

## **A MODEL OF INTERACTION OF A GEOKHOD AND ITS SYSTEMS WITH THE GEO-ENVIRONMENT. THE NEED FOR REFORMATTING**

V.V. AKSENOV<sup>1,2</sup>, Dr. Sc., V.Yu. BEGLYAKOV<sup>3</sup>, Cand. Sc,  
V.Yu. SADOVETS<sup>2,4</sup>, Cand. Sc, D.A. PASHKOV<sup>2,4</sup>, Cand. Sc,  
R.S. OSIPOV<sup>5</sup>, Lead Engineer, I.R. IZMAILOV<sup>5</sup>, Lead Engineer

<sup>1</sup> Institute of Coal FITZ UUH SB RAS,  
10, Leningrad ave., Kemerovo, 650610, Russian Federation, e-mail: 55vva42@mail.ru

<sup>2</sup> Kuzbass State Technical University named T.F. Gorbachev,  
28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>3</sup> Yurginsky Institute of Technology Branch of Tomsk Polytechnic University,  
26, Leningradskaya str., Yurga, 652052, Russian Federation

<sup>4</sup> Kuzbass State Technical University named T.F. Gorbachev, Branch in Prokopyevsk,  
19a, Nogradskaya str., Kemerovo region, Prokopyevsk, 653033, Russian Federation

<sup>5</sup> SC «Ural Scientific and Technological Complex»,  
28A, Vostochny hwy, Nizhny Tagil, 62007, Russian Federation

The problem of reformatting the existing model for determining the parameters of a geo-pass into a model of interaction between a geo-pass and a geo-medium, taking into account the designated features, has become acute. The structure of the mathematical model of interaction of a geokhod and its systems with the geo-environment is proposed.

*Keywords:* mining equipment, tunneling underground apparatus, geomedia, geokhod, geokhod technology, mathematical model.

Поступила в редакцию/received: 21.10.2022; после рецензирования/revised: 11.11.2022;  
принята/accepted: 18.11.2022

УДК 622.285

### **ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГОРНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ**

А.Л. ЯБЛОНЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, П.Б. ПАШКО<sup>2</sup>, инженер

<sup>1</sup>Тверской государственный технический университет,  
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: alvovich@mail.ru

<sup>2</sup>ООО «Пик Майнинг»,  
127015, Москва, ул. Большая Новодмитровская, 36, стр. 12

© Яблонев А.Л., Пашко П.Б., 2023

Эффективность работы горных гидромеханизированных крепей во многом определяется качеством рабочих жидкостей – эмульсий. Широкому использованию при их приготовлении растворимого в воде импортного эмульсола в настоящее время препятствует стоимость последнего, трудности логистического плана, а также то, что весьма большое количество горно-шахтных предприятий имеет старые, изношенные сильно горные крепи с повышенным расходом эмульсии. Для решения данной

проблемы был разработан диспергатор с модуляцией потока, принцип действия которого основан на кавитации для интенсивного перемешивания воды и эмульсола. Был построен стенд с опытным диспергатором и приготовлена эмульсия, состоящая по объему из 98 % воды и 2 % отечественного эмульсола. Анализ полученной рабочей жидкости, проведенный с применением электронного микроскопа, показал, что данная эмульсия обладает на 30...50 % более высокой дисперсностью, чем традиционные, приготовленные с помощью известных гидромеханических диспергаторов.

*Ключевые слова:* горная механизированная крепь, диспергатор, рабочая жидкость, модуляция потока, гидродинамическая кавитация, акустическая кавитация, дисперсность.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2023-1-28-40**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Добыча угля подземным способом в России в 2020 г. составила более 100 млн т. В начале 2021 г. работали 58 угольных шахт, 42 из них – по технологии «шахта-лава». Средняя нагрузка на лаву сегодня составляет около 5 000 т/сут.

В подземной добыче угля используются очистные механизированные комплексы, которые включают в себя очистной комбайн, скребковый конвейер и механизированные крепи, которые поддерживают кровлю, препятствуют ее обрушению и служат для перемещения конвейера [1, 2]. Механизированная крепь – уникальная гидравлическая система; в состав одной секции крепи входит в среднем от 6 до 8 гидроцилиндров, а в состав комплекса в среднем – от 250 до 300 таких секций. Вертикальные цилиндры – гидростойки – препятствуют обрушению кровли. Горизонтальные цилиндры – гидродомкраты – служат для перемещения конвейера и собственно крепи. Длина комплекса может достигать 400 и более метров, состоять из нескольких тысяч элементов, а давление жидкости в гидростойках доходит до 60 МПа и более [3, 4].

Рабочие жидкости (РЖ) для крепей – это эмульсии; они в значительной степени определяют надежность и ресурс элементов гидросистемы механизированного комплекса. Питание рабочей жидкостью производится от насосов. Эти насосы находятся на насосной станции в составе энергопоезда. К эмульсиям предъявляются специфические строгие требования (однородность, высокая дисперсность, сопротивление к коагуляции). Изначально для работы механизированных крепей применялось минеральное масло, что было дорого и небезопасно. Далее стали применяться эмульсии, приготовлявшиеся при помощи мешалок и состоящие на 95...98 % из воды и на 2...5 % из эмульсолов – специальных добавок, обеспечивающих необходимые свойства рабочим жидкостям. Качество таких эмульсий было низким. Позже для приготовления эмульсий начали применять диспергаторы, позволяющие получать высокодисперсную эмульсию, за счет чего значительно увеличился ресурс элементов механизированной крепи. В диспергаторе с помощью ультразвука и кавитации смешивают эмульсол с водой, а также разбивают эмульсол на более мелкие фракции, то есть делают его более высокодисперсным. После появления эмульсолов третьего поколения (растворимых в воде импортных эмульсолов) диспергаторы стали реже использовать для приготовления эмульсии. Однако в условиях текущей экономической и политической ситуации использование растворимых в воде импортных эмульсолов невыгодно: они почти в пять раз дороже нерастворимых российских. Проблемы с применением зарубежных эмульсолов возникли в 2014 г. и с тех пор только усугубляются, возрастает риск в логистическом и санкционном планах. Кроме того, есть предприятия, которые используют изношенные горные крепи с повышенным расходом: у этих организаций нет средств покупать

дорогой эмульсол. Поэтому для производства и восстановления рабочей жидкости актуальным становится применение диспергатора как ключевого оборудования комплекса.

