

УДК 532.5.011: 622.33: 622.752.3

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ВОДНО-ШЛАМОВОЙ СХЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЯНТАРЯ

¹Надутьий В.П., ¹Чельшкіна В.В., ²Корниенко В.Я.

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины,

²Национальный уни-верситет водного хозяйства и природопользования

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ І ВОДЯНО-ШЛАМОВОЇ СХЕМИ ВИЛУЧЕННЯ БУРШТИНУ

¹Надутьий В.П., ¹Чолишкіна В.В., ¹Корнієнко В.Я.

¹Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,

²Національний університет водного господарства та природокористування

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND WATER-SLURRY SCHEME OF EXTRACTION OF AMBER

¹Naduty V.P., ¹Chelyshkina V.V., ²Kornienko V.Ya.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NA S of Ukraine,

²National University of Water Resources and Nature Management

Аннотация. Добыча янтаря в Украине сегодня осуществляется скважинно-гидравлическим способом основные недостатки которого – низкое, до 50 %, извлечение янтаря и существенное нарушение экологии. Разработан способ, в котором добыча янтареносной породы осуществляется методом послойной выемки и при ее переработке достигается существенное повышение извлечения янтаря за счет извлечения мелких фракций крупностью менее 5 мм, которые по существующим на сегодня технологиям не извлекаются, а также снижения потерь при выводе отходов. Одной из операций способа является разделение породы в виброклассификаторе комплексного действия, который представляет собой спиральный классификатор с использованием вибрации и барботации пульпы пузырьками воздуха. Такое устройство может применяться не только в развитой технологической схеме, предложенной в способе, но и в виде отдельного модуля, например, для маломощных месторождений, сложных геологических условий. Тогда виброклассификатор работает в комплексе с виброгрохотом. Для указанной операции актуально определение режимных параметров. В статье представлены результаты разработки водно-шламовой схемы и анализа плотностных режимов операции виброклассификации в комплексе с виброгрохотом. Установлены особенности технологии в части выбора точек подвода свежей воды, снижения циркулирующей нагрузки и уменьшения затрат дополнительной воды. При диапазоне рациональных значений плотности суспензии в ванне виброклассификатора 1400-1600 г / л, для плотности 1600 г / л приведен пример расчета водно-шламовой схемы извлечения янтаря. Получено, что при производительности 10 т/ч, расход добавочной воды составляет 2,24 м³/т, циркулирующая нагрузка - 0,5 т/ч, извлечение янтаря – до 85 %. Разработана программа расчета водно-шламовой схемы при вариации производительности и режимных параметров. Полученные результаты рекомендованы при проектировании и эксплуатации узла виброклассификации для извлечения янтаря, как при использовании в развитой технологической схеме, так и в виде отдельного передвижного модуля.

Ключевые слова: янтарь, технология, виброклассификация, плотность продуктов

Вопросы добычи янтаря в Украинском Полесье привлекают большое внимание [1, 2], особенно в части разработки технологии, конкурентоспособной и наносящей меньший вред окружающей среде по сравнению с применяемым сейчас методом скважинной гидродобычи [3, 4]. Альтернативой этому методу является послойная выемка янтареносной породы и развитая схема обогащения.

В этом направлении разработан способ извлечения янтаря [5], отличающийся от известных, в том числе, от технологии, применяемой на Калининградском янтарном комбинате, более высоким извлечением. Это обеспечивается за счет дополнительного извлечения мелких фракций крупностью менее 5 мм, которые на сегодня ни по одной технологии не извле-

каются, а также за счет меньшего количества точек сброса отходов, в которых происходят основные потери янтаря.

Отличительной особенностью способа является операция обогащающей классификации для классов -15 мм (рис.1). Она выполняется в виброкласификаторе комплексного действия (далее - виброкласификатор). Это устройство представляет собой спиральный классификатор с наложением в зоне разделения вибрации и аэрации пульпы воздухом, что позволяет повысить скорость всплытия частиц янтаря в 2-3 раза [6].

Теоретический расчет разделения частиц в устройстве виброкласификатора основан на определении скоростей осаждения частиц кварца и всплытия янтаря, вначале при свободном движении, затем в стесненной среде. Учет дополнительных воздействий, таких как параметры вибрации, плотность среды и объем воздуха для аэрации суспензии, осуществлялся путем построения регрессионных моделей при обработке экспериментальных данных [6].

