

УДК 622.232.5:622.2

**Надутьий В.П.**, д-р техн. наук, професор  
(ІГТМ НАН України)

**Маланчук Є.З.**, д-р техн. наук, доцент,

**Корнієнко В.Я.**, канд. техн. наук, доцент  
(Національний університет водного

господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ ВІБРАЦІЇ НА ВИДОБУТОК БУРШТИНУ З ПІЩАНИХ РОДОВИЩ**

**Надутьий В.П.**, д-р техн. наук, професор  
(ІГТМ НАН України)

**Маланчук Е.З.**, д-р техн. наук, доцент,

**Корниенко В.Я.**, канд. техн. наук, доцент  
(Национальный университет водного

хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВИБРАЦИИ НА ДОБЫЧУ ЯНТАРЯ ИЗ ПЕСЧАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Nadutyi V.P.**, D.Sc. (Tech.), Professor  
(IGTM NAS of Ukraine)

**Malanchuk Ye.Z.**, D.Sc. (Tech.), Associate Professor,

**Korniienko V.Ya.**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(National University of Water Management

and Nature Resources Use, Rovno)

## **RESEARCH OF VIBRATION PARAMETERS FOR MINING AMBER WITH DEPOSITS**

**Анотація.** У роботі приведено досвід гідромоніторного руйнування гірського масиву при видобутку бурштину.

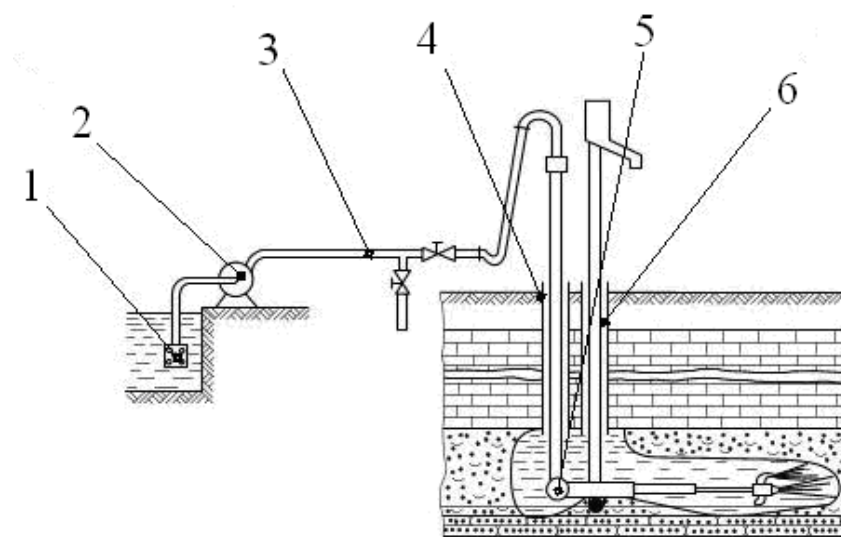
Зазначено, що гідромеханічний спосіб дозволяє збільшувати вилучення бурштину з піщаного і піщано-глинистого масивів, зменшуючи негативний вплив відкритих гірничих робіт на навколишнє середовище. Інтенсифікація процесу може бути досягнута за рахунок збурення масиву гірської маси вібраційним способом. Це показано у результатах досліджень ряду авторів, у яких відзначено, що швидкість підйому часток бурштину при віброзбудженні нижніх шарів піску значно збільшується. На цей процес створення віброкиплячого піщаного шару впливають такі параметри, як амплітуда і частота коливань, величина збуджуючої сили, геометричні розташування джерел віброзбудження у шарі, тиск води чи повітря при комплексному впливові. Тому в результаті досліджень авторів приведені графічні залежності швидкостей спливання часток бурштину при різних частотах віброзбудження для гідроповітряної піщаної суміші, що містить бурштинові включення. При цьому встановлені і рекомендовані робочі діапазони частоти й амплітуди віброзбуджень суміші для різної її щільності.