Цель данной работы – обоснование параметров диспергатора с модуляцией потока для получения агрегативно устойчивых высокодисперсных рабочих жидкостей механизированных крепей и повышения их работоспособности. Идея работы – получение высокодисперсных рабочих жидкостей механизированных крепей за счет использования рационального режима кавитационного воздействия.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В начале работы подобрали диспергатор, который можно было бы взять за основу. Сравнивали концепции аппаратов. В таблице приведены характеристики пяти распространенных аппарат-диспергаторов.

Сравнительная характеристика аппаратов-диспергаторов

Параметры	Аппараты				
	Ультразвуковая установка с магнито-стрикционной колонкой	Ультразвуковая установка с гидродинамическим вихревым излучателем (УГИ-ВМ)	Ультразвуковой гидродинамический смеситель (УГС-7У)	Ультразвуковой гидродинамический эмульгатор (УГДЭ-1)	Роторный диспергатор с модуляцией потока (ДМП)
Производительность, м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /с)	2 (5,6·10 <sup>-4</sup> )	15 (4,17·10 <sup>-3</sup> )	7 (1,9·10 <sup>-3</sup> )	30 (8,35·10 <sup>-3</sup> )	10 (2,8·10 <sup>-3</sup> )
Потребляемая мощность, кВт	20	5,5	6	18,5	4
Объем гидравлического тракта установки, м <sup>3</sup>	2,5	5	1,5	2	0,25
Масса, кг	900	1 400	600	1 000	120
Среднеарифметический диаметр частицы эмульсии, мкм	5	4	3	4	2
Удельный расход энергии, кВт·ч/м <sup>3</sup>	10	0,37	0,86	0,62	0,4
Удельная материалоемкость, кг/(м <sup>3</sup> /ч)	445	93,3	85,7	33,3	12
Удельная производительность, (м <sup>3</sup> /ч)/м <sup>3</sup>	0,8	3	4,7	15	40
Удельная потребляемая мощность, кВт/м <sup>3</sup>	8	1,1	4	9,25	16

Анализ показал, что диспергатор с модуляцией потока (ДМП) в сравнении с другими известными видами диспергаторов является наиболее перспективным: превосходит аналоги по таким параметрам, как дисперсность, масса, потребляемая мощность. У него лучшие показатели по удельной производительности и удельной материалоемкости, при этом наименьший объем гидравлического тракта, что свидетельствует о наименьших габаритных размерах. По параметрам ДМП был выбран для дальнейшей работы как наиболее перспективный диспергатор для угольной промышленности. Он был взят за основу для последующего улучшения характеристик (с этой целью были внедрены контроль газосодержания, давления и объемного расхода, лабиринтное уплотнение).

На рис. 1а представлен разработанный и созданный диспергатор с модуляцией потока. Роторный аппарат типа ДМП содержит корпус 1, входной и выходной патрубки аппарата 2 и 3 с регулировочными вентилями 4 и 5, ротор 6 с отверстиями в боковой стенке 7, который установлен на валу 8. Коаксиально ротору 6 установлен статор 9 с отверстиями 10 в боковой стенке и дополнительными каналами 11, коллектор 12 с вентилем 13, дополнительный входной патрубок 14 с диффузором 15 и вентилем 16.

