидкости высокой скорости, строительные конструкции.

S.A. Vinogradov, N.O. Konsurov, Ya.S. Sokol

Experimental research of device of hydroimpulsive destruction of elements of building construction

This paper presents the results of experimental researches of influence of device of hydroimpulsive destruction of elements of building construction on the speed of high-speed water jet.

Keywords: rescue works, destruction, device of hydroimpulsive destruction, high-speed water jet, building construction.