Однако указанные теоретические расчеты скоростей движения частиц не позволяют прогнозировать режимные параметры работы виброкласификатора, такие как количество добавочной воды, плотность песков и слива, производительность, что необходимо для проектирования и практической эксплуатации устройства.

Согласно способу [5] операция обогащающей классификации выполняется в виброкласификаторе комплексного действия (рис. 1). Это устройство может применяться не только в приведенной на рисунке разветвленной комплексной схеме, но и отдельно, в виде мобильного передвижного модуля при сложных горных условиях, малой мощности месторождения. В этом случае оно работает в комплексе с обычным виброгрохотом с заданной крупностью разделения, например, с крупностью сита 1 мм (рис.2).

Целью работы являлось определение режимных параметров и расчет водно-шламовой схемы одной из узловых операций новой технологии извлечения янтаря – разделения янтареносных песков в спиральном виброкласификаторе комплексного действия, работающего в комплексе с виброгрохотом.

Режим работы спирального виброкласификатора и виброгрохота показан на рис.2, где приняты следующие обозначения: T - количество твердого (сухой вес), $Ж$ - количество воды, % *тв.* – процент твердого, который определяется по формуле [7]:

$$\% \text{ тв.} = T / (T + Ж) \cdot 100$$

Плотность продуктов, в г/л или в г/см³, рассчитывается через процент твердого по формуле:

$$\rho = 1000 / (\% \text{ тв.} / 100 \cdot (1 - 1/2,65))$$

где 2,65 т/м³ – плотность кварца, основного минерала янтареносной породы.

