

UDC 622.232.5

<https://doi.org/10.15407/mining11.01.093>

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ГІДРОМЕХАНІЧНИМ СПОСОБОМ

З. Маланчук¹, В. Корнієнко^{1*}, Є. Маланчук²¹Кафедра розробки родовищ та видобування корисних копалин, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна²Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна*Відповідальний автор: e-mail kvja@mail.ru, тел. +380501014248

RESULTS OF RESEARCH INTO AMBER MINING BY HYDROMECHANICAL METHOD

Z. Malanchuk¹, V. Korniienko^{1*}, Ye. Malanchuk²¹Department of Development of Deposits and Mining, National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine²Department of Automation, Electrical Engineering and Computer-Integrated Technologies, National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine*Corresponding author: e-mail kvja@mail.ru, tel. +380501014248

ABSTRACT

Purpose. To specify parameters of the relationship between sandy rock and vibrohydraulic intensifier as well as to justify the use of hydromechanical method to intensify amber extraction.

Methods. The basic laws of surface amber extraction processes from sandy amber deposits using hydromechanical method with vibrohydraulic device were experimentally studied. Analytical studies were performed using differential and integral calculation, experimental studies involved methods of mathematical statistics.

Findings. Parameters of the relationship between sandy rock and vibrohydraulic intensifier have been established by detecting the intensifier amplitude, frequency, rock density, water and air supply into the massif, which allows to create a continuous suspension medium and increase amber mining productivity.

Originality. For the first time, the research has established the influence of vibration, water and air on the liquefaction of sandy media which is achieved by vibrohydraulic dredger in the natural environment, depending on the intensity of gas-liquid mixture feeding into the amber containing massif. It was established that water and air consumption is directly proportional to the volume of the working space, penetration rate; medium porosity, density and moisture content.

Practical implications. As a result of the research, efficiency and effectiveness of hydromechanical method of amber extraction from deposits has been proved; the vibrohydraulic dredger for amber extraction from sandy deposits has been manufactured. Technical novelty of this device is confirmed by patents of Ukraine; the technique of vibrohydraulic device engineering design is worked out.

Keywords: *amber, massif, liquefaction, suspension, floating up, segregation, vibration, parameter, vibroemitter, intensifier*

1. ВСТУП

В Рівненсько-Волинському регіоні України розвідані значні поклади бурштину. Видобувні роботи нині ведуться на Клесівському родовищі (Сарненський район) та на ділянках Володимирецького (с. Бережниця) та Дубровицького (с. Вільне) районів. Сумарні запаси оцінюються у 100 тис. т, які переважно залягають у піщаних та піщано-глинистих ґрунтах на глибині до 15 м і є достатніми для дослідження та впровадження нових технологій.

Відкриття промислових розсіпів бурштину в Україні розпочалося з розробки у 1980 році Клесівського родовища, яке є діючим і донині. Подальші пошукові та пошуково-оцінювальні роботи в межах Клесівського бурштиноносного району, що здійснювались на протязі останніх 30-ти років, розширили відомості про його геологічну будову і умови утворення первинних розсіпів бурштину.

Продуктивні (межигірські) відклади південно-східної частини Клесівського району (ділянки Пугач,

Роднікова, Дюни та прояв Федорівка) заповнюють пониження між виходами на доберекську поверхню протерозойських кристалічних утворень та їх кір вивітрювання (Рис. 1). Продуктивні відклади Клесівського родовища залягають смугою шириною від 200 до 700 м, яка простежується з південного сходу на північний захід між виходами на domeжигірську поверхню дрібних виступів фундаменту. Протяжність збагаченої бурштином смуги складає понад 2 км. Виходи кристалічних порід серед межигірських відкладів незначні за розмірами і в межигірській час представляли собою численні абразійні острови площею біля 50%.

Добування бурштину із піщаних родовищ в основному здійснюється двома способами: механічним та гідравлічним.

В Національному університеті водного господарства та природокористування (НУВГП), м. Рівне, для видобутку бурштину запропонований гідромеханічний спосіб, який ґрунтується на насиченні масиву водою, збудженню механічним способом (віброзбудженням) та сегрегації бурштину на поверхню родовища за рахунок Архімедової сили. Дія та вплив на масив вібраційними засобами потребує аналізу і дослідження процесів, що відбуваються в бурштиновмісних піщаних ґрунтах (Malanchuk & Korniienko, 2014).

