

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗАНУРЕННЯ ПАЛЬ НАВІСНИМ ВІБРОУДАРНИМ ПРИСТРОЄМ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ

Іванчук Я. В., Яровий А. А., Коваль К. О., Бельзецький Р. С.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

***Анотація.** Визначено високу ефективність технологічного процесу занурення паль за допомогою прикладання знакозмінних імпульсних навантажень на виконавчий орган машини. Високого ступеню інтенсифікації процесу занурення паль досягнуто застосуванням розробленого оригінального навісного інерційного віброударного пристрою з гідроімпульсним приводом на базі двокаскадного клапана-пульсатора. Розроблено нову математичну модель для дослідження технологічних процесів занурення паль навісним інерційним віброударним пристроєм на базі законів гідродинаміки з використанням механореологічної феноменології й узагальнених законів механіки. На основі розробленої математичної моделі методом кінцевих об'ємів за допомогою чисельного моделювання й методу припасовування отримано розподіл тиску і швидкості робочої рідини в гідроімпульсному приводі навісного інерційного віброударного пристрою. Також було отримано діаграми зміни відносної й абсолютної швидкості рухомих елементів гідроімпульсного привода. Розроблена оригінальна математична модель занурення паль дозволила отримати залежності зміни напружено-деформованого стану палі і переміщення центрів мас шарів ґрунту, з яким безпосередньо контактує паля. Отримані робочі залежності основних робочих характеристик інерційного віброударного пристрою на базі гідроімпульсного привода дозволили отримати основні робочі залежності для подальшого підвищення ефективності технологічного процесу занурення паль. Отримані результати чисельного моделювання показали переваги обраного підходу до проектування, а також дозволили довести ефективність розробленої конструкції.*

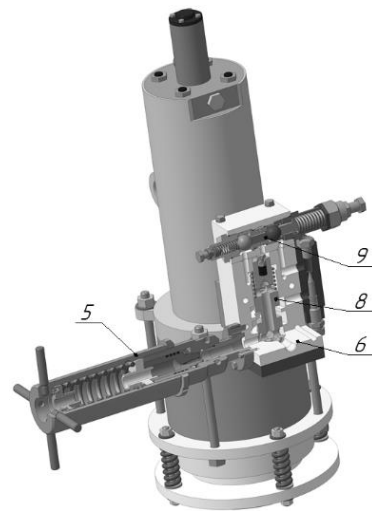
***Ключові слова:** занурення; привод; гідродинаміка; палі; ґрунт; моделювання*

Віброударним зануренням прийнято називати занурення твердого тіла в опорне середовище під дією імпульсної і знакозмінної сил [1, 2].

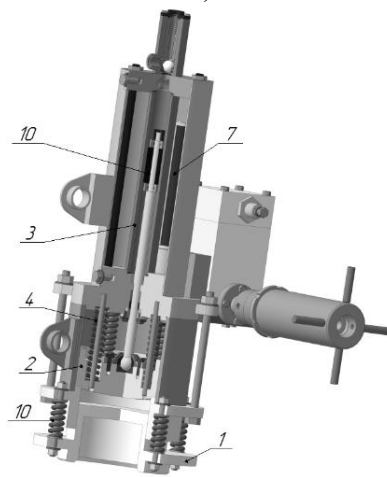
Введенням імпульсно знакозмінної складової можна суттєво знизити постійну складову сили, необхідну для ефективного занурення. Це дає можливість за допомогою віброударних машин занурювати переважно в піщані і глинисті ґрунти елементи, опір зануренню яких в багато разів перевершує силу тяжіння віброуючої системи. У випадках значної зміни властивостей ґрунту під дією вібрації, що має місце у водонасичених ґрунтах, можна добитися не тільки зниження необхідної для занурення постійної сили, але й енергії, що тратиться на занурення [3].