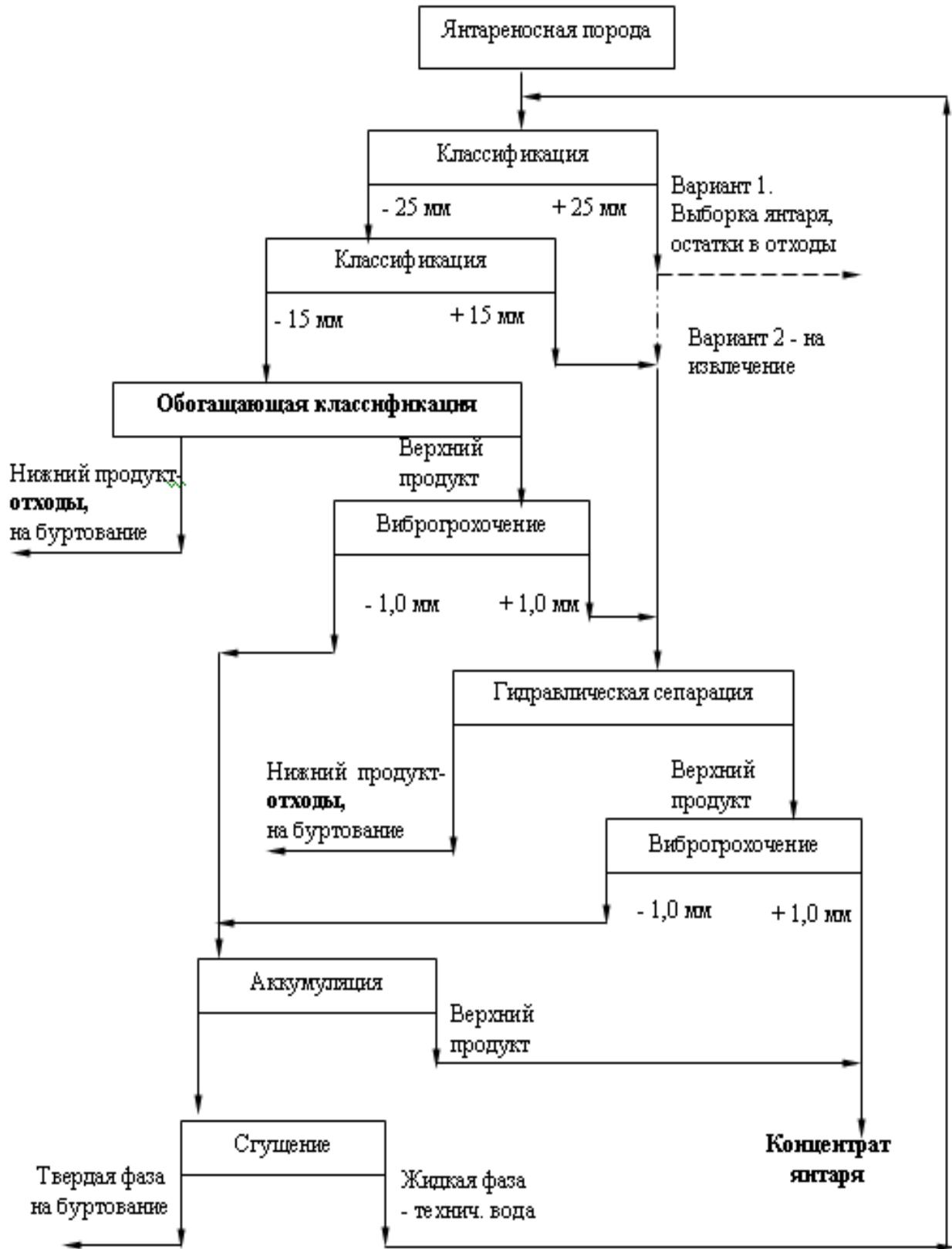


Рисунок 1 – Способ извлечения янтаря

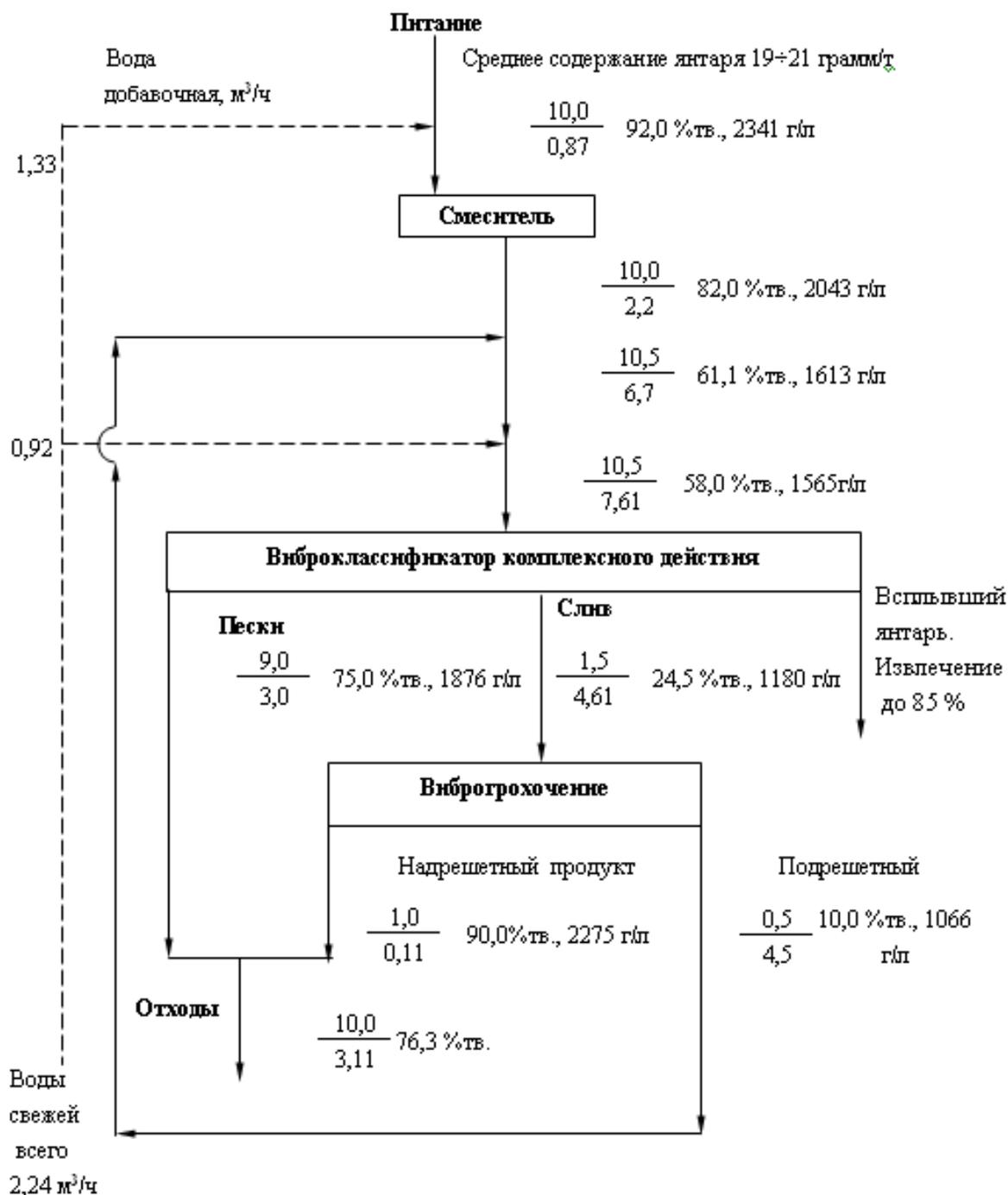


Рисунок 2 – Водно-шламовая схема извлечения янтаря в виброклассификаторе комплексного действия, работающего в комплексе с виброгрохотом

Отметим, что, на Клесовском месторождении янтареносные слои в основном песчаные, находятся на глубине 2,5 - 10, до 15 м, мощность продуктивного слоя колеблется от 0,5 до 5,0 м [8].

Согласно технологии рис.2, исходное питание смешивается с водой в смесителе и подается на классификацию в виброклассификаторе комплексного действия.

Средняя плотность янтаря составляет 1050–1090 кг/м³, он всплывает в относительно плотной пульпе в ванне виброклассификатора. Устройство оснащено граблинами для сбора всплывшего янтаря и выведения его в

приемный лоток. Слив виброклассификатора поступает на обезвоживающую классификацию на виброгрохоте. Пески виброклассификатора и надрешетный продукт виброгрохота выводятся в отходы.

Подрешетный продукт обезвоживающего грохочения возвращается в питание виброклассификатора в виде циркулирующей нагрузки.

Влажность исходного питания зависит от глубины выработки, на поверхности – 3 - 5 %, в глубине – до 15-17 %, в зависимости от близости водоносного горизонта грунтовых вод.

Исходя из этого, содержание твердого в исходном питании можно принять 92 % тв., то есть влажность исходного питания – 8 %. Исходное питание разбавляют водой, после чего содержание твердого в питании классификатора составляет 85 -75 % тв., на схеме рис.2 принято 82 % тв.

Содержание твердого в ванне классификатора регулируется добавочной водой и может меняться в диапазоне 50 - 80 % тв. Для расчетов приняты два значения плотности пульпы в ванне классификатора – 60 % тв. и 50 % тв. По приведенной выше формуле перехода от % тв. к плотности ρ в г/см^3 это соответствует 1600 и 1400 г/л. С учетом погрешности измерений ± 50 г/л значение 1600 г/л соответствует рабочей плотности пульпы в ванне классификатора для схемы на рис.2.