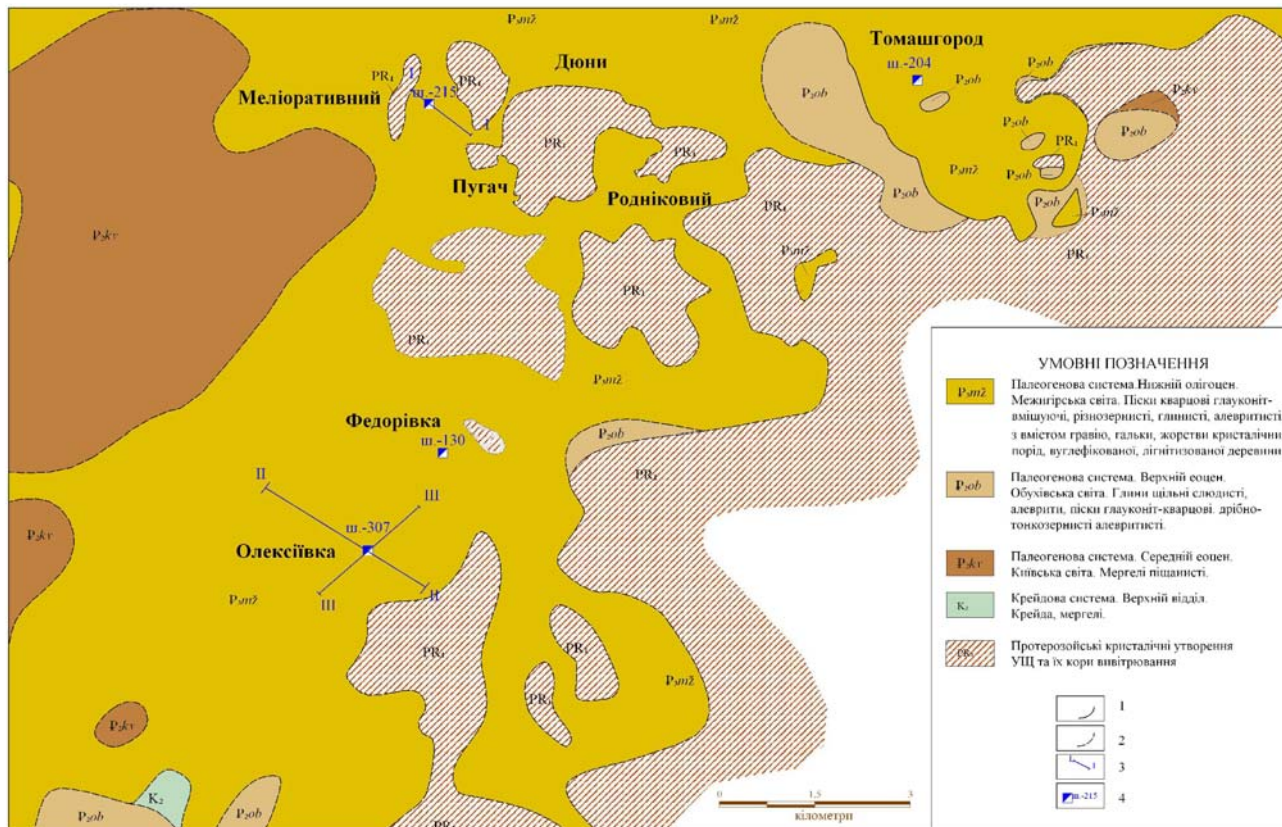


Рисунок 1. Схематична геологічна карта доберекської поверхні південної частини Клесівського бурштиноносного району: 1 – достовірні геологічні межі; 2 – ймовірні геологічні межі; 3 – лінії фаціальних розрізів та їх номери; 4 – шурфи, за даними яких побудовано корелятивні колонки, та їх номери

При застосуванні даного методу вібраційні машини впливають на ґрунтове середовище зверху, або вводяться в середину збуджуваної маси ґрунту. Ґрунтова маса є трифазною дисперсною системою, що складається із твердої (скелету), рідкої фази (води), яка заповнює пори, і газоподібної (деякої кількості повітря, водяних парів). Повітря знаходиться в затиснутому стані, тому переміщення бульбашок в відносно скелета породи майже не відбувається. Щодо рідкої фази, то існує дві частини води: молекулярно зв'язана із скелетом вода і вільна вода, яка може переміщуватись під дією сили ваги та градієнта тиску (Cruickshank & Ko, 2003; Iturralde-Vinent, 2001).

