

УДК 532.584:532.772:539.215.2

Семененко Е.В., д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
Рубан В.Д., магистр,
Подольяк К.К., магистр
(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БИМОДАЛЬНОГО
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДОЙ ФАЗЫ
СТРУКТУРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЙ**

Семененко Е.В., д-р техн. наук, ст. науч. співр.,
Рубан В.Д., магистр,
Подольяк К.К., магистр
(ИГТМ ім. М.С. Полякова НАН України)

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БІМОДАЛЬНОГО
ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ТВЕРДОЇ ФАЗИ
СТРУКТУРОВАНИХ СУСПЕНЗІЙ**

Semenenko Ye.V., Dr. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Ruban V.D., M.S (Tech.)
Podolyak K.K., M.S (Tech.)
(N.S. Polyakov IGTM NASU)

**SUBSTANTIATION OF PARAMETERS FOR BIMODAL
GRANULOMETRIC COMPOSITION OF STRUCTURED SUSPENSION
SOLID PHASE**

Аннотация. Доказана принципиальная возможность обеспечения максимальной концентрации структурированной суспензии за счет формирования в гранулометрическом составе двух преимущественных размеров частиц. Показано, что при характерных для структурированных суспензий концентрациях возможно размещение более мелких частиц в пространстве между более крупными, за счет чего обеспечивается высокая концентрация и седиментационная стабильность. Определено, что параметр, характеризующий бимодальность гранулометрического состава твердой фазы, определяется разницей в пористости слоя частиц с максимальным преимущественным размером, и пористостью слоя всей твердой фазы суспензии. Предложена зависимость параметра, характеризующего бимодальность гранулометрического состава твердой фазы, от концентрации частиц с максимальным преимущественным размером при различной концентрации суспензии. Разработаны методы определения требуемых объемных долей каждой моды частиц в зависимости от концентрации суспензии и их геометрических размеров.

Ключевые слова: бимодальный гранулометрический состав, структурированная суспензия, твердая фаза, максимальная концентрация.

Гранулометрический состав твердой фазы является основным фактором, определяющим свойства структурированных суспензий. Результаты исследований ведущих отечественных специалистов [1] и мировой опыт применения технологий приготовления водоугольного топлива (ВУТ) [2,3] свидетельствуют о том, что достигнуть максимальной концентрации, а, следо-

вательно, высоких значений энергетического потенциала таких суспензий можно только при бимодальном распределении твердых частиц по их размерам. Считается, что такой гранулометрический состав обеспечивает максимальную упаковку частиц [4], а также оптимальные, с точки зрения подвижности и текучести, статической и динамической седиментационной стабильности, реологические свойства суспензии [5, 6], [Левин В.Г., 1959]. С учетом этого наиболее рациональным направлением оптимизации технологий приготовления ВУТ и других структурированных суспензий, является обоснование параметров бимодального гранулометрического состава твердой фазы: диаметров частиц и долей фракций, соответствующих каждой моде.

Изначально для приготовления ВУТ и других структурированных суспензий использовались отходы обогащения минерального сырья, гранулометрический состав которых был обусловлен процессами дробления и измельчения, характерных для технологий переработки минерального сырья [7 - 11]. С началом разработки проектов по доставке угля в виде суспензии от мест добычи к месту сжигания (Порто Торрес – Италия, Белово-Новосибирск – Россия) возникла проблема выбора гранулометрического состава, обеспечивающего, с одной стороны, низкую энергоемкость процесса, а с другой стороны, – высокую седиментационную стабильность суспензии [Свитлый Ю.Г., 1966]. При этом многие авторы указывают на тот факт, что материалы с бимодальным гранулометрическим составом, позволяют решить эту проблему, однако ни один из них не указывает как оценить свойства бимодальности и какими они должны быть, что бы обеспечить требуемые технологические показатели.

Цель статьи – обосновать диаметры частиц и доли фракций каждой из мод бимодального гранулометрического состава твердой фракции структурированной суспензии, обеспечивающие ее максимальную концентрацию.