Содержание твердого в песках классификатора составляет 70-90 % тв., в сливе может доходить до 40 % тв. в зависимости от уровня перелива, который регулируется подачей добавочной воды. Показатели песков и слива на рис.2 определены из опыта работы на экспериментальном образце устройства. Они обеспечивают условия всплытия и вывода янтаря и осаждения кварца в ванне виброклассификатора. Для установленных режимных параметров соблюдается баланс водных и шламовых потоков, что показывают расчеты по данным рис.2.

Отметим, что обычно параллельно с водно-шламовой схемой приводят качественно-количественную технологическую схему потоков ценного компонента [7]. Это требует определения содержания янтаря вначале в исходном сырье, затем во всех продуктах, что выполняется на этапе эксплуатации устройства.

Относительно исходного питания приведем следующие данные. Содержание янтаря на Клесовском месторождении изменяется на отдельных участках от 15 г/м^3 до 310 г/м^3 и даже до 1000 г/м^3 , в среднем составляет 50 г на 1 м^3 породы [1, 8]. На месторождении «Вільне» содержание янтаря - от $0,6 \text{ г/м}^3$ до $242,7 \text{ г/м}^3$, в среднем $56,0 \text{ г/м}^3$ породы [3, 4]. Один кубический метр песчано-глинистой янтареносной породы весит примерно 2,65 т. Отсюда следует, что содержание янтаря в породе исходного питания виброклассификатора в среднем составляет 19 г/т (Клесово) и 21 г/т породы (Вільне). Таким образом, в среднем имеет место низкое содержанием янтаря в исходном питании и, соответственно, незначительное его содержание в циркулирующей нагрузке (это янтарь, проходящий через сетку грохота с размером ячеек 1 мм).