Для ефективного занурення паль був розроблений навісний інерційний віброударний пристрій (НІВП) на базі гідроімпульсного привода (ГПП) (рис. 1) [4]. Даний НІВП складається із наголовника 1, який сполучений із палею, і ударної маси 2, яка приводиться в рух за допомогою ГПП, який в свою чергу складається із виконавчого гідроциліндра 3 і генератора імпульсів тиску (ГІТ) 5. ГІТ до виконавчого гідроциліндра 3 підключається по схемі «на вході» [2] через гідроакумулятор 6. Даний тип підключення ГІТ дозволяє на робочий орган 10 (плунжер) виконавчого гідроциліндра прикладати силове навантаження, яке має функцію зміни сил імпульсної форми [1]. Робочий цикл НІВ починається із наповнення гідроакумулятора 6, і відповідно акумулюванням в ньому тиску до певного заданого значення  $p_1$ , яке задається регулювальною пружиною на сервоклапані 9 ГІТ 5. Після досягнення заданого тиску  $p_1$ , в ГІТ 5 відкривається клапан другого каскаду 8, який

сполучає порожнину гідроаккумулятора 6 із робочою порожниною виконавчого гідроциліндра 3. Різке збільшення тиску в робочій порожнині виконавчого гідроциліндра 3 заставляє плунжер рухатись вгору, що заставляє за собою піднімати інерційну масу 2, при цьому стискаючи пружні елементи 4. Рух інерційної маси 2 вгору спричиняє накопиченню потенційної енергії від дії сил тяжіння і пружних сил. Після падіння тиску в системі ГП до тиску  $p_2$ , який визначається конструктивними параметрами сервоклапану 9, інерційна маса 2 починає рухатись вниз, що спричиняє ударну взаємодію із наголовником 1, яка в свою чергу передається на палю. Також при падінні тиску в системі ГП до тиску  $p_2$ , відбувається сполучення робочої порожнини виконавчого гідроциліндра 3 зі зливною лінією 7, за допомогою клапана другого каскаду 8. При цьому зливна лінія 7 сполучена із надплунжерною порожниною виконавчого гідроциліндра 3, що додатково створює навантаження на плунжер 10 при ході вниз. Дане конструктивне рішення додає додаткову кінетичну енергію інерційній масі 2, яка дозволяє збільшити енергію ударного навантаження по наголовнику 1. Взагалом керуванням спрацювання клапану другого каскаду 8 відповідає сервоклапан 9.



а)



б)

**Рис. 1. Загальний вигляд у розрізі прототипу нависного інерційного віброударного пристрою:  
а – вид справа; б – вид зліва**

Математична модель технологічного процесу занурення паль за допомогою НІВП на базі ГП, була реалізована методами чисельного моделювання [5] за допомогою

інформаційної технології FSI [4] і комп'ютерних систем [6] на базі програмних комплексів FlowVision [4, 5], APM Structure [2] і Matlab Simulink [3]. Результатами моделювання є розподіл тиску і швидкості робочої рідини в робочій порожнині ГПП навісного інерційного віброударного пристрою (рис. 2), а також зміни кінематичних параметрів занурюваної палі (рис. 3). Додаткові результати моделювання приведені у працях [1-5].

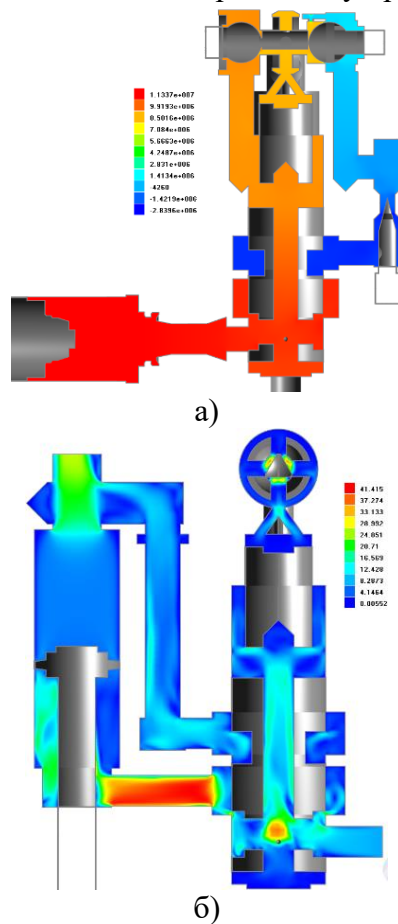


Рис. 2. Результати моделювання роботи НІВП на базі ГПП: а) – розподіл тиску робочої рідини; б) – розподіл швидкості робочої рідини