Высокая энергоемкость процессов дробления и измельчения во всех рассмотренных случаях [7 - 11] обусловлена тем, что при выборе их параметров не были учтены особенности структуры измельчаемого продукта и эффекты, связанные с резонансным разрушением. Как показано [Свитлый Ю.Г., 1966], [Покровская В.Н., 1985], [Горобец В.И., 1977] при взаимодействии материала с мелющими телами происходит последовательный разрыв межатомных связей и образование отдельных фрагментов твердого тела, что позволяет получить требуемый бимодальный гранулометрический состав с минимальными энергозатратами [Свитлый Ю.Г., 1966], [Покровская В.Н., 1985], [Горобец В.И., 1977]. Согласно этой концепции [Горобец В.И., 1977] особенности обмена энергией и веществом измельчаемого материала с окружающей средой характеризуются быстрыми и медленными процессами релаксации. Быстрые процессы релаксации характеризуют процессы разрушения, а медленные – процессы взаимодействия частиц между собой и с мелющими телами, то есть, процессы поступления энергии в систему. Когда продолжительность этих процессов в системе оказывается сравнимой, наступает резонансное разрушение и

происходит последовательный разрыв межатомных связей и образование отдельных фрагментов твердого тела. Именно этим и объясняется возникновение двух максимумов на кривой гранулометрического состава материалов, подвергаемых дроблению или измельчению. Первый, из которых связан с длиной, излучаемой при соударении волны, а второй – с размером неоднородностей, таких как трещины или поры. При этом между двумя максимумами располагается один минимум, что позволяет характеризовать такие материалы как бимодальные.

Доказано, что для таких гранулометрических составов соотношение между диаметрами частиц первого и второго максимумов является константой [Горобец В.И., 1977], [12, 13]:

$$K_d = \frac{d_2}{d_1} = 3 \pm 1,$$

где d_1 – минимальный преимущественный размер в распределении частиц; d_2 – максимальный преимущественный размер в распределении частиц; K_d – постоянная кратности преимущественных размеров в распределении частиц [Горобец В.И., 1977], [12, 13].

Эта бимодальность гранулометрического состава обусловлена свойствами материала и особенностями технологии измельчения. Бимодальность гранулометрического состава, рассматриваемая в литературе по технологиям приготовления ВУТ, обусловлена возможностью плотной укладки частиц твердого, за счет размещения более мелких классов в пространстве между более крупными частицами. Таким образом, любой материал, подвергнутый измельчению в зависимости от выбранного способа помола, буде характеризоваться бимодальным гранулометрическим составом, но не факт, что этот гранулометрический состав будет обеспечивать максимальную упаковку твердых частиц. Это условие для материала с бимодальным гранулометрическим составом будет выполняться, если частицы с минимальным преимущественным размером смогут располагаться между частицами с максимальным преимущественным размером.

Будем рассматривать частицы с максимальным преимущественным размером как некоторую пористую среду. В этом случае частицы с минимальным преимущественным размером смогут располагаться в порах этой среды, если диаметр этих пор будет больше диаметра окружности, описанной около конгломерата из нескольких частиц их диаметра. Диаметр поры в рассматриваемой среде определяется диаметром частиц скелета пористого материала и углом между отрезками, соединяющими центры этих частиц [14]:

$$\frac{d_m}{d_2} = \frac{1 - \cos(0,5\theta)}{\cos(0,5\theta)},$$

где d_m – диаметр поры, образованной между несколькими частицами с максимальным преимущественным размером; θ – угол между отрезками, соединяющими центры двух соседних частиц, образующих пору.

Углом между отрезками, соединяющими центры двух соседних частиц, образующих пору, определяется пористость рассматриваемого материала [14]:

$$m = 1 - \frac{\pi}{6(1 - \cos\theta)\sqrt{1 + 2\cos\theta}},$$

где m – пористость слоя, образованного из частиц с максимальным преимущественным размером.