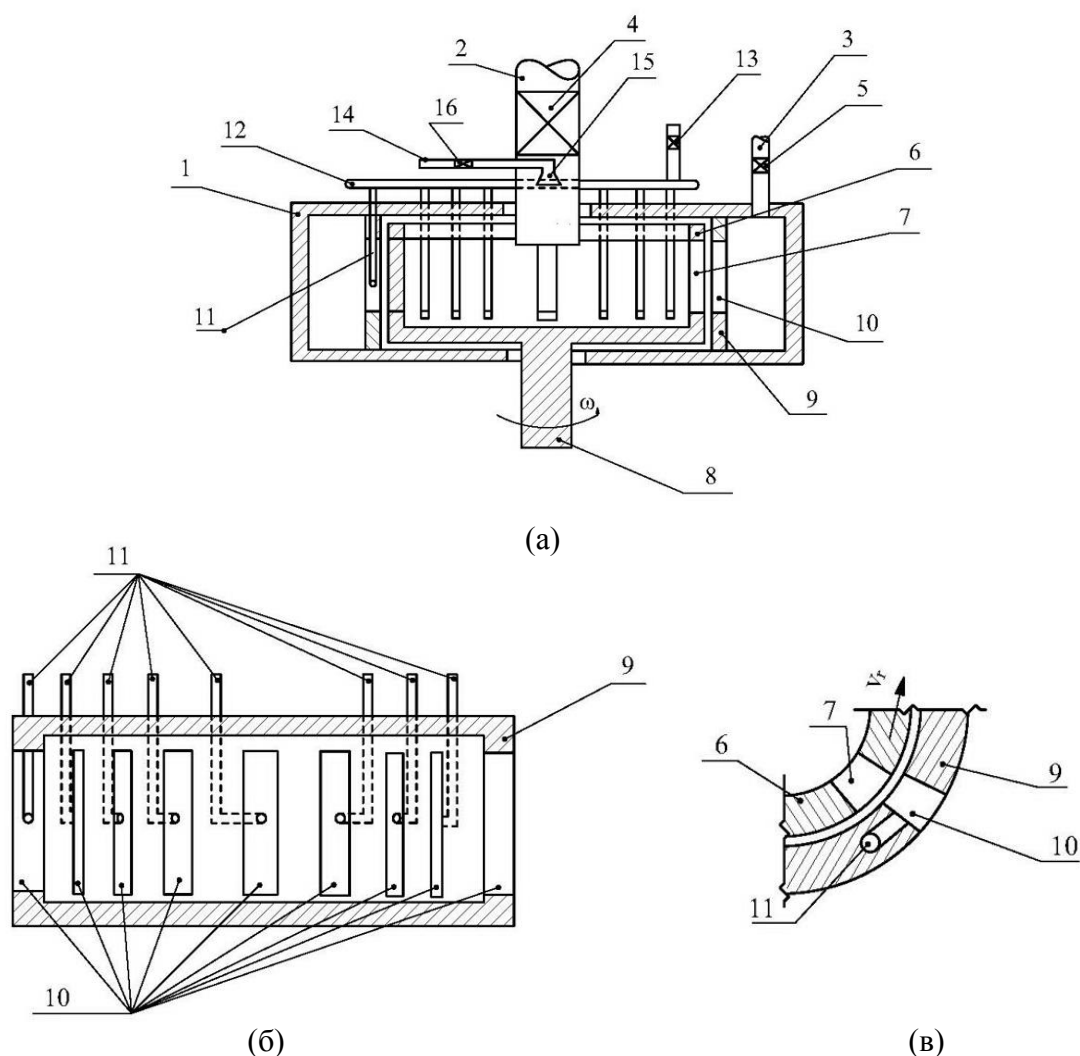


Рис. 1. Роторный аппарат типа ДМП для приготовления рабочей жидкости: диспергатор с модуляцией потока (а); статор с дополнительными каналами для подачи или отсоса воздуха (б); модулятор (в)

Принцип действия ДМП заключается в периодическом совмещении отверстий ротора и статора для получения и поддержания процесса кавитации, что используется для смешивания и позволяет получать высокодисперсную эмульсию, то есть эмульсию с более мелким диаметром частиц. При движении жидкости из отверстий ротора в патрубки статора наблюдается периодическое сужение площади проходного сечения, возникают переменные импульсы давления, что, в свою очередь, возбуждает импульсную акустическую и импульсную гидродинамическую кавитации [5].

Новизна предлагаемого модернизированного диспергатора заключается в управлении процессом кавитации. Критерий кавитации зависит от объемного расхода, давления жидкости, содержания свободного газа. Объемный расход регулируется вентилем 4, выход эмульсии – вентилем 5, за счет чего создается необходимое давление внутри диспергатора. Регулировка содержания воздуха в рабочей жидкости в диспергаторах подобного типа ранее не проводилась. Для реализации этого процесса воздух подается через патрубок 14 и отбирается через патрубок 12. Регулирование содержания воздуха производится вентилями 13 и 16. Для поддержания стабильного процесса кавитации нужно оптимальное содержание воздуха. Если его количество меньше или больше оптимального, кавитация будет меньшей. Регулируя перечисленные параметры, достигают оптимальных параметров диспергирования и получают высокодисперсные эмульсии.

На рис. 1б изображен статор с дополнительными каналами для подачи или отсоса воздуха, на рис. 1в – модулятор, образованный патрубками подвижного ротора и неподвижного статора (показано положение дополнительных патрубков для подачи или отсоса газа).

Кавитация делает процесс эмульгирования более интенсивным и позволяет получать тонкие эмульсии. При расчете ДМП [6] применялся гидродинамический метод [7], определялся оптимальный обобщенный критерий кавитации  $\chi$ , в котором учитывались импульсная гидродинамическая и импульсная акустическая кавитации:

$$\chi^{-1} = \chi_r^{-1} + \chi_a^{-1},$$

где  $\chi_r$  – критерий гидродинамической кавитации;  $\chi_a$  – критерий акустической кавитации.

Гидродинамическая кавитация возникает при обтекании тела жидкостью или при движении тела в жидкости по сужающимся участкам трубы [8]. Переменные импульсы давления возбуждают импульсную акустическую кавитацию [9].

Различают три вида акустической кавитации: простую (возникает при прохождении через жидкость гармонических волн); импульсную с заполненным импульсом (импульс содержит гармонические волны, образуется волновой пакет); импульсную с незаполненным импульсом (имеют место единичные импульсы с определенным периодом следования, скважностью и длительностью).

