

УДК 622.271.63; 622.236.73

Ю.А. Мамаев, Н.П. Хрунина

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ НАЧАЛЬНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ПУЛЬПУ В ЗУМПФОВОМ НАКОПИТЕЛЕ
ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОГЛИНИСТЫХ
РОССЫПЕЙ**

Рассмотрен один из подходов к обоснованию оптимальности процесса дезинтеграции при открытой разработке россыпей. Определены численные значения интенсивности звукового излучения, необходимые для создания заданной амплитуды смещения глинистых частиц в гидросмеси накопителя, обеспечивающие дезинтеграцию твердого для извлечение золота преимущественно размером менее 500 мкм.

Ключевые слова: параметры звукового воздействия, пульпа, гидросмесь, россыпи мелкого золота.

Семинар № 17

**U.A. Mamaev, N.P.Khrunina
FED RAS Mining Institute
DETERMINATION OF OPTIMAL
INITIAL OPERATION FACTORS SONIC
IMPACT ON PULP IN ROCK POOL TO
OPEN THE EXPLOITATION OF THE
MINERAL DEPOSIT**

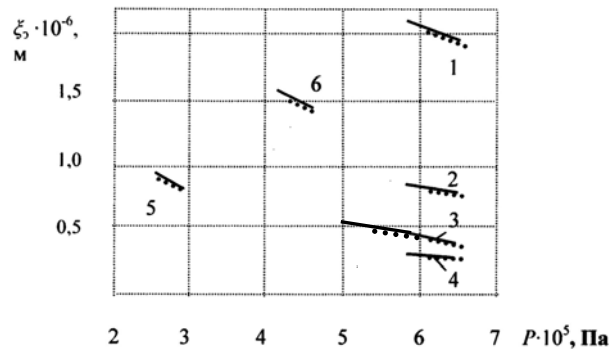
Considered one way to substantiation effectiveness process of disintegration of open working deposit. Determined numerical value intensity acoustic emanation necessary for making of giving amplitude displacement clayey particles in pulp pool, have been provide disintegration of solid for extraction from gold size less 500 μm .

Key words: sound exposure parameters, pulp, hydraulic fluid, placers of fine gold.

В основе добычи глинистых с высоким содержанием мелкого золота россыпей лежит проблема эффективного разупрочнения песков. Одним из вариантов решения данной задачи может быть использование многоступенчатого регулируемого механического и звукового воздействий. Трансформация песчано-глинистой породы россыпей в массиве имеет цель изме-

нить структурно-механические и физические параметры исходной системы путем механического и ультразвукового разрушения глинистых частиц таким образом, чтобы исключить потери мелкого и тонкого золота размером частиц от 500 до 1 мкм. Характер протекающего волнового процесса, при ультразвуковом воздействии на образуемую после водонасыщения и предварительного механического воздействия гидросмесь в зоне скопления мелкой фракции, отличается от процессов, происходящих в твердой среде [1, 2]. После вскрытия россыпи и подачи гидросмеси в накопитель, для определения параметров звукового воздействия на среду, задаемся двумя исходными минимальным и максимальным соотношениями твердого к жидкому Т:Ж как 3:7 и 6:4. Определяем эквивалентную расчетную плотность пульпы ρ_s при выбранном соотношении твердого к жидкому, эффективную сжимаемость твердой части пульпы β_t , эффективную сжимаемость пульпы β_s , эквивалентную скорость звука в пульпе c_s , волновое сопротивление

Рис. 2. Зависимость амплитуды смещения ζ частиц твердого в гидросмеси от давления P : 1, 2, 3, 4 – при интенсивности излучения 10 Вт/см² и частоте излучения 25, 60, 100, 150 кГц соответственно; 5, 6 – при частоте излучения 25 кГц и интенсивности 2 и 5 Вт/см² соответственно; при Т:Ж как: 3:7.....; 6:4_____.



пульпы $\rho_3 \cdot c_3$ для всех типов пород – слабопластичной, среднепластичной и высокопластичной [3]. Исходные технологические параметры ультразвукового излучения: частота излучения – 25, 60, 100 и 150 кГц при интенсивности 10 Вт/см² и дополнительно – частота – 25 кГц при интенсивности 2 и 5 Вт/см². Определяем давление P излучаемой энергии и амплитудные значения смещения $|\zeta|$ частиц твердого в звуковой волне [1]

$$\zeta = \frac{P}{2\pi \cdot f \cdot \rho_3 c_3}, \text{ (м)} \quad (1)$$

где f – частота излучения, Гц.