Совместное рассмотрение двух последних формул позволяет предложить следующую функцию для аппроксимации зависимости между пористостью рассматриваемого слоя и соотношением диаметров пор и частиц скелета (рис. 1):

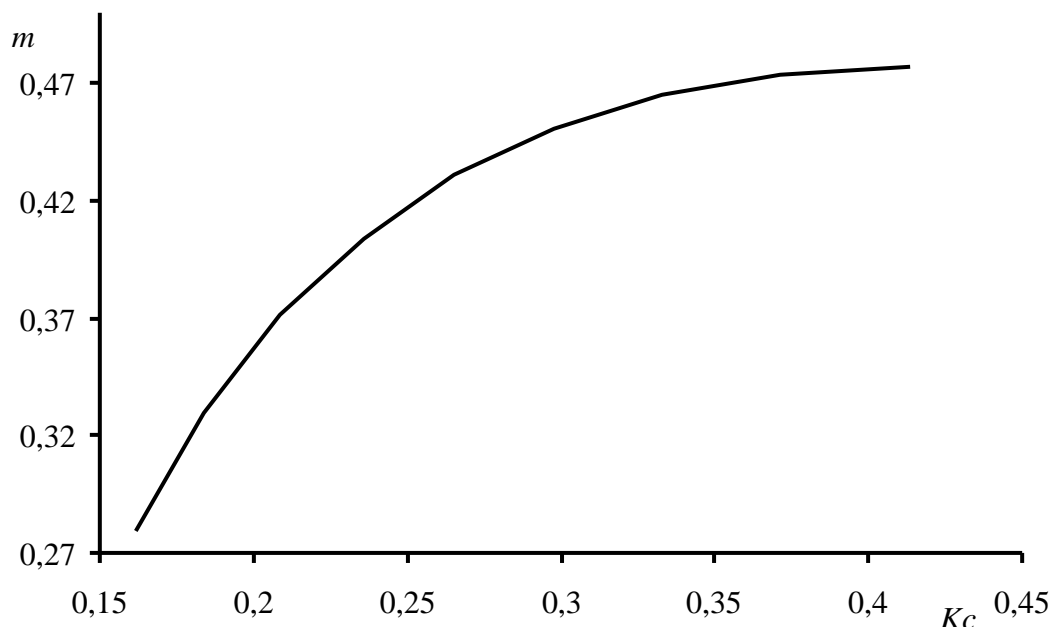


Рисунок 1 – Зависимость пористости слоя, образованного из частиц с максимальным преимущественным размером, от относительного диаметра пор

$$m = 0,209 \ln(26,97 K_c),$$

$$K_c = \frac{d_m}{d_2},$$

где K_c – относительный диаметр поры, образованной между несколькими частицами с максимальным преимущественным размером.

Более наглядной является зависимость обратной величины K_c от пористости слоя частиц с максимальным преимущественным размером (рис. 2):

$$K_n = \frac{d_2}{d_m},$$

где K_n – постоянная кратности диаметра пор.