Оскільки бурштин на Клесівському родовищі залягає в піщаних ґрунтах, то піщаний ґрунт перехо-

дить у стан зрідження при насиченні водою та механічній дії на середовище.

Експериментальними дослідженнями зрідження піщаних ґрунтів займалися багато дослідників, зокрема Н.Н. Маслов. Теоретичні та експериментальні дослідження виконали також О.Е. Власов, Г.М. Ляхов, Н.М. Дмитрієв, В.І. Білокопитов, А.М. Аронов та ін.

Дослідженнями впливу на ґрунтове середовище вібраційної техніки займалися А.Ф. Булат (Bulat, Naduty, & Korniienko, 2014; Bulat, Naduty, & Korniienko, 2015), В.Н. Потураєв, В.П. Франчук, В.П. Надутий, Є.С. Лапшин, А.Д. Учитель, Л.А. Вайсберг, І.І. Блехман, Л.Б. Левенсон, І.Ф. Гончаревич, П.І. Пілов, Е.А. Непомнящий, Е.І. Назимко, А.О. Бондаренко та ряд інших (Burmashov, Chubarenko, & Stont, 2010; Alekseev, 2013).

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основні експериментальні дослідження були виконані в лабораторіях університету, Рівненській геологічній експедиції ДП “УкрПівнічГеологія” та Клевсьському бурштиновмісному піщаному родовищі, яке являється найбільш характерним для даного бурштиновмісного регіону. Дослідженнями встановлено, що при зрідженні руйнується структура піщаного бурштиновмісного середовища. Піщані частинки, в зоні дії вібрації, відділяються від загального масиву і приводяться в коливальні рухи біля свого рівноважного положення, а також переміщуються по деякій траєкторії відносно віброапарату. При цьому відбувається інтенсивний рух газу і води, які захоплюють із собою піщані частинки і бурштин і викидають їх на поверхню. Оскільки поверхня бурштину значно перевищує площу частинок, то під дією Архімедової сили куски бурштину виштовхуються на поверхню.

При вібраційній дії на піщаний масив ґрунту спостерігаються наступні стадії перетворення:

- віброзрідження (максимальна підготовка до інтенсивного перемішування);
- віброкипіння (відрив частинок та перемішування в масиві);
- поступове ущільнення масиву піщаного ґрунту від периферії до джерела вібрації.

Точка переходу із стану віборозрідження до віброкипіння характеризується максимальним ущільненням матеріалу і максимальним опором шару ґрунту.

Ефект віброзрідження шару аналогічний явищу вібраційної лінеаризації сухого тертя, тобто при наявності вібрації для передачі частинці відносного руху в середовищі потрібно менше постійне зусилля, чим при його відсутності. При зменшенні ефективного коефіцієнта тертя у віборозрідженому стані частинки не відриваючись проковзують відносно один одного. Шар розтікаючись ущільнюється.

З досліджень (Malanchuk & Korniienko, 2014) відомо, що переміщення піску у віброкиплячому шарі не підлягає закону руху частинок в безповітряному просторі. Крім сили ваги, на траєкторію переміщення шару піску суттєвий вплив має середовище. При підкиданні утворюється розрідження, при падінні – підвищення тиску середовища. На нижні шари піщаного ґрунту припадає більший перепад тиску, ніж на верхні, тому, повітря витісняється знизу та проводиться ущільнення між частинками.

Таким чином, віброкиплячий шар піщаного ґрунту веде себе, як насос, що перекачує газорідну суміш на поверхню, захоплюючи з собою частинки та транспортує їх на верх. При цьому швидкість підйому частинки знизу до верху залежить від інтенсивності вібраційного збудження масиву, розрідження середовища, насичення повітряними бульбашками та в'язкості середовища.