Пример расчета амплитуды смещения частиц при ультразвуковом воздействии на содержащую мелкое золото твердую составляющую пульпы в накопителе

Исходные данные: порода слабопластичная, средняя плотность породы $1,99 \cdot 10^3$ кг/м³; скорость звука в слабопластичной породе 2000 м/с; содержание твердого в пульпе 30%, газосодержание очень низкое (по данным А. М. Гальперина [4] составляет уровень второго порядка малости), объемное содержание воды $a_r=0,70$, твердого – $a_r=0,30$; интенсивность звукового излучения в общепринятом выражении единиц измерения $I = 2$ Вт/см² или для расчетов в системе СИ – $2 \cdot 10^4$ Вт/м². С учетом эквивалентной расчетной плотности пульпы $\rho_3 = 1,297 \cdot 10^3$ кг/м³ и эффективной сжимаемости пульпы $\beta_3=0,44 \cdot 10^{-9}$ м²/с/кг скорость звука в

пульпе для рассматриваемого объекта слабопластичной породы составит $c_3=1,324 \cdot 10^3$ м/с [3, 4]. При равновесном значении волнового сопротивления пульпы $\rho_3 c_3=1,717 \cdot 10^6$ кг/м²с и интенсивности $I=2$ Вт/см² давление излучаемой энергии составит $P=2,62 \cdot 10^5$ Па, а амплитуда смещения волны и частиц в ней с учетом сжимаемости $\zeta_3=0,97 \cdot 10^{-6}$ м. Аналогично рассчитываем амплитуду смещения частиц в звуковой волне при интенсивности 2; 5; 10 Вт/см² и частоте 25 кГц для всех типов пород и частотах излучения ультразвука – 60, 100 и 150 кГц и интенсивности 10 Вт/см². На основе проведенных расчетов построены графические зависимости амплитуды смещения ζ_3 от давления P излучаемой ультразвуковой энергии в зоне накопления мелкой фракции, рис. 1.

$$I = 19,72 \cdot \zeta_3^2 \cdot f^2 \cdot \rho_3 \cdot c_3. \quad (2)$$

Амплитуда смещения ζ частиц в звуковой волне при интенсивности 5 и 10 Вт/см² и частоте потока энергии 25 кГц значительно больше, чем при интенсивности 10 Вт/см² и частотах 60, 100 и 150 кГц. Поэтому для дальнейших расчетов ограничиваемся частотой излучения 25 кГц. Задаваясь величиной смещения $|\zeta|$ частиц в звуковой волне, которая необходимые параметры интенсивности возникает в плоской продольной волне, инициируемой ультразвуком, можно определить I ультразвукового излучения источника колебаний для оценки необратимости процесса