Преимущества акустической импульсной кавитации с незаполненным импульсом: нет твердой излучающей поверхности; вся энергия импульса переходит в жидкость без отражения и потерь. Вследствие этих преимуществ для повышения эффективности диспергирования жидкости следует применять именно этот вид кавитации, но улучшенный, то есть с отрицательным импульсом давления, так как при таком импульсе воздушный пузырь расширяется, а изменяться при расширении он может во много раз больше, чем при сжатии (при сжатии он изменяется максимально только на один диаметр) [10]. Отрицательный импульс давления, возбуждающий кавитацию, эффективнее использует энергию для ее передачи в кавитирующую жидкость.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Была разработана ячеечная математическая модель равномерно распределенных пузырей свободного газа, синхронно колеблющихся, как ансамбль точечных источников звука типа «монополь». Для нее характерно следующее: все пузыри распределены по объему жидкости, имеют одинаковый объем (предполагается, что большие пузыри всплывают, а малые растворяются). Поэтому распределение пузырей можно считать близким к монодисперсному. При этом в модели рассматривается не вся жидкость, а ячейка. Объем ячейки равен сумме объемов жидкости и пузыря. Вся жидкость с пузырями разбита на ячейки. Начальный объем ячейки равен отношению объема жидкости к числу  $N$  пузырей. Причем плотность равномерно распределенных в жидкости пузырей – величина, обратная начальному объему ячейки.

Объемное содержание свободного газа

$$\alpha = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ж}} + V_{\text{п}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{V_{\text{ж}} + \frac{4}{3}\pi R^3},$$

где  $V_{\text{п}}$  – объем газового пузыря;  $V_{\text{ж}}$  – объем жидкости;  $R$  – радиус газового пузыря.

Объемное содержание свободного газа для пузыря, совершающего радиально-сферические колебания:

$$\alpha(t) = \frac{\frac{4}{3}\pi R(t)^3}{V_{\text{ж}} + \frac{4}{3}\pi R(t)^3},$$

где  $t$  – время радиально-сферических колебаний пузыря.

Если начальное объемное содержание свободного газа

$$\alpha_0 = \frac{\frac{4}{3}\pi R_0^3}{V_{\text{ж}} + \frac{4}{3}\pi R_0^3},$$

где  $R_0$  – средний начальный радиус пузыря,  
то

$$\alpha_0 V_{\text{ж}} + \frac{4}{3}\pi R_0^3 \alpha_0 = \frac{4}{3}\pi R_0^3,$$

откуда

$$V_{\text{ж}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R_0^3(1-\alpha_0)}{\alpha_0}.$$

Тогда

$$\alpha(t) = \frac{\frac{4}{3}\pi R(t)^3 \alpha_0}{\frac{4}{3}\pi R_0^3(1-\alpha_0) + \frac{4}{3}\pi R(t)^3 \alpha_0}.$$

Обозначив относительный радиус свободного пузыря как

$$R' = \frac{R(t)}{R_0},$$

получим

$$\alpha(t) = \frac{\alpha_0 R'^3(t)}{1-\alpha_0 + \alpha_0 R'^3(t)},$$

или

$$\alpha(t) = \alpha_0 R'^3(t) [1 - \alpha_0 (1 - R'^3(t))]^{-1}.$$

Новизна предлагаемой модели содержания свободного газа для пузыря: в изданных ранее известных работах указывалось, что пузыри в жидкости совершают радиально-сферические колебания в поле гармонических волн, данное же исследование посвящено динамике радиально-сферических колебаний пузыря как ячейки газожидкостной смеси в режиме импульсных гидродинамической и акустической кавитаций [11, 12], благодаря чему можно вводить большую плотность энергии в обрабатываемую среду до явления суперкавитации (каждый импульс излучается в жидкость, а не в газожидкостную среду). Поскольку переменное содержание свободного газа в газожидкостной среде зависит от радиуса пузырей компактной области точечных источников звука, получаем математическую модель концентрации свободного газа, определяющего процесс эмульгирования.

Для исследования процесса получения эмульсии и проверки теоретических расчетов был создан экспериментальный стенд, состоящий из семи блоков (рис. 2, 3).

