

Обоснование параметров диспергатора для получения и регенерации эмульсии механизированных крепей

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-10-14>

ПАШКО П.Б.

Инженер

ООО «ПИК МАЙНИНГ»,

127015, г. Москва, Россия,

e-mail: pashko.pb@gmail.com

В статье обоснована актуальность возвращения к использованию диспергаторов для подготовки эмульсии механизированных крепей в отдельных случаях – как резерв, в случае сбоев поставки растворимого эмульсола и при использовании механизированных крепей с малым остаточным ресурсом, например в условиях шахт ДНР и ЛНР. Предложен путь дальнейшего совершенствования диспергаторов, проведены сравнения показателей существующих и применявшихся ранее с предлагаемым диспергатором, в котором используется инновационный модулятор, с управляемым процессом кавитации за счет изменения объема содержащегося в жидкости воздуха.

Ключевые слова: механизированные крепи, эмульсия, регенерация, диспергаторы, удельные характеристики, кавитация.

Для цитирования: Пашко П.Б. Обоснование параметров диспергатора для получения и регенерации эмульсии механизированных крепей // Уголь. 2021. № 10. С. 10-14. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-10-14.

ВВЕДЕНИЕ

На механизированную крепь приходится основная часть стоимости механизированного комплекса, и она во многом определяет его производительность [1]. Надежность и ресурс гидравлических элементов механизированной крепи в основном определяет качество используемой эмульсии [2, 3].

В 1960-х гг., в начале эксплуатации механизированных крепей, в качестве рабочей жидкости (РЖ) использовалось минеральное масло, позже, в 1970-х гг., вместо минерального масла начали использовать эмульсию – «масло – в воде» (2-5% эмульсола и 95-98% воды). В состав эмульсола входит минеральное масло с различными присадками. По сравнению с минеральным маслом эмульсия является негорючей и при этом более дешевой. Для получения

эмульсии применялось специальное оборудование, смешивающее эмульсол и воду. Позже для этих целей появились диспергаторы, использующие в процессе смешивания кавитацию и ультразвук, позволяющие получать высокодисперсную эмульсию и за счет этого значительно повысить качество получаемой эмульсии и, соответственно, увеличить ресурс элементов механизированной крепи очистных комплексов. Следует отметить большую роль В.Ф. Юдаева и А.М. Балабышко в разработке теоретических и технических решений диспергаторов, а также в их внедрении в угольную промышленность [4, 5, 6, 7, 8].

С появлением в начале 2000-х гг. эмульсолов третьего поколения, растворяющихся в воде при приготовлении эмульсии, использование диспергаторов фактически прекратилось, хотя следует отметить, что большинство эмульсолов продолжают выпускать для использования в металлообработке, и их цена примерно в 5 раз ниже. Так как диспергаторы широко применяются в других отраслях промышленности [9, 10], за прошедшие 20 лет продолжалось совершенствование их конструкции. Нами рассматривается диспергатор с новой конструкцией модулятора, в котором повышение дисперсности получаемой эмульсии достигается за счет управления процессом кавитации.

На наш взгляд, в настоящее время целесообразно вернуться к применению диспергаторов в отдельных случаях по двум причинам. Во-первых, в связи с пандемией и повысившимся риском задержки поставки эмульсола [11]. Имеет смысл иметь диспергатор и запас «обычного» дешевого отечественного эмульсола в качестве запасного варианта. Во-вторых, в случае использования изношенных механизированных крепей на предпологаемом значимом интервале эксплуатации более целесообразно использовать более дешевый эмульсол, в том числе по причине его повышенного расхода. Такая ситуация соответствует ситуации в ДНР и ЛНР, где в работе осталось примерно 30 шахт и ориентировочно около 40 механизированных забоев, на которых добывается около 18 млн т в год [12, 13]. При этом механизированные крепи не приобретаются, а только восстанавливаются. Для вышеперечисленных случаев целесообразно вернуться к использованию диспергаторов для приготовления эмульсии, тем более что рассматриваемая кон-

струкция нового технического уровня позволяет получать более качественную, высокодисперсную эмульсию.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для обоснования параметров нового диспергатора проведем сравнение удельных показателей эффективности работы аппаратов-диспергаторов различного типа, применявшихся в производстве эмульсии для гидромеханизированных крепей (см. таблицу).