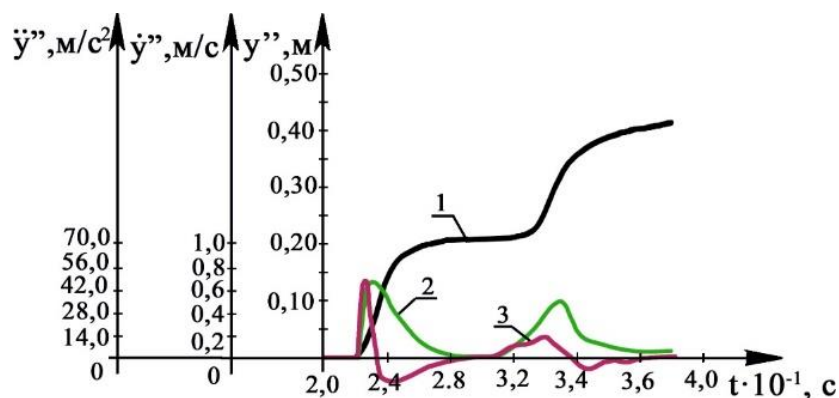


Рис. 3. Діаграми зміни кінематичних параметрів занурюваної палі під час роботи віброударного пристрою на базі ГПП

Отримані результати чисельного моделювання технологічного процесу занурення палі за допомогою НІВП на базі ГПП, показав переваги обраного підходу до проектування,

а також дозволив довести ефективність розробленої конструкції ГПП, на базі двокаскадного клапана-пульсатора.

## **Mathematical modeling of pile immersion technological processes by mounted vibro-shock device with hydraulic pulse drive**

**Ivanchuk Yaroslav, Yorovyi Andrii, Koval Kostyantyn, Belzetskyi Ruslan**

***Abstract.** The high efficiency of the technological process of pile driving using the application of alternating impulse loads on the executive body of the machine is determined. A high degree of intensification of the piling process was achieved by using the developed original hinged inertial vibro-shock device with a hydraulic pulse drive based on a two-stage pulsator valve. A new mathematical model has been developed for studying technological processes of pile driving by a mounted inertial vibro-shock device based on the laws of hydrodynamics using mechanorheological phenomenology and generalized laws of mechanics. Based on the developed mathematical model, the finite volume method, using numerical modeling and the fit method, obtained the distribution of pressure and velocity of the working fluid in the Hydro over the mounted inertial vibro-shock device. Also, diagrams of changes in the relative and absolute speed of the moving elements of the hydro-pulse drive were obtained. An original mathematical model of pile sinking was developed that made it possible to obtain dependences of changes in the stress-strain state of the pile and the displacement of the centers of mass of the soil layers with which the pile is in direct contact. The obtained working dependences of the main operating characteristics of an inertial vibro-shock device based on a hydro-pulse drive made it possible to obtain the main working dependencies to further increase the efficiency of the pile driving process. The obtained results of numerical modeling showed the advantages of the chosen design approach, and also allowed to prove the effectiveness of the developed design.*

**Keywords:** immersion; drive unit; hydrodynamics; pile; the soil; modeling

### **Список літератури**

1. Іскович–Лотоцький Р. Д. Оптимізація конструктивних параметрів інерційного вібропрес–молота // Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Вісник машинобудування та транспорту. – 2016. – №2. – С. 43 – 50.
2. Іскович–Лотоцький Р.Д. Дослідження динаміки процесу роботи універсального гідравлічного віброудраного приводу для розвантаження транспортних засобів / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»)– Луцьк, 2007. – № 20. – С. 184 – 187.
3. Іскович–Лотоцький Р. Д. Математичне моделювання робочих процесів інерційного вібропрес–молота з електрогідравлічною системою керування гідроімпульсного приводу для формоутворення заготовок з порошкових матеріалів // Р.Д. Іскович–Лотоцький, В.П. Міськов, Я.В. Іванчук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2016, – №3(237). – С. 176 – 180.
4. Іскович–Лотоцький Р. Д. Застосування гібридного моделювання при розробці установок для утилізації відходів. / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Д. В. Тесовський, Я. П. Веселовський // Технологічні комплекси. Науковий журнал – Луцьк, 2012. – № 1,2 (5, 6). – С. 122 – 126.
5. Іванчук Я. В. Математичний метод визначення стійкості коливальних систем під дією зовнішнього вібраційного навантаження / Я. В. Іванчук / Технічні науки та технології : науковий журнал / Чернігів. нац. техн. ун-т. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – № 2 (12). – с. 25 – 33 . doi: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-25-33.
6. Яровий А. А. Методи та засоби організації високопродуктивних паралельно-ієрархічних обчислювальних систем із рекурсивною архітектурою : монографія / А. А. Яровий. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 363 с.