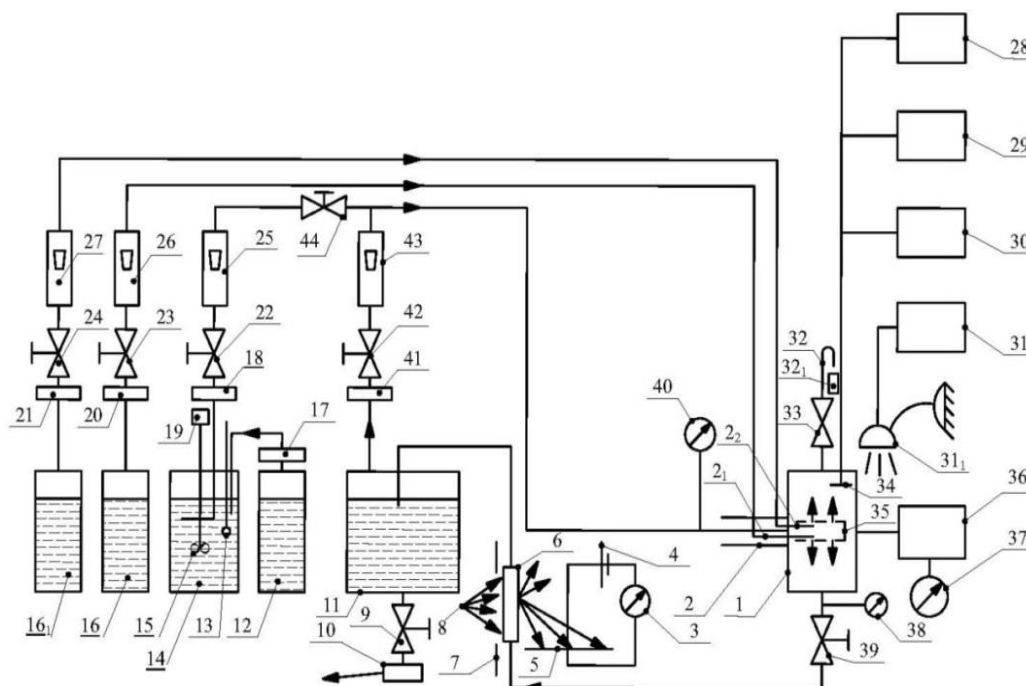


Рис. 2. Блок-схема экспериментального стенда

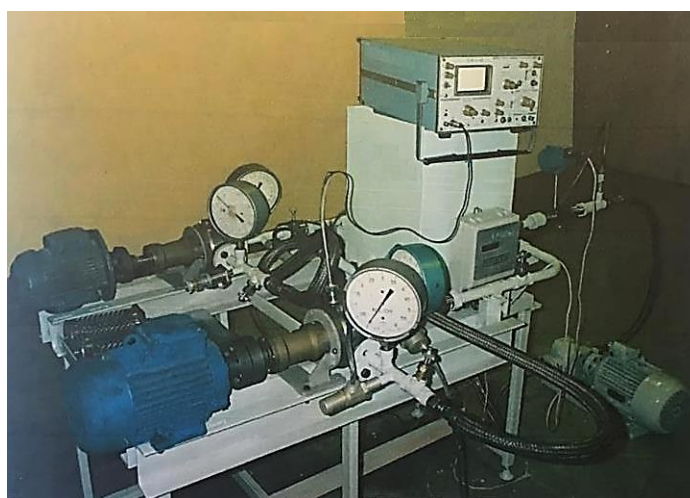


Рис. 3. Общий вид экспериментального стенда

Представленный стенд состоит из следующих элементов:

I. Блок гидромеханического диспергатора: 1 – ДМП с входными патрубками дисперсной сплошной среды 2; патрубки  $2_1$  и  $2_2$  возможных двух компонентов дисперсной фазы [13], которые подают их в центральный закрытый с одной стороны стакан 35 с радиальными отверстиями в его боковой стенке; манометры на выходе 38 и входе 40 ДМП; вентили 39 и 33 на выходе ДМП; патрубков 32 для отбора пробы полученной продукции; мерная емкость  $32_1$  для отбора пробы; электропривод 36 ваттметра 37 для определения мощности привода.

II. Блок емкостей с подачей компонентов: емкость 11 для полученной продукции; выходной вентиль 9; насос 10; емкости для обрабатываемых компонентов РЖ 12, 13, 15, 16; мешалка 14 с приводом 19; насосы для перекачивания 17 и подачи компонентов в ДМП 18, 20, 21; регулирующие вентили 22...24; расходомеры 25...27.

III. Блок линии рециркуляции: насос 41; вентили 42 и 44; расходомер 43.

IV. Блок нефелометра: миллиамперметр 3; источник постоянного тока 4; фотоэлемент 5; кювета 6; диафрагма оптическая 7; источник света 8.

V. Блок акустических измерений: приемник переменного давления 34; импульсные осциллографы марки С1-18 28 и С1-54 29; милливольтметр переменного тока 30.

VI. Блок тахометра 31 с импульсной лампой 31<sub>1</sub>.

VII. Блок измерения температуры в емкости 13 с мешалкой 14.

Основной особенностью блока I является подача компонентов дисперсной фазы в центральный, вращающийся вместе с ротором стакан, закрытый снизу [14, 15].

Конструкция ДМП была усовершенствована за счет использования лабиринтных уплотнений на боковых рабочих поверхностях ротора и статора, необходимых для увеличения гидравлического сопротивления транзитному течению через зазор между ротором и статором и скорости изменения плотности вводимой мощности импульса давления, что повышает качество рабочей жидкости. Эта конструкция представляет собой совокупность канавок на рабочих поверхностях ротора и статора, его применение позволяет увеличить дисперсность эмульсии [16, 17].

Экспериментальные работы по использованию ДМП были связаны с получением эмульсии, состоящей из 98 % воды и 2 % эмульсола ЭКС-А ВВК.

На фотографиях, сделанных при увеличении в 630 раз с помощью электронного микроскопа МБИ-6 (рис. 4), представлена рабочая жидкость, полученная на стенде, при различных значениях критерия кавитации. Из них видно, что наиболее высокая дисперсность, то есть самые маленькие капли эмульсии, получаются при значении критерия кавитации 0,2. Можно было бы сделать вывод о том, что чем меньше значение критерия кавитации, тем более высокодисперсной получается жидкость, однако при значительном уменьшении критерия кавитации может получиться не кавитирующая жидкость, а пена (так называемый эффект суперкавитации). Расчеты и эксперименты показали, что оптимальное значение обобщенного критерия кавитации составляет 0,2.

На графике (рис. 5) представлена зависимость неоднородности эмульсии от обратной величины обобщенного критерия кавитации при различных величинах зазора между ротором и статором. Графики построены по результатам анализа микрофотографий. Из кривых рисунка следует, что при небольших величинах зазора неоднородность эмульсии прямо пропорциональна обратной величине критерия кавитации. С увеличением зазора при меньших значениях обратной величины критерия кавитации наблюдается зависимость типа кривой второго порядка.



Критерий неоднородности рассчитывался по формуле

$$K = \frac{\sqrt{(d_i - d_{ap})^2 \Delta N_i}}{N},$$

где  $d_i$  – средний диаметр частиц в  $i$ -м интервале;  $d_{ap}$  – среднеарифметический диаметр частиц;  $\Delta N_i$  – число частиц, диаметр которых находится в интервале диаметров;  $N$  – общее число наблюдаемых частиц.