**Ключові слова:** гідромонітор, піщаний шар, бурштин, віброзбудження піщаного шару.

В Україні існують значні запаси бурштину. Добування корисної копалини в основному здійснюється двома способами: гідравлічним та механічним. Промисловий видобуток здійснюється на Клесівському родовищі механічним способом. Бурштиновмісні породи виймають екскаватором. Вийняту породу до блоку промивання, розміщеному на промисловій ділянці, доставляють автотранспортом. Спочатку порода потрапляє в навантажувач, з якого по транспортеру подається на грохот, обладнаний металічною сіткою з квадратними чарунками діаметром 5 мм. Над грохотом на висоті 20 см від сітки встановлена система трубок, в які насосом під тиском подається вода. Вона намочує породу, вимиває глину, пісок, кремній, уламки кристалічних порід та бурштин розміром менше 5 мм, відносячи їх в спеціально підготовлений кар'єр. Шматки породи та самоцвіт розміром 5 мм та більше потрапляють по транспортеру на розробку. Тут бурштин відокремлюється вручну від вмшуючої його породи.

Гідравлічний видобуток корисних копалин в ряді випадків застосовувати технічно недоцільно й економічно недоцільно. Це в першу чергу відноситься до виїмки міцних слаботріщинуватих корисних копалин. На сьогодні в Україні гідравлічний спосіб видобутку застосовується в основному старателями, які чинять незаконний видобуток, що призводить до погіршення екологічних умов в межах добувального масиву та потребує використання більш технологічного та економічного, з меншим впливом на навколишнє середовище, способом вилучення із родовищ корисної копалини.

Гідромоніторними струменями практично можна зруйнувати породи будь-якої міцності (рис. 1). Однак руйнування струменем в основному застосовується при розробці слабозв'язаних та пухких гірських порід і рідше напівскельних порід.



1 – фільтр; 2 – насос; 3 – трубопровід; 4 – свердловина; 5 – напірний руйнуючий струмінь; 6 – видобувне обладнання

Рисунок 1 – Розмиття чергового обвалюваного шару продуктивного горизонту

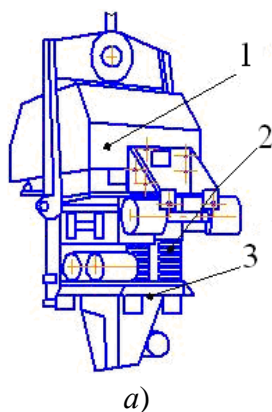
На інтенсивність процесу гідравлічного руйнування гірських порід впливають фізико-геологічні, гідравлічні і технологічні фактори. До фізико-геологічних факторів відносяться міцність, твердість, склад, структура, текстура порід, їхня пористість і тріщинуватість, змочуваність, водопроникність, в'язкість, крихкість та ін. У сукупності вони характеризують розмивність породи (дезінтеграцію).

При вібраційному впливі спочатку відбувається процес пошарового розрідження піску - при перших імпульсах змінюється верхній шар, як менш привантажений, що в свою чергу викликає розвантаження нижніх шарів і їхній перехід у розріджений стан при наступних вібраціях. Зона розрідження поступово переміщується, поширюючись вглиб масиву піску. Час перебування пісків в розрідженому стані визначається потужністю шару розрідженого піску, його водопроникністю, змінами об'єму пор піску в процесі ущільнення, інтенсивністю дренажного навантаження і тривалістю дії динамічного навантаження, що руйнує структуру.

Гідромеханічний спосіб дозволяє усувати більшість негативних впливів на навколишнє середовище та повністю вилучати бурштин з масиву. За рахунок насичення масиву водоповітряною сумішшю та збудження його механічним способом бурштин за допомоги сили Архімеда спливає на поверхню родовища. Водоповітряна суміш дозволяє зменшувати в два-три рази кількість води для технологічного процесу видобутку та зменшити негативний вплив перенасичення масиву водою [1].