В таблице приведены известные интегральные характеристики и добавлены нами несколько столбцов (7-12), в которых приведены характерные интегральные величины. Они наилучшим образом и точнее позволяют сравнить экономические показатели аппаратов-диспергаторов.

Наиболее значительным показателем с экономической точки зрения является удельный потребляемый расход энергии, равный отношению потребляемой мощности к объемной производительности аппарата-диспергатора:

$$\mathcal{E}_y = \frac{N \text{ кВт} \cdot \text{ч}}{Q \text{ м}^3}. \quad (1)$$

Из таблицы следует, что максимальный удельный расход энергии имеет ультразвуковая установка с магнито-стрикционной колонкой. Ультразвуковая установка с гидродинамическим вихревым излучателем (УГИ-ВМ) хотя и имеет минимальный удельный расход энергии, но при одновременном максимальном среднем диаметре дисперсной фазы, и этот показатель практически равен удельному расходу энергии в роторном аппарате с модуляцией потока типа гидродинамического диспергатора (РАМП ГМД).

Конечная цель эмульгирования – увеличение удельной площади межфазной поверхности дисперсной фазы и дисперсионной среды в единице объема:

$$S = \frac{Nd^2}{N_0d_0^2}, \quad (2)$$

где d, N, d, N – начальные и конечные характерные диаметры частиц и их концентрация N и N_0 .

В отношении (2) входят две переменные величины d и N , которые можно связать материальным балансом: концентрация C , эмульсии в процесс эмульгирования постоянная:

$$\frac{\pi}{6} N_0 d_0^3 = \frac{\pi}{6} N d^3. \quad (3)$$

Откуда следует, что

$$N = N_0 d_0^3 D^3, \quad (4)$$

где $D = d^{-1}$ – дисперсность эмульсии.

Формула (2) примет вид:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{d_0}{d} \sim D. \quad (5)$$

Здесь предполагалось, что концентрация эмульсии $N_0 d_0$ во всех случаях одинаковая. По этому показателю наилучшим диспергатором является роторный аппарат с модуляцией потока типа ГМД (РАМП ГМД). Ближайший аппарат по этому показателю – ультразвуковой гидродинамический смеситель (УГС – 7У) расходует энергию на производство 1 куб. м эмульсии более чем в 2 раза, а удельная материалоемкость в 8,3 больше, чем у РАМП ГМД.

Рассмотрим, как увеличивается энергия E_σ межфазного поверхностного натяжения:

$$E_\sigma = \frac{QS}{S_0}, \quad (6)$$

Сравнительные характеристики гидромеханических диспергаторов

Тип гидромеханического диспергатора	Объемная производительность, м ³ /ч (м ³ /с)	Потребляемая мощность, кВт	Объем гидравлического тракта установки, м ³	Масса, кг	Среднеарифметический диаметр частицы эмульсии, мкм	Удельный расход энергии, 1 кВт·ч/м ³	Кратность увеличения удельной площади S/S_0 раздела фаз	Кратность увеличения E_σ в единицу времени	Удельная материалоемкость, кг/м ³ /ч	Удельная производительность аппарата, ч ⁻¹	Удельная потребляемая мощность аппарата, кВт/м ³ , (9)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ультразвуковая установка с магнито-стрикционной колонкой	2(5,6*10 ⁻⁴)	20	2,5	900	1	10	5	0,4	0,4450	0,8	8
Ультразвуковая установка с гидродинамическим вихревым излучателем (УГИ-ВМ)	15(4,17*10 ⁻³)	5,5	5	1,400	4	0,37	4	3,75	93,3	3	1,1
Ультразвуковой гидродинамический смеситель (УГС-7У)	7(1,9*10 ⁻³)	6	1,5	600	3	0,86	3	2,31	100	4,7	4
Ультразвуковой гидродинамический эмульгатор (УГДЭ-1)	30(8,35*10 ⁻³)	18,5	2	1,000	4	0,62	4	7,5	54	15	9,25
Роторный аппарат с модуляцией потока типа ГМД	10(2,8*10 ⁻³)	4	0,25	120	2	0,4	3,5	5	12	40	0,4

где Q – объемная производительность аппарата-диспергатора (см. таблицу, столбец 9).