Перепад тиску залежить від частоти та амплітуди збудника коливань, висоти шару, розміру частинок і вологості піщаного ґрунту, а також коефіцієнта тертя частинок однієї об одну. Інтенсивність насосної дії віброкиплячого шару характеризується трьома параметрами: тиском над і розрідженням під віброкиплячим шаром, перепадом тиску в шарі.

Насосний ефект забезпечується при вібрації в наступних послідовностях: 24 – 26 Гц; 48 – 52 Гц; 96 – 104 Гц.

Отже, на створення віброкиплячого шару ґрунту впливають наступні параметри:

- 1) амплітуда коливань;
- 2) частота коливань;
- 3) змушуюча сила;
- 4) тиск води;
- 5) тиск повітря;
- 6) геометричне розташування збудників коливань.

В значній мірі дані параметри визначаються експериментально.

Суттєвим фактором, який впливає на розпушення піщаної маси є пористість (n_1) середовища, яка визначається з виразу:

$$n_1 = \frac{(V_w - V_c)}{V_w}, \quad (1)$$

де:

V_w – повний об'єм шару ґрунту;

V_c – об'єм власних твердих частинок.

Різноманітний вплив динамічних навантажень на зрідженні водонасичені піщані ґрунти досліджував П.Л. Іванов. У своїх роботах він теоретично і експериментально досліджує поведінку пісків при дії різних збудників на зміни в середовищі та, зокрема, питанням зміни пористості. При дії на масив піщаного ґрунту вібраторів спостерігалися незначні зміни пористості масиву, а саме в межах $\Delta\eta = 1.0 - 1.5\%$. Зрідження середовища оцінюється пористістю віброкиплячого шару. Дослідженнями встановлено, що пористість віброкиплячого шару залежить від прискорення вібрації (Рис. 2).

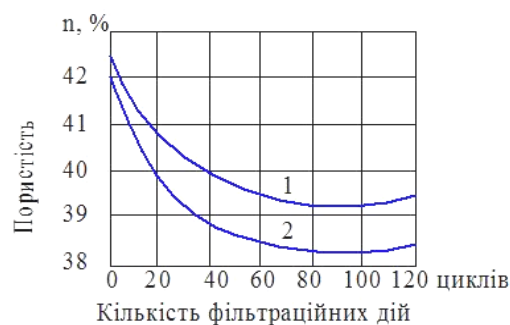


Рисунок 2. Залежність пористості піщаного ґрунту при дії на нього збудника коливань: 1 – при інтенсивності дії вібраційного збудження протягом 1 с; 2 – при інтенсивності дії вібраційного збудження протягом 0.5 с

При дослідженні впливу прискорення вібрації на пористість сухого кварцового піску після дії вібрації з прискоренням нижчим за прискорення вільного падіння відбувається ущільнення шару (пористість знижується). Із збільшенням прискорення вище критичного, шар переходить в стан віборозрідження (Sivkov & Chubarenko, 1997). Чим нижча частота вібрації, тим більша кінцева пористість (Рис. 3).

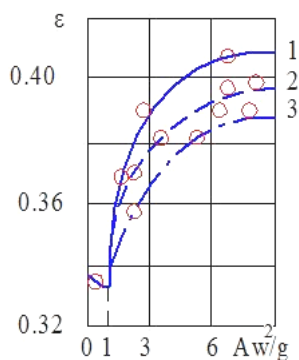


Рисунок 3. Залежність пористості (ϵ) віброкиплячого шару ґрунту кварцового піску від прискорення вібрації ($A\omega^2/g$) при різних частотах (1 – 3 Гц; 2 – 2 Гц; 3 – 6 Гц)

Нашими експериментальними дослідженнями встановлено, що амплітуда коливань (A_k) віброкиплячого шару має зв'язок між початковою пористістю середовища і приростом останньої при віброкипінні:

$$\frac{\Delta h}{h_{поч}} = KA_k, \quad (2)$$

де:

K – експериментальний коефіцієнт;

Δh – приріст віброкиплячого шару ґрунту від початкового завантаження;

$h_{поч}$ – початкова висота завантаження установки.