Збудження масиву вібраційними засобами та їхній вплив на середовище потребує аналізу і дослідження параметрів вібрації, при яких досягається найбільша швидкість спливання бурштину на поверхню родовища.

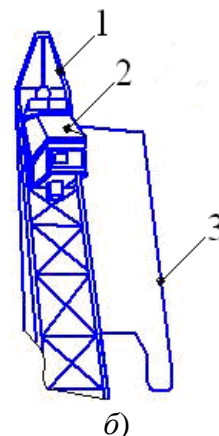
Відомі вібраційні машини, що впливають на ґрунтове середовище зверху або вводяться в середину збуджуваної маси ґрунту (рис. 2 а, б, рис. 3) [2].



1 – вібратор;

2 – пружний елемент;

3 – плита кріплення робочого органа

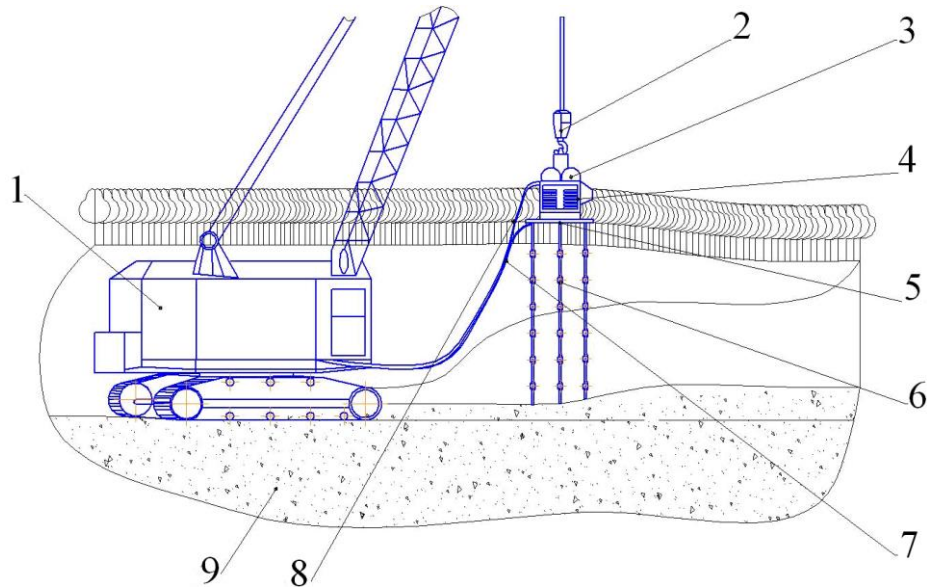


1 – напрямна;

2 – вібратор;

3 – привод вібратора

Рисунок 2 – а) віброзаглиблювач В-402; б) віброзаглиблювач ВВПС-20/11



1 – екскаватор; 2 – підвіска віброустановки; 3 – вібратор; 4 – пружний елемент; 5 – плита;  
6 – робочий орган з вібровипромінювачами; 7 – трубопровід подачі водоповітряної суміші;  
8 – привод віброустановки; 9 – родовище корисної копалини

Рисунок 3 – Установа ВУУП-6 з віброустановкою

При механічній дії та насиченні піщаного масиву водою останній переходить у стан зрідження, в якому здійснюється переукладання частинок та витіснення матеріалів з різною густиною у відповідному напрямку. Дослідження впливу вібрації на такий масив показали, що частинки в ньому можуть рухатись як на поверхню родовища, так і в протилежному напрямку. Тому дослідження вібраційних параметрів, при яких досягаються відповідний напрямок руху бурштину та найбільша швидкість спливання, потребує особливої уваги.

