

Максимюк В.А.¹, Ушакова В.С.², Ушаков О.В.³

¹проф.н.с., д.ф.-м.н., с.н.с., Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ, Україна, volmak@ukr.net

²с.н.с., к.ф.-м.н., с.н.с., Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ, Україна, creep@inmech.kiev.ua

³заст.нач.центру, Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, Київ, Україна, nddkr_ict@ssu.gov.ua

ПРО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНИХ ХВИЛЬ У ВОДЯНОМУ КУЛЕУЛОВЛЮВАЧІ

Анотація. Виготовлено спрощений макет циліндричного вертикального кулеуловлювача з орієнтацією на низькоенергетичні кулі. Засобами тензометрії за допомогою 8-канального реєстратора LMS SCADAS Mobile досліджено динаміку деформування зовнішньої поверхні циліндра в шести точках вздовж висоти. Зафіксовано поширення первинної та вторинної ударних хвиль. Обчислено швидкість поширення ударної хвилі у воді.

Ключові слова: циліндричний водяний кулеуловлювач, макет, експеримент, реєстратор LMS SCADAS Mobile, деформації, первинна та вторинна ударні хвилі.

Вступ. Кулеуловлювачі застосовують для експертизи та ідентифікації зброї за слідами на кулях. Кожна зброя залишає унікальний слід кулі, що сприяє розкриттю злочинів. За кулею можна встановити власника зброї. За інтенсивного використання кулеуловлювачі можуть виходити з ладу, особливо у випадках високоенергетичних куль.

Теоретичною основою розрахунків водяних кулеуловлювачів є задача про удар твердих тіл об поверхню рідини, яка досліджувалась понад століття [1]. Конструктори кулеуловлювачів надають перевагу теоретико-експериментальним або чисто експериментальним методам [2]. Вітчизняні конструктори також притримуються таких підходів [3]. Більшість публікацій в цій галузі стосується патентознавства, в яких механічні явища в кулеуловлювачах не розглядаються. Тому експериментальне дослідження динамічних механічних явищ в корпусі кулеуловлювача і в рідині є актуальним.

Матеріал і результати досліджень. Для визначення раціональних з погляду запасу міцності параметрів циліндричного гідрокулеуловлювача було виконано експерименти в Центрі колективного користування приладами «Аналізатор динамічних процесів» з використанням 8-канального реєстратора (рис. 1) вібраційних, акустичних і тензосигналів LMS SCADAS Mobile (Бельгія).



На основі попередньої верхньої оцінки було виготовлено спрощений експериментальний макет вертикального кулеуловлювача. Для вимірювання деформацій ε на зовнішню поверхню сталеві труби висотою (l) 2 м, діаметром (d) 0,2 м і товщиною стінок (h) 5 мм було наклеєно вздовж висоти ряд тензорезисторів з базою 3 мм і опором 120 Ом. Маса труби з водою становила понад 100 кг. Відстрілювались кулі масою 7,45 г з початковою швидкістю 360 м/с.



Рисунок 1 – Реєстратор LMS SCADAS Mobile

На рис. 2 показана осцилограма колових деформацій одного з каналів (C2) від тензорезистора, наклеєного на висоті 0,55 м від дна циліндра. Вертикальні подвійні курсори відмічають проміжки часу між моментами осцилограмми.