Амплітуди переміщення окремих частинок будуть зменшуватись із збільшенням відстані від центра вібрації, і повністю згаснуть, коли сили інерції будуть менше сил щеплення і тертя між ними. Масив і далі коливається, але зменшується інтенсивність вібрації, переміщення зникає, проходять лише пружні деформації. Чим більше щеплення між частинками середовища, тим менше радіус дії віброапарату. Звідси, для найкращого впливу на середовище, потрібно підбирати параметри машини в залежності від властивостей масиву ґрунту. При роботі з глиною і деякими суглинками ефективність роботи вібраторів мала. Дослідження з переміщення часток піщаного ґрунту при дії на середовище вібратора вказують на обмеженість зони дії вібраційного снаряда.

Дослідження зі створення віброкиплячого шару ґрунту проводилися нами в лабораторних умовах, на замкнених установках та у відкритих системах.

Віброгідралічний інтенсифікатор дозволяв створювати та вилучати за рахунок сегрегації в бурштиновмісному піщаному шарі бурштин на поверхню родовища.

Дослідження сегрегації бурштин, які проведені в піщаних ґрунтах при створенні суцільного суспензійного середовища вказують на те, що на процес спливання при дії вібрації та подачі в масив води і повітря діють Архімедова і вібраційна сили.

Експериментальними дослідженнями підтвержені припущення про залежність швидкості спливання бурштин від параметрів вібрації та подачі газорідної суміші в ґрунтовий масив.

Максимальні розрідження колоїдної маси (густини середовища ρ) спостерігались в піщаних ґрун-

тах при подачі повітря в киплячий шар ґрунту $q_n=0.02$ м³/год густина колоїдної маси (ρ_c) складала 0.8 – 0.9 кг/м³ при частоті вібрації 30 Гц (Рис. 4).

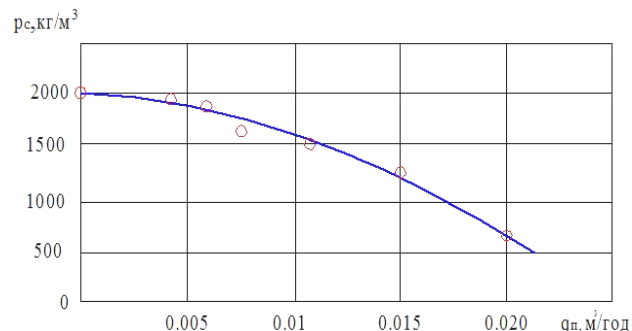


Рисунок 4. Залежність густини середовища від подачі повітря (q_n) при частоті вібрації 30 Гц

Мінімальна густина середовища (ρ_{max}) 1800 кг/м³ при подачі повітря (q_n) 0.004 м³/год досягалась при частоті вібрації 30 – 35 Гц.

Подача повітря в межах 0.01 – 0.12 м³/год на 1 м³ піщаного ґрунту розріджує бурштиновмісне піщане середовище та інтенсифікує процес спливання бурштин. Однак, збільшення витрат повітря призводить до зменшення швидкості спливання. Залежність зміни густини середовища при подачі повітря в киплячий шар ґрунту приведені на Рисунку 5.

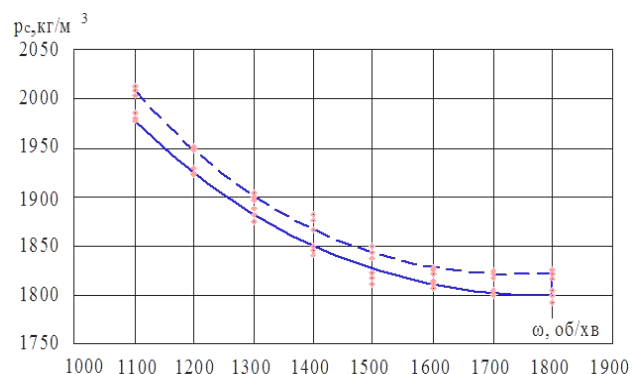


Рисунок 5. Залежність густини середовища від частоти вібрації (ω): — при подачі повітря в масив ґрунту 0.004 м³/год; - - - без подачі повітря в масив ґрунту

Подача газорідної суміші дозволяє інтенсифікувати процес підйому бурштин до максимальних значень, але при утворенні стовбурів повітря процес кипіння переходить в віброзрідження і припиняється. Максимальна швидкість спливання бурштин на денну поверхню спостерігається при зміні подачі газорідної суміші в піщаний масив в межах 0 до 0.020 м³/год.