Для проведенных нами испытаний ограничились определением содержания янтаря в исходном питании и в конечном концентрате. На основании этого

установлено, что по технологии рис.2 при производительности устройства 10 т/ч извлечение янтаря в среднем достигало 85%.

Технология извлечения янтаря на виброкласификаторе, представленная на рис.2, имеет две особенности.

Первая касается точек ввода добавочной (свежей) воды и экономии общего расхода воды, а вторая – объема циркулирующей нагрузки:

а) в схеме используется две точки подвода свежей воды. Во-первых – в смеситель, где она перемешивается с горной массой, поскольку вводить сухое питание в классификатор нельзя. Во-вторых, вода вводится непосредственно в ванну классификатора. В этой точке подвод свежей воды необходим, поскольку он является управляющим фактором, позволяющим регулировать плотность пульпы в ванне, объем слива, скорость восходящего потока, количество циркулирующей нагрузки.

На рис.2 видно, что при производительности 10 т/ч общее количество свежей воды, подаваемой в схему, составляет 2,24 м³/ч, а оборотной, возвращаемой в процесс после обезвоживания на виброгрохоте, - 4,5 м³/ч.

То есть, основная часть воды в схеме (67%) - это оборотная вода, что является достоинством технологии, поскольку позволяет экономить водные ресурсы;

б) циркулирующей нагрузкой является подрешетный продукт обезвоживающего виброгрохота (рис.2). Величина этой нагрузки (далее - циркуляции) теоретически может достигать 100% от питания и более. Однако практически ее нельзя держать высокой по двум причинам.

Первое - при высокой циркуляции повысится плотность суспензии в ванне классификатора, ухудшатся условия разделения. Второе - возрастет объем слива и скорость восходящего потока, из-за этого в слив будут вынесены более крупные частицы породы, их количество увеличится. Это негативный фактор - вместо того, чтобы выводить пустую породу из процесса, организуется ее циркуляция в схеме.

Исходя из этого, режим работы вибрационного классификатора предусматривает работу с низкой циркулирующей нагрузкой. Так на водно-шламовой схеме рис.2 видно, что при производительности устройства 10 т/ч объем циркуляции по твердому составляет 0,5 т/ч.

В заключение отметим, что рациональный диапазон плотности пульпы в ванне виброкласификатора составляет 1400 -1600 г/л [6]. На рис.2 расчет водно-шламовой схемы, которая рекомендуется для практической эксплуатации, выполнен для верхнего предела плотности, то есть для «жестких» условий, исходя из потребности существенного снижения расхода воды для осуществления технологи. добычи янтаря.

С использованием возможностей пакета Microsoft Excel разработана программа расчета водно-шламовой схемы работы виброкласификатора в комплексе с виброгрохотом, которая позволяет определять показатели продуктов при вариации производительности и режимных параметров.

Выводы.

В Украинском Полесье сегодня применяется способ скважинной гидродобычи янтаря при ручной выборке. При этом извлечение янтаря составляет не выше 50 % из-за отсутствия отработки целиков, потери мелких фракций, мельче 5 мм. Этот способ наносит существенный вред экологии. Разработан способ [5] на основе послыной выемки и развитой технологии обогащения, который обеспечивает высокое извлечение, учитывает дефицит воды, отсутствие шламохранилищ, обеспечивает сохранение экологии.