Сравнивая показатели 9-го столбца, мы замечаем, что конкуренция между двумя последними диспергаторами, казалось бы, на стороне УГДЭ-1. Но этот показатель у УГДЭ-1 больше в 1,5 раза только за счет большого объемного расхода, который в 3 раза больше, чем у ГДМ. Дисперсность же – основной параметр рабочей жидкости (РЖ), который характеризует ее основные качества у ГДМ, – в 2 раза больше, чем у УГДЭ-1.

Важным удельным показателем аппарата-эмульгатора является удельная материалоемкость (см. таблицу, столбец 9):

$$m_y = \frac{m \text{ кг}}{Q \text{ м}^3/\text{с}}, \quad (7)$$

где m – масса гидромеханического диспергатора (см. таблицу, столбец 5).

Минимальную материалоемкость имеет РАМП ГМД. У ультразвуковой установки с гидродинамическим вихревым излучателем (УГИ-ВМ), ближайшего конкурента РАМП ГМД, этот показатель в ~ 8 раз больше, чем у РАМП ГМД. Удельная материалоемкость характеризует первоначальные капитальные затраты при налаживании производства рабочей жидкости, что весьма важно на первом этапе развития малых предприятий соответствующего профиля.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что как в теоретическом плане – обоснование импульсного возбуждения кавитации [14], так и в практическом – по удельным показателям и основному параметру рабочей жидкости – характерному диаметру капель эмульсии, а также по удельным материалоемкости и потребляемой мощности наилучшим аппаратом является роторный аппарат с модуляцией потока типа гидромеханического диспергатора. Он является не только аппаратом-эмульгатором, но и диспергатором. Его можно использовать в качестве аппарата-эмульгатора для производства эмульсий, а также для процесса регенерации и восстановления рабочих жидкостей, где происходят совмещенные процессы эмульгирования и диспергирования.

Известно [3], что наиболее благоприятном режиме работы ГМД является кавитационный, когда приготавливается, регенерируется и восстанавливается рабочая жидкость наиболее качественно и с большей производительностью. Кавитация в жидкости и ее интенсифицирующая способность зависят от объемной концентрации α_0 свободного газа в рабочей жидкости при оптимальном амплитудном значении импульса давления и его длительности, зависящем от α_0 [15, 16]. Поэтому изучение поведения жидкости с содержанием свободного газа является необходимым условием интенсификации производства рабочей жидкости гидромеханизированных комплексов. Даже малое количество воздуха (10^{-10} – 10^{-9} объемной доли) может изменить свойства жидкости (компоненты рабочей жидкости) – упругость, а значит, и скорость распространения звука. Коэффициент затухания импульсов в получаемой рабочей жидкости в корпусе ГМД сильно зависит от α_0 , а также от давления в газожидкостной смеси (ГЖС). Особенно необходимо эти факторы исследовать для рабочих жидкостей, работающих под давлением нескольких десятков МПа.

Важно в процессе производства, регенерации и восстановления поддерживать оптимальное значение концентрации свободного воздуха путем дегазации или насыщением жидкости воздухом. Рекомендуется проводить непрерывный мониторинг содержания α в корпусе аппарата.