Сегрегація в шарі бурштин і швидкості його спливання являються визначними в робочих режимах інтенсифікаторів.

Таким чином, при проведенні експериментальних досліджень спостерігалось наступне:

– швидкість спливання бурштин залежить від частоти вібрації, амплітуди та густини середовища та має свій екстремум;

– існують при різних значеннях частоти вібрації оптимальні значення подачі води і повітря при яких досягається найбільша швидкість спливання бурштину на поверхню родовища;

– густина середовища істотно впливає на створення умов швидкого виходу на поверхню бурштину, що впливає на продуктивність віброгідрравлічного інтенсифікатора бурштину;

– існують значення параметрів вібрації і подачі повітря і води при яких не створюється суспензне середовище, і відсутній підйом бурштину на поверхню родовища.

Експериментально встановлена раціональна густина середовища (ρ_c 1600 – 1800 кг/м³), що досягається частотою коливання 30 – 35 Гц, амплітудою, рівною $A = 1.07 - 2.50$ мм, подачі повітря, що становить $q_n = 0.004 - 0.006$ м³/год, при якій швидкість спливання бурштину $v = 0.10 - 0.15$ м/с (Рис. 6).

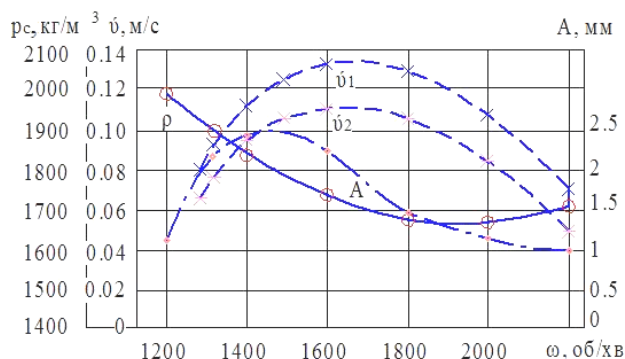


Рисунок 6. Залежність густини середовища, швидкості спливання бурштину, амплітуди інтенсифікатора від частоти вібрації при експериментальних дослідженнях (A – амплітуда коливань віброапарату; ρ – густина середовища; v^1 – швидкість спливання бурштину при подачі повітря $q_n = 0.004$ м³/год; v^2 – швидкість спливання бурштину при подачі повітря $q_n = 0.006$ м³/год)

Інтенсифікувати процес добування бурштину можливо при застосуванні вібрації, подачею в масив ґрунту води, або води і повітря. Витрати води визначаються з наступної залежності:

$$Q_{pv} = \frac{ABv}{1+e} \left(\frac{\rho_{ск}(1+W) - \rho_p(1+e)}{\rho_p - \rho_c} \right) \quad (3)$$

При подачі в масив повітря процес інтенсифікується, а витрати повітря визначаються за наступною залежністю:

$$Q_{нов} = \frac{n_1 AB v (\rho_c - \rho_p) + \frac{ABv}{1+e} (\rho_{ск}(1+W) - \rho_p(1+e))}{\rho_p} \quad (4)$$

де:

- v – швидкість установки, м/год;
- e – коефіцієнт пористості;
- W – вологість ґрунту;
- $\rho_{ск}$ – густина скелету ґрунту, кг/м³;

ρ_c – густина води, кг/м³;

ρ_p – густина середовища, кг/м³;

ρ_n – густина повітря;

n_1 – пористість середовища в природному стані;

A, B – ширина, довжина масиву ґрунту, що коливається, м.

Додаткові дослідження, що проведені нами в глинистих ґрунтах вказують, що на швидкість спливання бурштину впливає величина кусків бурштину (швидкість зростає із збільшенням кусків) та оптимальна густина середовища.

Оптимальною є та густина середовища, при якій досягається швидкість спливання бурштину, рівна $v = 0.50 - 0.60$ м/с, складає $\rho_c = 1450 - 1500$ кг/м³.