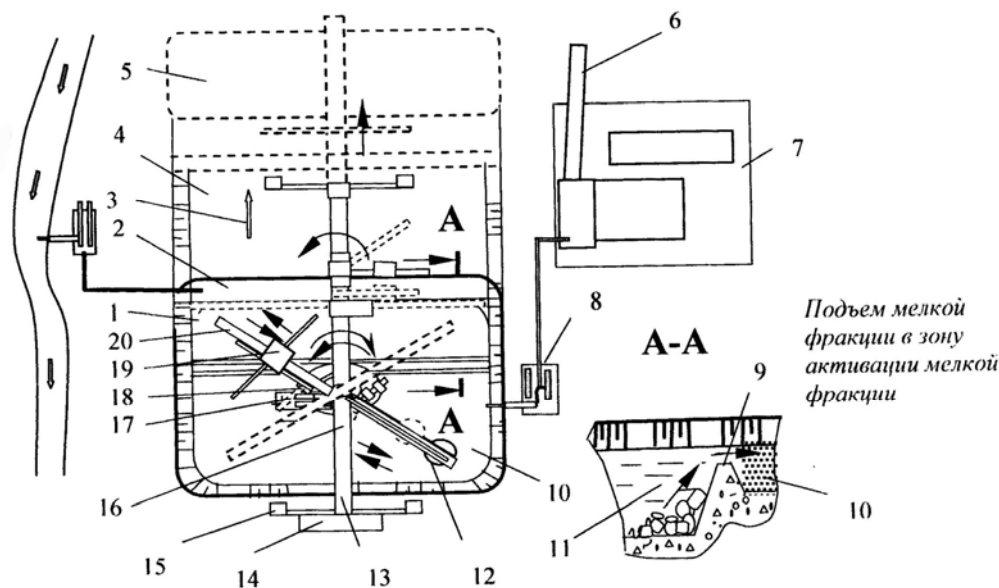


Рис. 2. Геотехнологический комплекс [3]: 1 – зона активации крупной фракции; 2 – зона для водонасыщения металлоносного пласта (канавка); 3 – направление отработки массива россыпи; 4, 5 – блоки последующей отработки; 6 – система отвалообразования пустой породы; 7 – перерабатывающий комплекс; 8 – система напорного гидротранспортирования; 9 – переходный порог между зонами активации; 10 – зона активации мелкой фракции; 11 – зона активации крупной фракции; 12 – механические активаторы; 13 – эстакада; 14 – автоматическая система управления активацией; 15 – опоры; 16 – поперечина эстакады; 17 – привод поворота платформы; 18 – поворотная платформа; 19 – звуковая система; 20 – штанга, связанная с поворотной платформой

дезинтеграции частиц твердого в гидросмеси, табл. [1].

На основе проведенных исследований в ИГД ДВО РАН сделана попытка по созданию ряда модификаций принципиальных конструктивных схем геотехнологических комплексов [5, 6, 7], позволяющих осуществлять направленное преобразование как высокопластичных, так и слабопластичных золотосодержащих глинистых пород, рис. 2. Принцип действия комплекса включает вскрытие продуктивной составляющей массива, осуществление предварительного механического или прямого звукового воздействия на уплотненную часть песков россыпей согласно полученным расчетным данным в ИГД ДВО РАН с частотой 25 кГц и интенсивностью излучения в соответствии с заданной де-

формацией. Например, при необходимости произвести деформацию величиной $|S|=10^{-5}$ м при волновом сопротивлении породы от $3,98 \cdot 10^6$ кг/м²с до $4,18 \cdot 10^6$ кг/м²с интенсивность излучения составит в среднем $8,16 \cdot 10^2$ Вт/см². После звукового воздействия на уплотненную часть россыпи осуществляют инициирование водонасыщенной зоны россыпей уже на основе полученных расчетных данных с учетом пористости породы, глубины слоя насыщения водой, среднего содержания воды в процентах и в зависимости от эквивалентного равновесного значения плотности и сжимаемости породы в водонасыщенном слое. Например, при пористости 26%, глубине слоя насыщенного водой 0,01 м и среднем содержании воды 15%, скорости звука от

Численные значения начальных параметров интенсивности излучения ультразвука, обеспечивающих заданные величины амплитуд колебательного смещения частиц в звуковой волне, частота излучения $f=25\text{кГц}$

Расчетное эквивалентное равновесное волновое сопротивление пульпы $(\rho_p \cdot c_p) \cdot 10^6$, кг/м ² с, при Т:Ж		Начальные параметры интенсивности I , Вт/см ² , ф. (2) при заданных амплитудах смещения $ \xi_s $ и соотношении Т:Ж					
		$ \xi_s = 10^{-6}\text{м}$		$ \xi_s = 10^{-5}\text{м}$		$ \xi_s = 10^{-4}\text{м}$	
3:7	6:4	3:7	6:4	3:7	6:4	3:7	6:4
1,717	1,910	2,12	2,35	$2,12 \cdot 10^2$	$2,35 \cdot 10^2$	$2,12 \cdot 10^4$	$2,35 \cdot 10^4$
1,976	1,962	2,43	2,42	$2,43 \cdot 10^2$	$2,42 \cdot 10^2$	$2,43 \cdot 10^4$	$2,42 \cdot 10^4$
2,005	2,011	2,47	2,48	$2,47 \cdot 10^2$	$2,48 \cdot 10^2$	$2,47 \cdot 10^4$	$2,48 \cdot 10^4$
2,076	2,139	2,56	2,64	$2,56 \cdot 10^2$	$2,64 \cdot 10^2$	$2,56 \cdot 10^4$	$2,64 \cdot 10^4$
2,109	2,178	2,6	2,68	$2,6 \cdot 10^2$	$2,68 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^4$	$2,68 \cdot 10^4$
2,118	2,195	2,61	2,705	$2,61 \cdot 10^2$	$2,705 \cdot 10^2$	$2,61 \cdot 10^4$	$2,705 \cdot 10^4$

$1,771 \cdot 10^3$ до $1,758 \cdot 10^3$ м/с в слое породы интенсивность звука при деформации пятого порядка малости составит от $5,11 \cdot 10^2$ до $5,23 \cdot 10^2$ Вт/см².