Укажем основные факторы, воздействующие на содержание свободного воздуха α в жидкости [16]: содержание воздуха в растворенном и свободном состоянии; статическое давление; температура жидкости; примеси в виде частиц; режим течения жидкости; космическое и литосферное естественное ионизирующее излучение; ионы, вызывающие отрицательную гидратацию; частота акустического гармонического и импульсного излучения в жидкость; параметры импульсов (скважность, длительность, амплитуда, крутизна переднего и заднего фронтов импульса, отношение суммы максимальных абсолютных значений

производных давления по времени переднего $\left| \frac{dp_n}{dt} \right|_{\max}$ и заднего $\left| \frac{dp_3}{dt} \right|_{\max}$ фронтов к длительности импульса Δt :

$$\frac{d^2 p}{dt^2} = \left| \frac{dp_n}{dt} \right|_{\max} + \left| \frac{dp_3}{dt} \right|_{\max} / \Delta t, \quad (8)$$

которую можно назвать скоростью изменения плотности мощности импульса давления жидкости, имеющую размерность $\frac{\text{Вт/м}^3}{\text{с}}$; абсорбционная селективная способ-

ность жидкости.

Каждый из вышеприведенных факторов в тех или иных условиях может быть преобладающим над другими [17].

Для постоянного мониторинга содержания свободного газа и его оптимизации, когда производится, регенерируется и восстанавливается наиболее качественная рабочая жидкость, разработан метод определения концентрации свободного газа в жидкости, основанный на регистрации и измерении амплитуд кавитационных импульсов давления после первого и второго сжатия кавитационной области в камере аппарата типа ГМД как компактной области ($L < \lambda$, где L – линейная протяженность кавитационной области λ – в частности пространственная протяженность $c_m \Delta t$ импульса временной длительностью Δt) точечных источников звука типа монополь. Газосодержание жидкости определяют по эмпирической формуле:

$$\alpha_0 = 10^{\frac{4(p)^{0,244}}{3} \left[\lg \frac{p_1}{p_{21}} - 5,25(p)^{-0,004} \right]}, \quad (9)$$

где $p' = \frac{5p_0}{p_n}$, p_0 – статическое давление в жидкости, p_n –

модуль амплитуды отрицательного импульса давления, возбуждающего кавитацию в камере ГМД, МПа; p_1, p_2 – амплитуды кавитационных импульсов давления после первого и второго сжатия кавитационных пузырей, образующих компактную область точечных источников звука типа монополь, относительные единицы, которые зависят от метода измерения, например осциллографом импульсным в мВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для осуществления способа был разработан ГМД [5, 6], и предлагается его дальнейшее усовершенствование. Способ относится к генераторам акустических импульсов давления в обрабатываемой текущей среде, например при производстве, регенерации и восстановлении эмульсии крепей гидромеханизированных угледобывающих комплексов.

Нами рассматривается диспергатор с новой конструкцией входного патрубка в аппарат, позволяющего регулировать объемную концентрацию воздуха в диспергируемой рабочей жидкости, и отверстий статора, являющихся составной основной частью модулятора

При регулировании концентрации свободного воздуха в обрабатываемой рабочей жидкости на примере ее регенерации по сравнению с ГМД без регулирования α на 30–50% повышается качество регенерируемой жидкости: увеличивается дисперсность эмульсии и суспензии, дисперсии твердых частиц, скорость проводимого процесса при минимальных (или максимальных) удельных характеристиках среди других аппаратов-диспергаторов.

ВЫВОДЫ

В отдельных случаях целесообразно вернуться к применению диспергаторов для приготовления эмульсии. Это резерв при риске по срокам поставки современного эмульсола и использование в механизированных комплексах с низким остаточным ресурсом, эксплуатация которых в настоящее время осуществляется на многих шахтах ДНР и ЛНР, так как ранее применявшиеся и продолжающиеся выпускаться эмульсолы примерно в 5 раз дешевле использующегося в настоящее время.

2. Использование диспергаторов с управляемым процессом кавитации позволяет получать, восстанавливать и регенерировать высокодисперсную эмульсию повышенного качества.

Список литературы

1. Analysis and optimization of entry stability in underground long wall mining / V. Gao, D. Liu, X. Zhang, M. He // Sustainability. 2017. Vol. 9. N 11. P. 2079.
2. Финкельштейн З.Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин. М.: Недра, 1986. 232 с.
3. Cong Tian, Xiwen Wei, Yi Zheng. The Intelligent Control of Emulsion Pump Station // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1881. The 2nd International Conference on Computing and Data Science (CONF-CDS). 2021.