Дослідженнями переходу піщаних ґрунтів у зріджений стан займалися багато дослідників. Дію вібрації на зрідження пісків вивчали Ш.А. Сидерас, В.А. Поспелов, Е.П. Акульшина, Г.І. Покровський, Д.Д. Барканов, О.А. Савінов та інші [3, 4]. Дослідженнями встановлено, що при зрідженні руйнується структура піщаного середовища. 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 осі робочого органа, де відбувається інтенсивний рух газу і води, які захоплюють із собою частинки ґрунту і викидають їх на поверхню. Утворені пори заповнюються твердою фазою.

Відомо, що піщаний масив ґрунту при дії вібрації проходить декілька стадій, а саме: віброзрідження, віброкипіння та поступове ущільнення масиву піщаного ґрунту від периферії до джерела вібрації.

Також з [5] відомо, що переміщення піску у віброкиплячому шарі здійснюється за певною траєкторією. 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 поміж частинками [6].

Таким чином, швидкість підйому частинки знизу вгору залежить від інтенсивності вібраційного збудження масиву, розрідження середовища, його в'язкості та насичення повітряними бульбашками.

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 вібраційної дії віброкиплячого шару характеризується трьома параметрами: тиском над і розрідженням під віброкиплячим шаром, перепадом тиску в шарі. На створення віброкиплячого шару ґрунту впливають такі параметри: амплітуда та частота коливань; збуджуюча сила; тиск води; тиск повітря; геометричне розташування збудників коливань.

У значній мірі дані параметри визначаються експериментально.

Різноманітний вплив динамічних навантажень на зріджені водонасичені піщані ґрунти досліджував П.Л. Іванов (1962). У своїх роботах він теоретично і експериментально досліджує поведінку пісків при дії різних збудників на зміни в середовищі та, зокрема, питанням зміни пористості. Дослідженнями встановлено, що пористість віброкиплячого шару залежить від прискорення вібрації.

При дослідженні впливу прискорення вібрації на пористість сухого кварцового піску після дії вібрації з прискоренням, нижчим за прискорення вільного падіння, відбувається ущільнення шару. Із збільшенням прискорення вище за критичний шар переходить у стан віброзрідження. Чим нижча частота вібрації, тим більша кінцева пористість.

Як показали експериментальні дослідження, зміна частоти вібрації та насичення масиву водою або водоповітряною сумішшю призводить до збільшення або зменшення швидкості спливання бурштину в масиві. Як видно з рис. 4, існують максимальні значення швидкості спливання бурштину при різних частотах коливань та подачі в масив води і повітря (табл. 1).

Можемо відмітити наступне: подача в масив невеликої кількості водоповітряної суміші при зміні частоти вібрації несуттєво впливає на зміну швидкості спливання бурштину, що можна пояснити відсутністю умов для відокремлення бурштину від зв'язків з масивом, так як не створюється суспензове середовище, що є умовою для виходу на поверхню родовища бурштину. Значна подача в масив водоповітряної суміші так само не сприяє збільшенню швидкості спливання: утворення суспензового середовища не спостерігається, в масиві виникають свердловини, які створюються потоками повітря, бурштин не спливає.