После вскрытия высокоглинистого участка россыпи и формирования зоны 2 для водонасыщения металлоносного пласта по фронту работ 3 осуществляют предварительную трансформацию структурных связей уплотненной, а затем водонасыщенной породы с помощью ультразвукового модуля 19. Зона 2 одновременно может быть так называемой зоной для крупной и средней фракций песков 1 на начальном этапе разработки. В зоне для крупной фракции 1 осуществляют механическую активацию гидросмеси с помощью динамического органа 12, установленного на эстакаде 13 с возможностью поворота и перемещения вдоль всей зоны обработки. Зона мелкой фракции 10 обрабатывается с помощью подвижного ультразвукового модуля 19. Обе зоны 1, 10 могут обрабатываться механическим и ультразвуковым воздействиями в сочетании. На основе зависимости (2) определены численные значения интенсивности излучения, необходимые для создания амплитуды смещения золотосодержащих глинистых частиц в пульпе накопи-

теля на величину от шестого порядка малости $|\xi_s| = 10^{-6}\text{м}$ до четвертого порядка малости $|\xi_s| = 10^{-4}\text{м}$, при частоте излучения 25кГц и эквивалентном равновесном волновом сопротивлении пульпы исследуемых пород россыпей с соотношением твердого к жидкому Т:Ж как 3:7 и 6:4.

С учетом распространения волны по жидкому, установлено, что начальные параметры интенсивности излучения потока энергии на гидросмесь, при учитываемых соотношениях твердого к жидкому, обеспечивают разрушение твердой составляющей, так как все параметры интенсивности (таблица) превышают величину $0,1$ Вт/см², которая, по данным Ямщикова В. С., обеспечивает необратимый процесс разрушения связей в породе.

Вывод

Использование критериев амплитуды смещения частиц твердого и давления при звуковом воздействии на гидросмесь, образуемую в добычных процессах при разработке россыпей с разным типом пластичности, позволило установить оптимальные параметры частотного диапазона излучения (25 кГц или близкую к ней величину) в сочетании с интенсивностью потока энергии.

1. *Бархатов А.Н.* Акустика в задачах. /А. Н. Бархатов, Н. В. Горская, А. А. Горюнов и др. ; под ред С. Н. Гурбатова и О. В. Руденко. – М. : Наука. Физматлит, 1996. – 336 с. – ISBN5-02-014742-7.
2. *Агранат Б.А.* Ультразвуковая технология / Б. А. Агранат, В. И. Башкиров, Ю. И. Китайгородский, Н. Н. Хавский. – М.: Металлургия. – 1974. – 503 с. – 7000 экз.
3. *Методы и измерительные приборы для моделирования и натурных исследований нелинейных деформационно-волновых процессов в блочных массивах горных пород* / [В. Н. Опарин и др.] ; отв. Ред. В. Л. Шкуратник ; Рос. Акад. Наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т горного дела [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. – 320 с. – (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 13).
4. *Гальперин А.М.* Геомеханика открытых горных работ: Учебник для вузов. – М.: Из-во МГГУ, 2003. – 473 с.: ISBN 5-7418-0228-1.
5. *Пат. 2206403* Российская Федерация, МПК⁷ Е 21 С 41/26, В 03 В 5/00. Геотехнологический комплекс с многоступенчатой дезинтеграцией / Хрунина Н. П.; заявитель и патентообладатель Ин-т горного дела ДВО РАН. - № 2002103643/03 ; заявл. 08.02.02 ; опубл. 20.06.03, Бюл. № 17. – 6 с. : ил.
6. *Пат. 2209678* Российская Федерация, МПК⁷ В 03 В5/00, Е 21 С 41/26. Геотехнологический комплекс с многоступенчатой дезинтеграцией / Хрунина Н. П., Мамаев Ю. А., Стратечук О. В. и др. ; заявитель и патентообладатель Ин-т горного дела ДВО РАН. - № 2002103644/03 ; заявл. 08.02.02 ; опубл. 10.08.03, Бюл. № 22. – 6 с. : ил.
7. *Пат. 2325533* Российская Федерация, МПК⁷ Е21 С41/30, В03В 5/02. Геотехнологический комплекс для разработки золотосодержащих россыпей / Хрунина Н. П., Мамаев Ю. А., Литвинцев В.С., Секисов Г. В.; заявитель и патентообладатель Инст-т горн. дела ДВО РАН. - № 2006146393/03 ; заявл. 25.12.06 ; опубл.27.05.2008, Бюл. № 15. – 7с.: ил. **ПАТ**

Коротко об авторах

Мамаев Ю.А. – профессор, доктор технических наук, гл. научный сотрудник,
Хрунина Н.П. – научный сотрудник,
 Институт горного дела ДВО РАН, eco@igd.khv.ru