Визначення потужності вібраційних установок у переважній більшості здійснюється за залежністю:

$$N = P \cdot \bar{\omega} \cdot A_k \cdot \sin \delta \quad (5)$$

де:

$P = MA_k \bar{\omega}^2$ – максимальна збуджуюча сила;

$\bar{\omega}$ – частота вібрації;

$M = mgA_k$ – кінетичний момент;

m – маса обладнання;

g – прискорення вільного падіння;

A_k – амплітуда коливань;

$\delta = 20$ – кут фаз.

3. ВИСНОВКИ

Дослідженнями встановлені експериментальні залежності та підтверджені закономірності впливу вібраційних параметрів гідромеханічного способу видобутку бурштину з піщаних бурштиновмісних родовищ, які дозволяють видобувати 90 – 95% бурштину, а основними параметрами які впливають на інтенсивність підняття бурштину на денну поверхню являються густина середовища, амплітуда та частота вібрації.

Встановлено, що раціональна густина середовища ρ_c становить 1600 – 1800 кг/м³, частота коливання 30 – 35 Гц, амплітуда $A = 1.07 - 2.50$ мм, подача повітря $q_n = 0.004 - 0.006$ м³/год, при цьому швидкість спливання бурштину v рівна 0.10 – 0.15 м/с.

ВДЯЧНІСТЬ

Дана робота була б неможлива без підтримки Національного університету водного господарства та природокористування та виконувалась за науковим напрямком збереження навколишнього середовища (довкілля) та сталий розвиток, а саме за держбюджетною темою “Розробка і створення техногенно-екологічних витягачів бурштину з родовищ” (№ державної реєстрації 0102U001910, 2002 – 2004 рр.) Автори роботи виражають вдячність ректору НУВГП професору, д.с-г.н. В.С. Мошинському за надану можливість у проведенні досліджень на лабораторній базі університету та керівництву Рівненської геологічної експедиції ДП “УкрПівнічГеологія” за проведення сумісних натурних досліджень на Клесівському бурштиновмісному родовищі.

REFERENCES

- Alekseev, V.I. (2013). The Beetles (Insecta: Coleoptera) of Baltic Amber: the Checklist of Described Species and Preliminary Analysis of Biodiversity. *Zoology and Ecology*, 23(1), 5-12.
<https://doi.org/10.1080/21658005.2013.769717>
- Bulat, A., Naduty, V., & Korniyenko, V. (2015). Modern Technology of Extraction of Amber from Sand Deposits. *Harvard Journal of Fundamental and Applied Studies*, 7(1), 514-519.
- Bulat, A., Naduty, V., & Korniyenko, V. (2014). Substantiations of Technological Parameters of Extraction of Amber in Ukraine. *American Journal of Scientific and Educational Research*, 5(2), 591-597.
- Burnashov, E., Chubarenko, B., & Stont, Z. (2010). Natural Evolution of Western Shore of the Sambian Peninsula on Completion of Dumping from an Amber Mining Plant. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 57(2), 105-117.
- Cruickshank, R.D., & Ko, K. (2003). Geology of an Amber Locality in the Hukawng Valley, Northern Myanmar. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(5), 441-455.
[https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00044-5)
- Iturralde-Vinent, M.A. (2001). Geology of the Amber-Bearing Deposits of the Greater Antilles. *Caribbean Journal of Science*, 37(3/4), 141-167.
- Malanchyk, Z., & Korniyenko, V. (2014). Modern Condition and Prospects of Extraction of Amber in Ukraine. In *Proceedings of the 1st International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Oceans Countries"* (pp. 318-321). Tokyo: The University of Tokyo.
- Malanchyk, Z., & Korniyenko, V. (2014). Modern Condition and Problems of Extraction of Amber in Ukraine. *Canadian Journal of Science and Education*, 6(2), 372-376.
- Sivkov, V.V., & Chubarenko, B.V. (1997). Influence of Amber Mining on the Concentration and Chemical Composition of Suspended Sedimentary Matter (Sambian Peninsula, Southeast Baltic). *Marine Georesources & Geotechnology*, 15(2), 115-126.
<https://doi.org/10.1080/10641199709379940>

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Встановити закономірності параметрів взаємозв'язку з піщаною гірничою масою віброгідралічного інтенсифікатора та обґрунтувати застосування гідромеханічного способу, при якому інтенсифікується добування бурштину.