4. А.с. 542570 СССР, В 06 В 1/20. Гидроакустическая сирена / В.Ф. Юдаев, Ю.П. Романов, В.М. Варламов и др. Опубл. 15.01.1977. Бюл. № 2.

5. А.с. 142443 СССР, В 01 F 11/02. Роторный аппарат / В.Ф. Юдаев, С.Ф. Бреденко, С.С. Елаков. 1985.

6. А.с. 1247071 СССР, А1 В 01 F 7/28. Роторный аппарат / В.Ф. Юдаев, В.П. Ружицкий, А.М. Балабышко и др. 2000. Бюл. № 27.

7. Балабышко А.М. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. М.: Недра, 1992. 176 с.

8. Червяков В.М., Юдаев В.Ф. Гидродинамические и кавитационные явления в роторных аппаратах: Монография. М.: Изд-во Машиностроение-1, 2007. 128 с.

9. Агломазов А.Л., Юдаев В.Ф. Интенсивность процесса диспергирования // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 11. С. 9–13.

10. Агломазов А.Л., Юдаев В.Ф. Скорость технологического процесса эмульгирования // Естественные и технические науки. 2016. № 11. С. 266–269.

11. Nawrocki T.L., Jonek-Kowalska J. Assessing operational risk in coal mining enterprises – Internal, industrial and international perspectives // Resources Policy. 2016. Vol. 48. P. 50–67.

12. Министерство угля и энергетики Донецкой Народной Республики. [Электронный ресурс]. Донецк, 2020. URL: http://mintekdnr.ru/news/shakhtery_doneckoj_respubliki_dobyli_bolee_500_tys_tonn_uglja/2020-02-03-2263 (дата обращения: 15.09.2021).

13. Министерство топлива, энергетики и угольной промышленности. [Электронный ресурс]. Луганск, 2021. URL: <https://mintop.su/news/2021/04/2-milliona-tonn-uglja-dobyli-shahtjory-gup-lnr-rtk-vostokugol-s-nachala-goda> (дата обращения: 15.09.2021).

14. Numerical and experimental studies on the effect of surface roughness and ultrasonic frequency on bubble dynamics in acoustic cavitation / R. Altay, A.K. Sadaghiani, M.I. Sevgen et al. // Energies. 2020. Vol. 13. Is. 5.

15. Yu-Xiang Peng, A-Man Zhanga, Shi-Ping Wang. Coupling of WCSPH and RKPM for the simulation of incompressible fluid-structure interactions // Fluids and Structures. 2021. April.

16. Mechanism and dynamics of hydrodynamic-acoustic cavitation (HAC) / P. Wu, L. Bai, W. Lin, X. Wang // Ultrasonics Sonochemistry. 2018. Vol. 49. P. 89–96.

17. Yasui K., Tuziuti T., Kanematsu W. Extreme conditions in a dissolving air nanobubble // Physical Review E. 2016. 11 July. Iss. 94(1). DOI:10.1103/PhysRevE.94.013106.

Original Paper

UDC 622.23.05 © P.B. Pashko, 2021

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 10, pp. 10-14

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-10-14>

Title

SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE DISPERSANT FOR OBTAINING AND REGENERATING THE EMULSION OF POWERED ROOF SUPPORTS

Author

Pashko P.B.¹

¹ PIK MINING LLC, Moscow, 127015, Russian Federation

MINING EQUIPMENT

Authors Information

Pashko P.B., Engineer, e-mail: pashko.pb@gmail.com

Abstract

The paper substantiates the relevance of returning to the use of dispersants for the preparation of the emulsion of powered roof supports in certain cases, as a reserve in case of failure of the supply of soluble emulsifier and when using of powered roof supports with a small residual resource, for example, in the conditions of the DPR and LPR. The way of further improvement of dispersants is proposed, the indicators of existing and previously used ones are compared with the proposed dispersant using an innovative modulator, with a controlled cavitation process due to a change in the volume of air contained in the liquid.