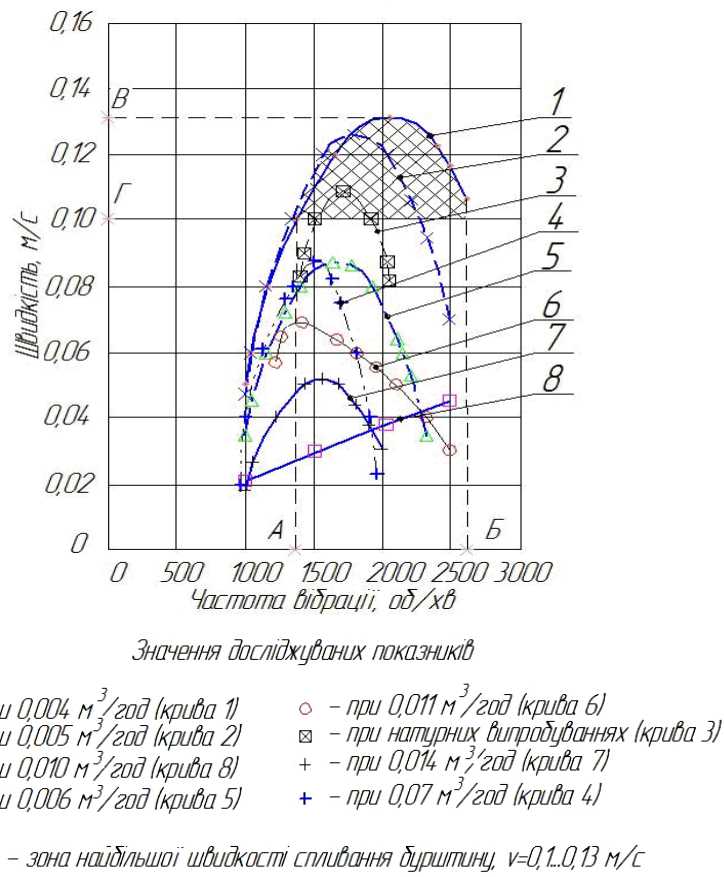


Рисунок 4 – Залежність швидкості спливання бурштину від частоти вібрації при експериментальних дослідженнях та натурних випробуваннях

Таблиця 1 – Максимальні швидкості спливання при дії параметрів вібрації (експериментальні дослідження)

№ п/п	Максимальна швидкість спливання, $v$ , м/с	Частота вібрації, $n$ , об/хв	Подача водоповітряної суміші, $q$ , м <sup>3</sup> /год
1	2	3	4
1	0,13	2100	0,004
2	0,125	1850	0,005
3	0,09	1700	0,006
4	0,089	1500	0,007
5	0,045	2500	0,010
6	0,07	1450	0,011
7	0,05	1550	0,014

Також з рис. 4. видно, що максимальна швидкість спливання знаходиться в зоні ВГ та складає  $v = 0,1...0,13$  м/с і досягається в межах діапазону АБ при частоті вібрації  $n = 1450...2600$  об/хв. та подачі в масив водоповітряної суміші при  $q = 0,004...0,006$  м<sup>3</sup>/год. Збільшення або зменшення амплітуди відносно значення  $A = 1,07...2,5$  мм призводить до зменшення швидкості спливання бурштину або ж повної зупинки спливання. Амплітуди переміщень окремих частинок будуть зменшуватись із збільшенням відстані від центра вібрації та

повністю затухати, коли сили інерції будуть меншими за сили щеплення і тертя між ними. Масив і далі коливається, але зменшується інтенсивність вібрації, переміщення зникає, проходять лише пружні деформації. Чим більше зчеплення між частинками середовища, тим менше радіус дії віброустановки [7]. 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. Застосування вібрації в глинистих ґрунтах для добування бурштину малоефективне.

Дослідження (М.П. Зубанов (1964)) з переміщення часток піщаного ґрунту при дії на середовище вібратора вказують на обмеженість зони дії вібраційного снаряда.

В Україні продуктивні шари залягання бурштину представляються піщаними ґрунтами на глибину від 10 м до 15 м. Запаси бурштину значні. Технології, що застосовуються сьогодні для видобутку бурштину є застарілими [9].

Після ретельного аналізу технологій видобутку бурштину із піщаних родовищ встановлено, що на сьогодні вібраційний вплив на ґрунтовий масив вібраційною технікою дозволяє видобувати бурштин за рахунок сегрегації в шарі [8]. На швидкість підйому частинок впливає густина середовища, амплітуда та частота вібрації.

Таким чином, одним із перспективних способів, який забезпечує повне вилучення з родовища бурштину, інтенсифікує процес, має мінімальний техногенний вплив на навколишнє середовище, забезпечує передумови для проведення на цій території рекультиваци є гідромеханічний. В якості добувального агрегата необхідно застосувати віброустановку [7] з параметрами вібрації, які досліджено в роботі (частота вібрації  $n = 1450 \dots 2600$  об/хв., подача водоповітряної суміші  $q = 0,004 \dots 0,006$  м<sup>3</sup>/год., амплітуда вібрації  $A = 1,07 \dots 2,5$  мм).