Для маломощных месторождений, сложных геологических условий предложено использовать один из элементов этого способа в качестве передвижного обогатительного модуля. Он включает виброклассификацию в специальном устройстве на базе спирального классификатора и виброгрохочение. Установлены особенности этой технологии в части выбора точек подвода свежей воды, уменьшения расхода воды и снижения циркулирующей нагрузки. С учетом рациональной плотности в ванне виброклассификатора 1400-1600 г/л, приведен пример расчета водно-шламовой схемы. Для производительности 10 т/ч расход добавочной воды составляет 2,24 м³/т, извлечение янтаря – до 85%. Разработана программа расчета водно-шламовой схемы при вариации производительности и режимных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Промислові технології видобутку бурштину: монографія / А.Ф. Булат, В.П. Надутый, Є.З. Маланчук, З.Р. Маланчук, В.Я. Корнієнко. – Дніпро-Рівне, 2017. – 237 с.
2. Malanchuk Z. Modern condition and problems of extraction of amber in Ukraine / Z. Malanchuk, V. Korniyenko // *Canadian Journal of Science and Education*. – 2014. – Vol. 2, Issue 6. – P. 372–376.
3. Садовенко І.О. Теоретичні та прикладні основи механо-гідравлічної технології опробування, проектування та розробки родовищ бурштину в Україні: монографія / І.О.Садовенко, М.Г.Лустиук // Національний гірничий ун-т; Рівненська філія ПВНЗ "Європейський ун-т". — Рівне, 2008. — 280с.
4. Результати експериментальних досліджень видобутку бурштину гідромеханічним способом в Україні / З.Р. Маланчук, В.Я. Корнієнко, Є.З. Маланчук, А.О. Христюк // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 3/10 (81). – 2016. – С. 48-51.
5. Пат. 120248 UA, МПК (2017.01), В03В 5/00, 5/12, 5/28, 5/30. Спосіб вилучення бурштину / Надутый В.П., Маланчук З.Р., Чолишкіна В.В., Корнієнко В.Я.; заявник і патентовласник ІГТМ НАН України. - №U201704378; заявл. 03.05.2017; опубл 25.10.2017, Бюл. № 20.
6. Разработка обобщенной математической модели при комплексном извлечении янтаря из песчано-глинистой горной массы / А.Ф. Булат, В.П. Надутый, В.В.Чельшкіна, В.Я. Корнієнко // *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. пр. / ІГТМ НАН України*. – Дніпро, 2018. – Вип. 137. – С. 19-26.
7. Богданов О.С. Справочник по обогащению руд / О.С.Богданов, В.А. Олевский, И.К. Акиншин, Н.Т. Башенко – М. : Недра, 1972. – Т.1.- 447 с.
8. Сребродольский Б.И. Янтарь Украины / Б.И. Сребродольский. - Киев: Наукова думка, 1980. – 123 с.

REFERENCES

1. Bulat A.F., Naduty V.P., Malanchuk E.Z., Malanchuk Z.R. and Korniyenko V.Ya. (2017), *Promyslovi tekhnologii vydobutku burshtynu: monografiya* [Industrial technologies for the production of amber: monograph], Dnipro-Rivne, UA.
2. Malanchuk Z. and Korniyenko V. (2014), «Modern condition and problems of extraction of amber in Ukraine», *Canadian Journal of Science and Education*, Vol. 2, Issue 6, pp. 372–376.
3. Sadovenko I.O. and Lustiuk M.G. (2008), *Teoretychni ta prykladni osnovy mekhano-gidravlichnoi tekhnologii oprobuvannya, proektuvannya ta rozrobky rodovysch burshtynu v Ukraini: monografiya* [Theoretical and applied foundations of mechanical and technological technologies, testing, design and development of burshtinu ancestors in Ukraine: monograph], Rivne, UA.
4. Malanchuk Z.R., Korniyenko V.Ya., Malanchuk E.Z. and Khristyuk A.O. (2016), «The results of experimental research on the extraction of amber using the hydromechanical method in Ukraine», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 3/10 (81), pp.48-51.
5. Naduty V.P., Malanchuk Z.R., Chelyshkina V.V. and Korniyenko V.Ya. (2017), *Sposib viluchennya burshtynu* [Amber extraction method], Patent No 120248, Ukraine.

6. Bulat A.F., Naduty V.P., Chelyshkina V.V. and Korniyenko V.Ya. (2018), «Development of a generalized mathematical model for complex extraction of amber from sandy-clay rock mass», *Geo-Technical Mechanics*, no.137, pp. 19-26.

7. Bogdanov O.S., Olevsky V.A., Akinshin I.K. and Baschenko N.T.(1972), *Spravochnik po obogascheniju rud* [Handbook for ore enrichment], Vol.1, Nedra, Moskva, SU.