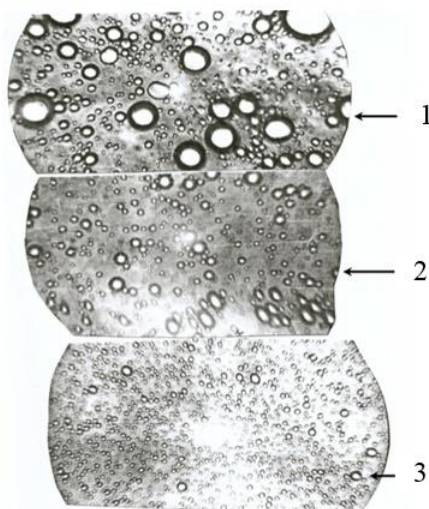


Рис. 4. Микрофотографии рабочей жидкости, приготовленной с помощью ДМП: 1 –  $\chi = 0,9$ ; 2 –  $\chi = 0,5$ ; 3 –  $\chi = 0,2$

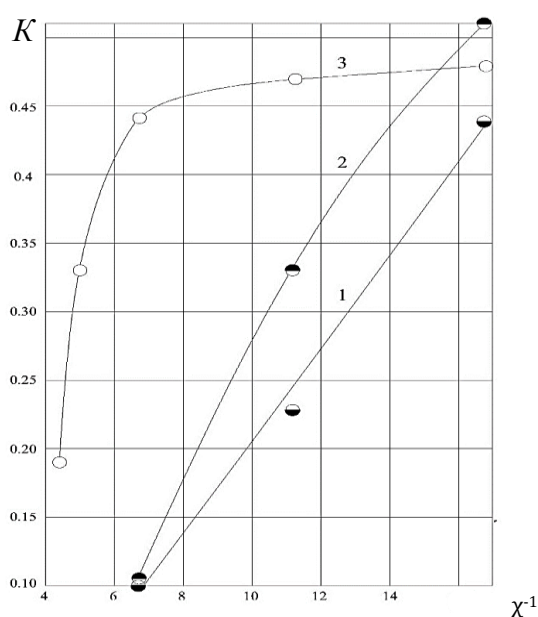


Рис. 5. Зависимость критерия неоднородности эмульсии  $K$  от обратной величины обобщенного критерия кавитации  $\chi^{-1}$  при различных величинах зазора  $\delta$ :  
1 –  $\delta = 0,069$  мм; 2 –  $\delta = 0,138$  мм; 3 –  $\delta = 0,21$  мм

На рис. 6 изображены графики плотности вероятности распределения капель эмульсии по размеру их диаметров. Графики построены по результатам анализа микрофотографий, демонстрирующих различные величины обобщенного критерия кавитации.

Распределение капель эмульсии по размеру диаметров представляет наиболее полную характеристику рабочей жидкости. Из графиков видно, что мода распределения расположена в диапазоне до 2 мкм, что характеризует полученную рабочую жидкость как высококачественную.

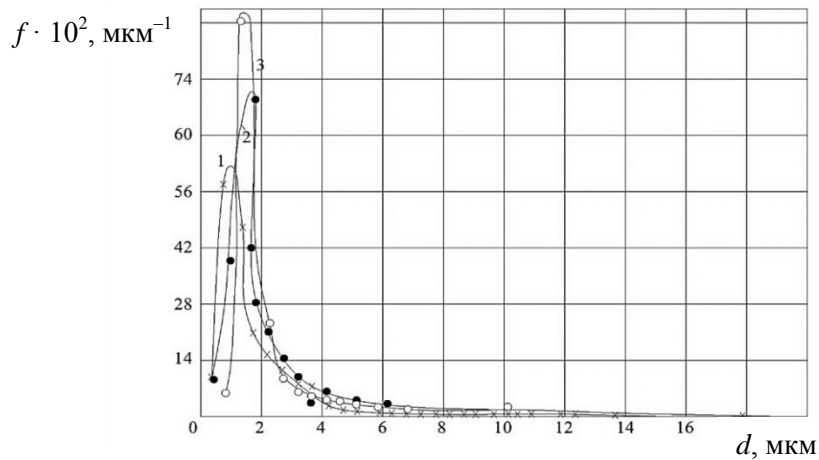


Рис. 6. Зависимость плотности вероятности распределения капель эмульсии от размеров их диаметров при различных величинах обобщенного параметра кавитации  $\chi$ : 1 –  $\chi = 0,27$ ; 2 –  $\chi = 0,3$ ; 3 –  $\chi = 0,37$

На рис. 7 представлена зависимость дисперсности эмульсии от квадрата расходной скорости в патрубках статора при различных величинах зазора между рабочими поверхностями ротора и статора (графики также построены по результатам анализа микрофотографий).

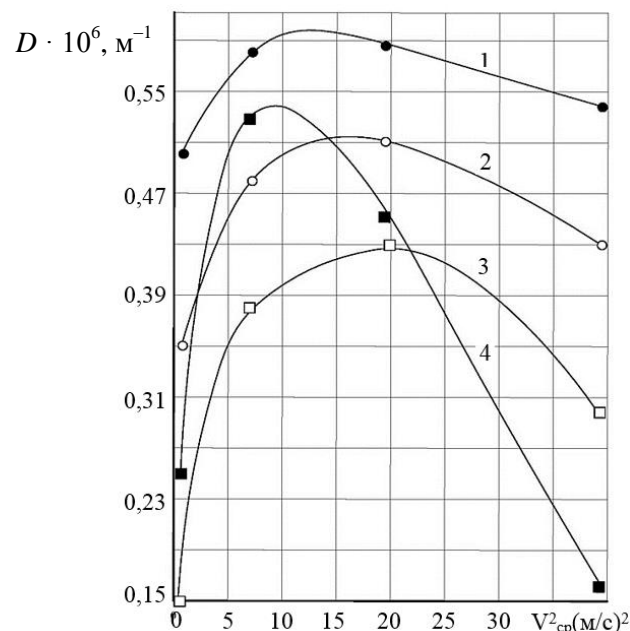


Рис. 7. Зависимость дисперсности эмульсии от квадрата расходной скорости в патрубках статора при различных величинах зазора  $\delta$  между рабочими поверхностями ротора и статора:  
1 ( $\delta = 0,069$  мм) и 3 ( $\delta = 0,138$  мм) – по среднеарифметическому диаметру;  
2 ( $\delta = 0,069$  мм) и 4 ( $\delta = 0,138$  мм) – по среднеповерхностному