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Корнієнко, В.Я. Аналіз сучасних технологій та вибір обладнання для вилучення бурштину із піщаних родовищ з найменшим техногенно-екологічним впливом на навколишнє середовище / В.Я. Корнієнко // Вісник НУВГП : Збірка наукових праць. – Рівне, 2007. – Вип. 2(38). – С. 352-358.
2. Савинов, О.А. Вибрационная техника уплотнения и формирование бетонных смесей / О.А. Савинов, Е.В. Лавринович. – Л.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
3. Маслов, Н.Н. Основы инженерной геологии и механики ґрунтов / Н.Н. Маслов. – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.
4. Членов, В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.В. Михайлов. – М.: Наука, 1972. – 344 с.
5. Теория турбулентных струй. Изд. 2-е перераб. и доп. / Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашенинников С.Ю. [и др.] // Под ред. Г.Н. Абрамовича. – М.: Наука, 1984. – 745 с.
6. Животовский, Л.С. Техническая механика гидросмесей и ґрунтовые насосы / Л.С. Животовский, Л.А. Смйловская. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
7. Пат. № 84108 UA, МПК В03В 5/46, В03 В 7/00, E04G 21/08 (2013.01). Вібропристрій / В.Я. Корнієнко, О.Л. Романовський, І.О. Хітров, Е.Ю. Мачук; Національний університет водного господарства та природокористування. – u 2013 04557; заявл. 11.04.2013; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19. – 4 с. : іл.



8. Корнієнко, В.Я. Дослідження сегрегації при видобутку бурштину з родовищ / В.Я. Корнієнко // Вісник НУВГП : Збірник наукових праць. – Рівне, 2014. – Вип.3(67). – С. 120-126.

9. Булат, А.Ф. Обґрунтування технологічних параметрів видобутку бурштину в Україні / А.Ф. Булат, В.П. Надутый, В.Я. Корнієнко // American Journal of Scientific and Educational Research. – 2014. No.2(5) (July-December). - Vol. II. - "Columbia Press". - New York, 2014. - pp. 591-597.

#### REFERENCES

1. Korniyenko, V.Ya. (2007). "Analysis of modern technologies and selection of equipment for the amber extraction out of sand deposits with the least technogenic impact on the environment", *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, no. 2(38), pp. 352-358.

2. Savinov, O.A. and Lavrinovich O.E. (1986), *Vibratsionnaya tekhnika uplotneniya i formirovaniye betonnykh smesey* [Vibratory compaction machinery and forming concrete mixtures], Stroyizdat, St. Petersburg, SU.

3. Maslov, N.N. (1986), *Osnovy inzhenernoy geologii i mekhaniki gruntov* [Fundamentals of Engineering Geology and Soil Mechanics], Vysshaya shkola, Moscow, SU.

4. Chlenov, V.A. (1972), *Vibrokipiashchiy sloy* [Vibrating fluid bed], Nauka, Moscow, SU.

5. Abramovich, G.N., Girshovich, T.A., Krashennikov, S.Yu., Sekundov, A.P. and Smirnova, I.P. (1984), *Teoriya turbulentnykh struy* [The theory of turbulent jets], Nauka, Moscow, SU.

6. Zhyvotovskiy, L.S. (1986), *Tekhnicheskaya mekhanika gidrosmesey i gruntovyye nasosy* [Technical mechanics of hydraulic fluids and soil pumps], Mashinostroyeniye, Moscow, SU.

7. Korniyenko, V.Ya., Romanovskiy, O.L., Khitrov, O.I., and Machuk, Ye.Yu., National university of water and natural resources management (2013), *Vibroprystriy* [Vibrating device], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 84108.