Методика. Експериментальним шляхом досліджено основні закономірності процесів видобутку бурштину на денну поверхню з піщаних бурштиновмісних родовищ гідромеханічним способом з використанням віброгідралічних інтенсифікаторів. Аналітичні дослідження виконувались із застосуванням диференційного та інтегрального числення, експериментальні – з використанням методів математичної статистики.

Результати. Встановлені закономірності параметрів взаємозв'язку з піщаною гірничою масою віброгідралічного інтенсифікатора, за рахунок встановлених амплітуди, частоти вібрації інтенсифікатора, густини середовища, подачі води та повітря в масив, що дозволяє створити суцільне суспензійне середовище й підвищити продуктивність видобутку бурштину.

Наукова новизна. Вперше встановлені закономірності впливу вібрації, води і повітря на зрідження піщаних середовищ віброгідралічними штанговими снарядами в природному середовищі, які залежать від інтенсивності подачі у бурштиновмісний масив газорідної суміші. Встановлено, що витрати води і повітря прямопропорційні об'єму робочого масиву, швидкості заглиблення, пористості, вологості та густині середовища.

Практична значимість. В результаті досліджень підтверджена дієвість та ефективність гідромеханічного способу видобутку бурштину з родовищ, створений віброгідралічний снаряд для видобутку бурштину з піщаних родовищ, технічна новизна якого підтверджена патентами України, розроблена методика його інженерного розрахунку.

Ключові слова: бурштин, масив, зрідження, суспензія, спливання, сегрегація, вібрація, параметри, вібропромінювач, інтенсифікатор

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Установить закономерности параметров взаимосвязи с песчаной горной массой виброгидравлического интенсификатора и обосновать применение гидромеханического способа, при котором интенсифицируется добыча янтаря.

Методика. Экспериментальным путем исследованы основные закономерности процессов добычи янтаря на дневную поверхность с песчаных янтареносных месторождений гидромеханическим способом с использованием виброгидравлических интенсификаторов. Аналитические исследования выполнялись с применением дифференциального и интегрального исчисления, экспериментальные – с использованием методов математической статистики.

Результаты. Установлены закономерности параметров взаимосвязи с песчаной горной массой виброгидравлично интенсификатора. Решение получено за счет установленных амплитуды, частоты интенсификатора, плотности среды, подачи воды и воздуха в массив, что позволяет создать сплошную суспензую среду и повысить производительность добычи янтаря.

Научная новизна. Впервые установлены закономерности влияния вибрации, воды и воздуха на сжижение песчаных сред виброгидравлическими штанговыми снарядами в естественной среде, которые зависят от интенсивности подачи в янтареносный массив газожидкостной смеси. Установлено, что расход воды и воздуха прямопропорционален объему рабочего массива, скорости углубления, пористости, влажности и плотности среды.

Практическая значимость. В результате исследований подтверждена действенность и эффективность гидромеханического способа добычи янтаря с месторождений, создан виброгидравлический снаряд для добычи янтаря из песчаных месторождений, техническая новизна которого подтверждена патентами Украины, разработана методика его инженерного расчета.

Ключевые слова: янтарь, массив, сжижение, суспензия, всплытие, сегрегация, вибрация, параметры, виброизлучатель, интенсификатор

ARTICLE INFO

Received: 3 October 2016

Accepted: 7 March 2017

Available online: 30 March 2017

ABOUT AUTHORS

Zinovii Malanchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Development of Deposits and Mining, National University of Water Management and Nature Resources Use, 11 Soborna St, 33028, Rivne, Ukraine.

E-mail: malanchykr@ukr.net

Valerii Korniienko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Development of Deposits and Mining, National University of Water Management and Nature Resources Use, 11 Soborna St, 33028, Rivne, Ukraine. E-mail: kvja@mail.ru

Malanchuk Yevhenii, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation, Electrical Engineering and Computer-Integrated Technologies, National University of Water Management and Nature Resources Use, 11 Soborna St, 1/126, 33028, Rivne, Ukraine. E-mail: malanchykez@mail.ru