Из всех приведенных графиков следует, что при минимальной величине зазора между ротором и статором получаем максимальную дисперсность рабочей жидкости. На графиках около нуля представлен докavitационный режим, крайняя точка справа на кривой 4 – суперкavitационный режим, пиковая область – оптимальный режим (различный для разных зазоров).

На рис. 8 изображены зависимости среднеарифметической дисперсности распределения капель и среднеповерхностной дисперсности от обратной величины обобщенного критерия кавитации при различной величине зазора. Здесь явно прослеживается оптимальный режим, различный для разных зазоров (пиковые по дисперсности точки расположены слева), и суперкavitационный (он показан на графиках 3, 5, крайние точки справа).

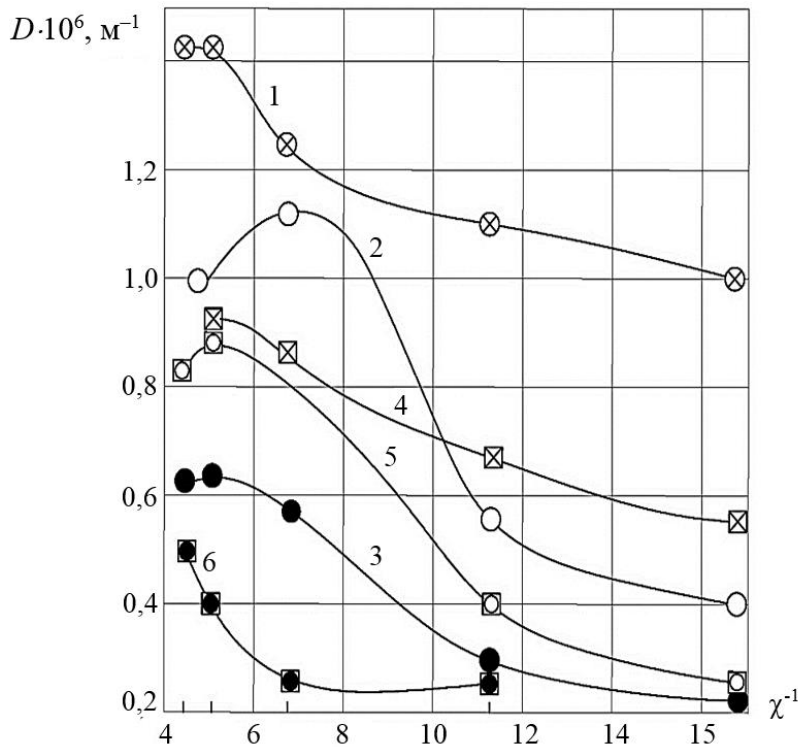


Рис. 8. Зависимость среднеарифметической дисперсности распределения капель (кривые 1, 2, 3) и среднеповерхностной дисперсности (кривые 4, 5, 6) от обратной величины обобщенного критерия кавитации при различных величинах зазора  $\delta$  между ротором и статором диспергатора: 1, 2, 3 –  $\delta = 0,069 \text{ мм}$ ; 4, 5, 6 –  $\delta = 0,207 \text{ мм}$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обоснована необходимость применения диспергаторов с модуляцией потока для приготовления рабочей жидкости механизированных крепей.

Установлено, что обобщенный критерий кавитаций, когда интенсивность эмульгирования является максимальным, зависит от содержания свободного газа.

Разработаны ячеечная математическая модель равномерно распределенных пузырей свободного газа, синхронно колеблющихся как ансамбль точечных источников звука типа «монополь»; семиблочный экспериментальный стенд для исследования процесса эмульгирования рабочей жидкости механизированной крепи при различных параметрах ДМП, на котором получена рабочая жидкость со среднеарифметическим

диаметром частиц около 2 мкм при удельном расходе энергии 0,4 кВт·ч/м<sup>3</sup>, удельной производительностью 40 (м<sup>3</sup>/ч)/м<sup>3</sup> и удельной материалоемкостью 12 кг/(м<sup>3</sup>/ч).

Установлено, что получение рабочей жидкости с помощью ДМП возможно осуществлять непосредственно в шахте путем однократного пропускания компонентов эмульсии через аппарат, при этом дисперсность получаемой эмульсии выше на 30...50 % по сравнению с эмульсиями, получаемыми в обычных гидромеханических диспергаторах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Turuk Y.V., Lugantsev B.B., Sysoev N.I. Substantiation of Structure and Basic Design Parameters of Devices for Orienting Powered Support Relatively to Face Conveyor in Formation Plane // *Proc. of the 4-th Int. Conf. on Industrial Engineering ICIE 2018*. 2019. P. 1687–1693.

2. Сысоев Н.И., Турук Ю.В., Колесниченко И.Е., Луганцев Б.Б. Новые технические решения, направленные на повышение надежности и эффективности работы механизированных крепей при выемке угольных пластов // *Горное оборудование и электромеханика*. 2018. № 2 (136). С. 29–34.