8. Korniyenko, V.Ya. (2014), "Research of segregation under the process of amber deposits extraction", *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, no. 3(67), pp. 120-126.

9. Bulat, A.F., Nadutyu, V.P. and Korniyenko, V.Ya. (2014), "Substantiation of technological parameters of amber mining in Ukraine", *American Journal of Scientific and Educational Research*, No. 2(5) (July-December), Vol. II, New York, pp. 591-597.

---

#### Про авторів

**Надутьий Володимир Петрович**, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), м. Дніпропетровськ, Україна, [nadutyvp@yandex.ua](mailto:nadutyvp@yandex.ua).

**Маланчук Євгеній Зіновійович**, доктор технічних наук, професор кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП), м. Рівне, Україна, [malanchykez@mail.ru](mailto:malanchykez@mail.ru).

**Корнієнко Валерій Ярославович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП), м. Рівне, Україна, [kvja@mail.ru](mailto:kvja@mail.ru).

#### About the authors

**Nadutyu Vladimir Petrovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [nadutyvp@yandex.ua](mailto:nadutyvp@yandex.ua).

**Malanchuk Yevgeniy Zinovyevich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor of department of land deposits and minerals mining, National University of Water Management and Nature Resources Use, Rovno, Ukraine, [malanchykez@mail.ru](mailto:malanchykez@mail.ru).

**Korniyenko Valeriy Yaroslavovich**, Candidate of Technical Sciences (Rh.D), Associate Professor of department of land deposits and minerals mining, National University of Water Management and Nature Resources Use, Rovno, Ukraine, [kvja@mail.ru](mailto:kvja@mail.ru).

---

**Аннотация.** В работе приведен опыт гидромониторного разрушения горного массива при добыче янтаря. Указано, что гидромеханический способ позволяет увеличивать извлечение янтаря из песчаного и песчано-глинистого массивов, уменьшая негативное влияние открытых горных работ на окружающую среду. Интенсификация процесса может



быть достигнута за счет возбуждения массива горной массы вибрационным способом. Это показано в результатах исследований ряда авторов, в которых отмечено, что скорость подъема частиц янтаря при вибровозбуждении нижних слоев песка значительно увеличивается. На этот процесс создания виброкипящего песчаного слоя влияют такие параметры, как амплитуда и частота колебаний, величина возмущающей силы, геометрические расположения источников вибровозмущений в слое, давление воды или воздуха при комплексном воздействии. Поэтому в результате исследований авторов приведены графические зависимости скоростей всплывания частиц янтаря при различных частотах вибровозмущений для гидровоздушной песчаной смеси, содержащей янтарные включения. При этом установлены и рекомендованы рабочие диапазоны частоты и амплитуды вибровозмущений смеси для различной ее плотности.

**Ключевые слова:** гидромонитор, песчаный слой, янтарь, вибровозмущение песчаного слоя.

**Abstract.** The paper presents experience of using a hydraulic giant for the rock destruction in the process of amber extraction. It is stated that the hydromechanical method increases productivity of the amber extraction from the sand and clay deposits and reduce negative impact of open cast mining on the environment. The process can be essentially intensified by way of vibratory excitation of the rocks in the deposit. This fact is confirmed by results of different studies, which show that speed of the amber particles floating up is significantly increased when lower sand layers are under the action of vibroexcitation. The process of vibrating-and-boiling bed formation is affected by such parameters as amplitude and frequency of oscillation, magnitude of disturbing force, geometry of vibroexcitation sources location in the bed, water or air pressure at a complex impact. Basing on the research results, the authors present graphical dependencies between speeds of the amber particles floating up and various vibroexcitation frequencies of the hydraulic air-and-sand mixture containing amber inclusions. Besides, the authors determined and recommended operating ranges of the mixture-vibroexcitation frequencies and amplitudes for various mixture densities.

**Keywords:** hydraulic giant, sand bed, amber, sand bed vibration disturbance.

*Статья поступила в редакцию 23.01.2016*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.П. Минеевым*