8. Srebrodolsky B.I. (1980), *Yantar Ukrainy* [Amber of Ukraine], Naukova dumka, Kyiv, SU.

Об авторах

Надутьїй Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, завідувачий відділом механіки машин і процесів переробки мінерального сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, nadutyvp@gmail.com

Чельшкіна Валентина Васильевна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу механіки машин і процесів переробки мінерального сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, chel.valenti@gmail.com

Корниєнко Валерій Яковлевич, доктор технічних наук, доцент Національного університету водного господарства і природопольовання, Рівне, Україна, kvja@i.ua

About the authors

Naduty Vladimir Petrovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, nadutyvp@gmail.com

Chelyshkina Valentina Vasilievna, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, chel.valenti@gmail.com

Korniyenko Valeriy Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), associate professor of National University of Water Resources and Environmental Management, Rivne, Ukraine, kvja@i.ua

Анотація. Видобуток бурштину в Україні сьогодні здійснюється свердловин-гідравлічним способом основні недоліки якого - низьке, до 50%, вилучення бурштину та істотне порушення екології. Розроблено спосіб, в якому видобуток янтареносної породи здійснюється методом пошарової виїмки і при її переробці досягається суттєве підвищення вилучення бурштину за рахунок вилучення дрібних фракцій крупністю менше 5 мм, які за існуючими на сьогодні технологіями не вилучаються, а також зниження втрат при виведенні відходів. Однією з операцій способу є розділення породи в віброкласифікаторі комплексної дії, який являє собою спіральний класифікатор з використанням вібрації і барботації пульпи бульбашками повітря. Такий пристрій може застосовуватися не тільки в розвиненій технологічній схемі, яка запропонована в способі, але і у вигляді окремого модуля, наприклад, для малопотужних родовищ, складних геологічних умов. Тоді віброкласифікатор працює в комплексі з віброгрохотом. Для зазначеної операції актуально визначення режимних параметрів. У статті представлені результати розробки водно-шламової схеми і аналізу режимів ільності операції віброкласифікації в комплексі з віброгрохотом. Встановлено особливості технології в частині вибору точок підведення свіжої води, зниження циркулюючого навантаження і зменшення витрат додаткової води. При діапазоні раціональних значень щільності суспензії у ванні віброкласифікатора 1400-1600 г / л, для густини 1600 г / л наведено приклад розрахунку водно-шламової схеми вилучення бурштину. Отримано, що при продуктивності 10 т / год, витрата додаткової води становить 2,24 м³ / т, циркулююче навантаження - 0,5 т / год, витяг бурштину сягає до 85%. Розроблено програму розрахунку водно-шламової схеми при варіації продуктивності і режимних параметрів. Отримані результати рекомендовані при проектуванні і експлуатації вузла віброкласифікації для вилучення бурштину, як при використанні в розвиненій технологічній схемі, так і у вигляді окремого пересувного модуля.

Ключові слова: бурштин, технологія, віброкласифікація, щільність продуктів

Annotation. The extraction of amber in Ukraine today is carried out by a well-hydraulic method, the main disadvantages of which are low, up to 50%, extraction of amber and a significant violation of the environment.. A method has been developed, in which the extraction of amber-bearing rock is carried out by the method of layer-by-layer excavation and during its processing a significant increase in extraction of amber is achieved by extracting small fractions of size less than 5 mm, which are not extracted according to the existing technologies, as well as reducing losses in the removal of waste. One of the operations of the method is the separation of the rock in the vibro-classifier of complex action, which is a spiral classifier using vibration and bubbling of the pulp by air bubbles. Such a device can be used not only in a developed technological scheme, which is proposed in the way, but also in the form of a separate module, for example, for low-power fields, for difficult geological conditions. Then the vibro-classifier works in conjunction with the vibro-roar. For the specified operation is actually the definition of performance parameters. The article presents the results of the development of water-slurry operation scheme and analysis of density regimes for vibro-classification with the vibro-roar. The features of the technology in terms of the choice of fresh water supply points, reducing the

circulating load and reducing the cost of additional water are established. In the range of rational values of the density of the suspension in the bath of vibro-classifier 1400-1600 g/l, for the density of 1600 g/l an example of calculation water-slurry amber extraction scheme is given. It was found that at a capacity of 10 t/h, the flow of additional water is 2.24 m³/t, the circulating load is 0.5 t/h, amber extraction up to 85%. The program of calculation of indicators of the water-slurry scheme at variation of productivity and regime parameters is developed. The obtained results are recommended in the design and operation of the vibration classification unit for amber extraction, both in the developed technological scheme and in the form of a separate mobile module.

Keywords: amber, technology, vibro-classification, density of products

Стаття надійшла до редакції 2.06. 2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Б.О. Блюссом