3. Buyalich G., Vyakov M., Buyalich K., Shtenin E. Development of Powered Support Hydraulic Legs with Improved Performance // *E3S Web of Conferences. 14-th International Innovative Mining Symposium, IIMS 2019*. 2019. V. 105. P. 03025.

4. Бяков М.А., Буялич Г.Д., Буялич К.Г., Увакин С.В. Исследование радиальных деформаций гидростоек двойной гидравлической раздвижности // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020. № 1. С. 133–140.

5. Панасенков Д.А., Зайцев А.П., Карташев А.Б., Пикалов Н.А., Дубинкин Д.М. Расчет гидромеханических потерь и моделирование кавитации в каналах гидравлического блока карьерного автосамосвала // *Горное оборудование и электромеханика*. 2021. № 3. С. 3–11.

6. Пашко П.Б., Яблонев А.Л. Расчет параметров диспергатора для приготовления эмульсии механизированных крепей // *Горное оборудование и электромеханика*. 2022. № 1 (159). С. 28–35.

7. Яблонев А.Л., Гусева А.М., Щербакова Д.М. Обоснование рациональных конструкций шнековых прессов фрезформовочных машин для добычи кускового торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2019. № 4. С. 63–72.

8. Wu P., Bai L, Lin W, Wang X. Mechanism and Dynamics of Hydrodynamic-acoustic Cavitation (HAC) // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2018. V. 49. P. 89–96.

9. Altay R., Sadaghiani A.K., Sevgen M.I., Şişman A., Koşar A. Numerical and Experimental Studies on the Effect of Surface Roughness and Ultrasonic Frequency on Bubble Dynamics in Acoustic Cavitation // *Energies*. 2020. V. 13. № 5. P. 1126.

10. Tian Cong, Wei Xiwen, Zheng Yi. The Intelligent Control of Emulsion Pump Station // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. V. 1881. No. 2. P. 022044.

11. Пашко П.Б., Юдаев В.Ф., Балабышко А.М. Влияние газосодержания на интенсивность кавитации и дисперсность рабочей жидкости гидромеханизированных угледобывающих комплексов // *Естественные и технические науки*. 2020. № 1. С. 151–156.

12. Пашко П.Б. Обоснование параметров диспергатора для получения и регенерации эмульсии механизированных крепей // *Уголь*. 2021. № 10. С. 10–13.

13. А. С. СССР № 1247071. *Роторный аппарат* / Юдаев В.Ф., Балабышко А.М., Кобозев И.Л.; Заявл. 06.11.1985. Оpubл. 30.07.1986. Бюл. № 28.

14. А. С. СССР № 238918. *Гидроакустическая сирена* / Кокорев Д.Т., Царев В.П., Юдаев В.Ф.; Заявл. 15.01.1967. Оpubл. 01.01.1969. Бюл. № 10.

15. Патент РФ № 2156665. *Струйный гидродинамический излучатель акустических колебаний* / Юдаев В.Ф., Ружицкий В.П., Балабышко А.М., Ракитин А.Н., Серова М.А., Никитина Е.В.; Заявл. 12.03.99. Оpubл. 27.09.2000. Бюл. № 27.

16. Buyalich G., Buyalich K., Vyakov M. Factors Determining of Lip Seal in the Sealed Gap of the Hydraulic Props of Powered Supports // *E3S Web of Conferences. 3-rd International Innovative Mining Symposium. IIMS 2018*. V. 41. P. 01045.

17. Бяков М.А., Буялич Г.Д., Буялич К.Г. Классификация факторов, оказывающих влияние на работу манжетных уплотнений гидростоек механизированных крепей // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2018. № S65. С. 29–37.

**Для цитирования:** Яблонев А.Л., Пашко П.Б. Обоснование конструкции диспергатора для подготовки рабочих жидкостей горных механизированных крепей // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 1 (17). С. 28–40.

## **JUSTIFICATION OF THE DESIGN OF A DISPERSANT FOR THE PREPARATION OF WORKING LIQUIDS OF MINING POWERED SUPPORTS**

A.L. YABLONEV<sup>1</sup>, Dr. Sc., P.B. PASHKO<sup>2</sup>, Engineer

<sup>1</sup>Tver State Technical University,  
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, Russian Federation, e-mail: alvovich@mail.ru

<sup>2</sup>LCD «Peak Mining»,  
36, buil. 12, Bolshaya Novodmitrovskaya str., Moscow, 127015, Russian Federation

The efficiency of mining hydromechanized roof supports is largely determined by the quality of working fluids – emulsions. The use of water-soluble imported emulsol for their preparation is currently constrained by the cost of the latter and difficulties in logistical terms, especially given the fact, that a very large number of mining enterprises have old, heavily worn rock supports with increased emulsion consumption. To solve this problem, a flow modulating dispersant was developed, the principle of which is based on cavitation for intensive mixing of water and emulsol. A stand was built with an experimental dispersant and an emulsion was prepared, consisting by volume of 98 % water and 2 % domestic emulsol. An analysis of the obtained working fluid, carried out using an electron microscope, showed, that this emulsion has a 30...50 % higher dispersion, than traditional emulsions, prepared using known hydromechanical dispersants.

*Keywords:* mining powered support, dispersant, working fluid, flow modulation, hydrodynamic cavitation, acoustic cavitation, dispersion.

Поступила в редакцию/received: 24.10.2022; после рецензирования/revised: 11.11.2022;  
принята/accepted: 18.11.2022