Keywords

Powered roof supports, Emulsion, Regeneration, Dispersants, Specific characteristics, Cavitation.

References

- Gao V., Liu D., Zhang X. & He M. Analysis and optimization of entry stability in underground long wall mining. *Sustainability*, 2017, Vol. 9(11), pp. 2079.
- Finkelstein Z.L. Application and purification of working fluids for mining machines. Moscow, Nedra Publ., 1986, 232 p. (In Russ.).
- Cong Tian, Xiwen Wei & Yi Zheng. The Intelligent Control of Emulsion Pump Station. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1881. The 2nd International Conference on Computing and Data Science (CONF-CDS), 2021.
- A.S. USSR No. 542570 V 06 V 1/20. Hydroacoustic siren / Yudaev V.F., Romanov Yu.P., Varlamov V.M. et al., 15.01.1977, Byul. No. 2. (In Russ.).
- A.S. USSR No. 142443 V 01 F 11/02. Rotary apparatus / Yudaev V.F., Bredenko S.F., Elakov S.S., 1985. (In Russ.).
- A.S. USSR No. 1247071 A1 V 01 F 7/28. Rotary apparatus / Yudaev V.F., Ruzhitsky V.P., Balabyshko A.M. et al., 2000, Byul. No. 27. (In Russ.).
- Balabyshko A.M. & Yudaev V.F. Rotary devices with flow modulation and their application in industry. Moscow, Nedra Publ., 1992, 176 p. (In Russ.).
- Chervyakov V.M. & Yudaev V.F. Hydrodynamic and cavitation phenomena in rotary apparatuses: Monograph. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2007, 128 p. (In Russ.).
- Aglomazov A.L. & Yudaev V.F. Intensity of the dispersion process. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2016, (11), pp. 9-13. (In Russ.).
- Aglomazov A.L. & Yudaev V.F. The speed of the technological process of emulsification. *Natural and technical sciences*, 2016, (11), pp. 266-269. (In Russ.).
- Nawrocki T.L. & Jonek-Kowalska J. Assessing operational risk in coal mining enterprises – Internal, industrial and international perspectives. *Resources Policy*, 2016, (48), pp. 50-67.
- Ministry of Coal and Energy of the Donetsk People's Republic. [Electronic resource]. Donetsk, 2020. Available at: http://mintekdnr.ru/news/shakhtery_doneckoj_respubliki_dobyli_bolee_500_tys_tonn_uglja/2020-02-03-2263 (accessed 15.09.2021). (In Russ.).
- Ministry of Fuel, Energy and Coal industry of the Luhansk People's Republic. [Electronic resource]. Luhansk, 2021. Available at: <https://mintop.su/news/2021/04/2-milliona-tonn-uglja-dobyli-shahtjory-gup-lnr-rtk-vostokugol-s-nachala-goda> (accessed 15.09.2021). (In Russ.).
- Altay R., Sadaghiani A.K., Sevgen M.I. et al. Numerical and experimental studies on the effect of surface roughness and ultrasonic frequency on bubble dynamics in acoustic cavitation. *Energies*, 2020, Vol. 13(5).
- Yu-Xiang Penga, A-Man Zhanga, Shi-Ping Wang. Coupling of WCSPH and RKPM for the simulation of incompressible fluid-structure interactions. *Fluids and Structures*, 2021, April.
- Wu P., Bai L., Lin W., Wang X. Mechanism and dynamics of hydrodynamic-acoustic cavitation (HAC). *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, (49), pp. 89-96.
- Yasui K., Tuziuti T. & Kanematsu W. Extreme conditions in a dissolving air nanobubble. *Physical Review E*, 2016, 11 July, Iss. 94(1). DOI:10.1103/PhysRevE.94.013106

For citation

Pashko P.B. Substantiation of the parameters of the dispersant for obtaining and regenerating the emulsion of powered roof supports. *Ugol'*, 2021, (10), pp. 10-14. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-10-14.

Paper info

Received September 1, 2021

Reviewed September 14, 2021

Accepted September 15, 2021