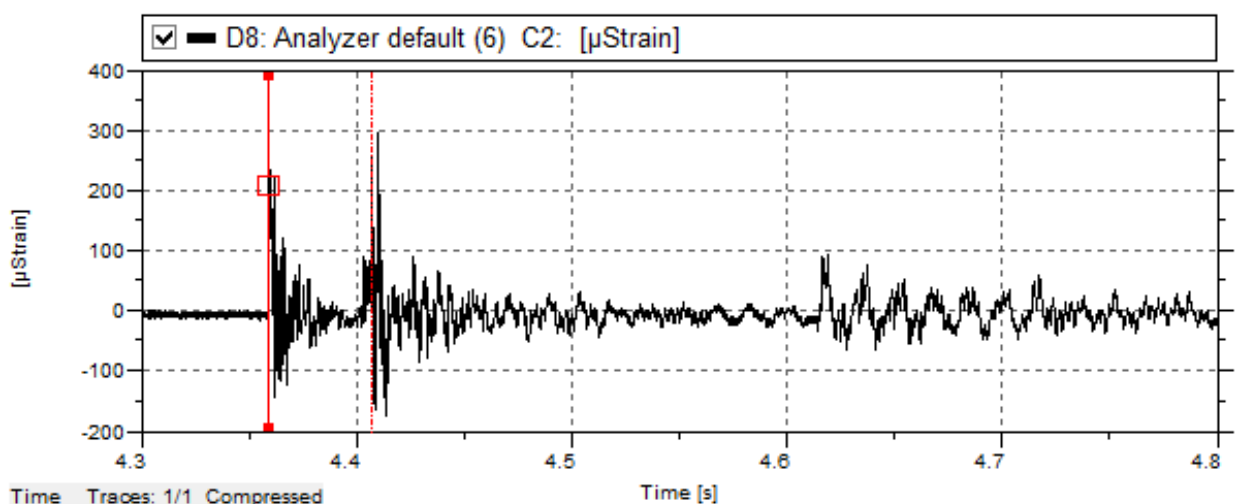


Рисунок 2 – Колові деформації на зовнішній поверхні циліндра

На цій та інших осцилограмах спостерігались по три локальні сплески максимальних деформацій півшириною біля 0,5 мс (час t відраховується від початку запису приладом), що свідчить про поширення ударної хвилі в трубі. Перші сплески ($t_1 \approx 4,35$ с) відповідають моментам проходу фронту ударної хвилі. Другі сплески ($t_2 \approx 4,4$ с) виникають через порівняно короткий проміжок часу $\Delta t_{12} = 0,047$ с після перших, що було встановлено за допомогою вертикальних курсорів (рис. 2). Треті сплески ($t_3 \approx 4,6$ с) виникають через довший проміжок часу $\Delta t_{13} = 0,257$ с.



Треті сплески мають просте пояснення. Річ у тім, що кулеуловлювач, отримавши імпульс від кулі, ніби «підскакує» від підлоги (візуально на кілька сантиметрів). Після цього він вдаряється об підлогу, що викликає нову ударну хвилю, яка поширюється вгору. За час $\Delta t_{13} = 0,257$ с конструкція встигає піднятися й опуститися з висоти $\Delta H \approx 8,2$ см, що узгоджується з візуальним спостереженням.

В подібному експерименті [4] в сталевий резервуар з водою розміром 60 см×60 см×80 см і товщиною 5 мм вертикально відстрілювались кулі калібром 5,7 мм і масою 2,67 г з початковою швидкістю 352 м/с. На рис. 3 наведено зміну в часі тиску у воді. Цифри означають: 1 - первинна ударна хвиля від початкового удару кулі об поверхню води; 2 - негативний тиск у порожні за кулею, 3 – вторинна ударна хвиля, породжена колапсом порожнини. Вторинна хвиля виникає приблизно через 7 мс після первинної. На підставі оптичних спостережень автори пояснили появу вторинної ударної хвилі явищем суперкавітації. В нашому випадку повторна ударна хвиля приходила через 47 мс.

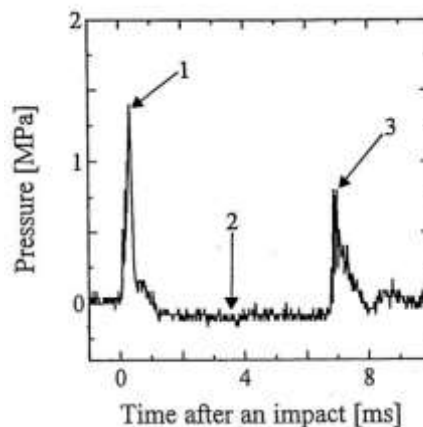


Рисунок 3 – Первинна (1) і вторинна (3) ударні хвилі [4]

Висновки. Таким чином, попереду кулі біжить ударна хвиля, яка викликає деформування, де ще кулі нема. Тобто вода на удар реагує як тверде тіло, практично миттєво передаючи деформацію на всю трубу. Для зменшення деформацій доцільно збільшувати всі геометричні розміри кулеуловлювача, включаючи його довжину.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Truscott, T. T., Epps, B. P., & Belden, J. (2014). Water entry of projectiles. *Annual review of fluid mechanics*, 46(1), 355-378.
2. Werner, D., Rhumorbarbe, D., Kronseder, P., & Gallusser, A. (2018). Comparison of three bullet recovery systems. *Forensic science international*, 290, 251-257.



3. Ганзюк, А. Л., Кравчук, О. В., & Гордєєв, А. І. (2023). Особливості будови, розрахунку та експлуатації гідрокулеулловлювачів. *Криміналістичний вісник*, 40 (2), 7–15.

4. Shi, H. H., & Kume, M. (2001). An experimental research on the flow field of water entry by pressure measurements. *Physics of Fluids*, 13(1), 347-349.