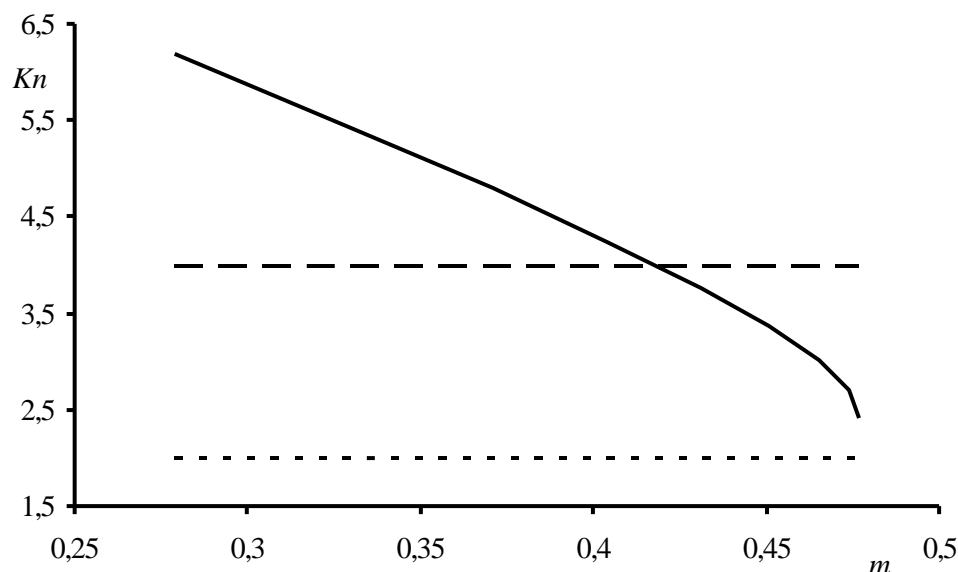


Рисунок 2 – Зависимость величины K_n от пористости слоя, образованного из частиц с максимальным преимущественным размером

Величина постоянной кратности диаметра пор совпадает со значением постоянной кратности преимущественных размеров в распределении частиц, K_d , в диапазоне

$$2 \leq \frac{d_2}{d_m} \leq 4,$$

что соответствует значениям пористости в следующем интервале (рис. 2)

$$0,416 \leq m \leq 0,501.$$

Объемная концентрация частиц с максимальным преимущественным размером при такой пористости слоя

$$C = 1 - m,$$

что соответствует значениям пористости в следующем интервале (рис. 2)

$$0,499 \leq C \leq 0,584,$$

где C – объемная концентрация в суспензии частиц с максимальным преимущественным размером.

В этом интервале концентраций частиц с максимальным преимущественным размером в пространстве между этими частицами сможет поместиться только по одной частице с минимальным преимущественным размером.

При больших концентрациях частиц с максимальным преимущественным размером: $0,584 \leq C \leq 0,721$, в пространстве между частицами с максимальным преимущественным размером (рис. 3) может поместиться более одной частицы минимального преимущественного размера.

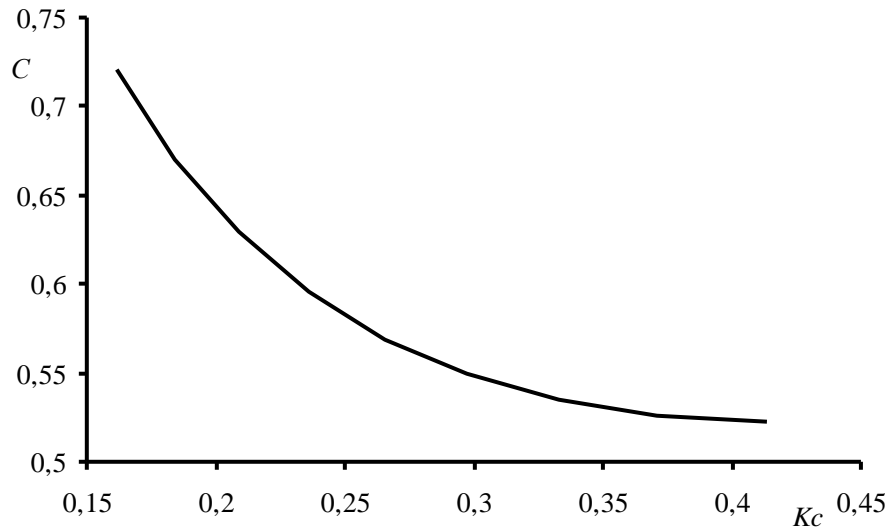


Рисунок 3 – Зависимость концентрации частиц с максимальным преимущественным размером от относительного диаметра образуемого ими поры

Предположим, что частицы минимального преимущественного размера образуют в пространстве между частицами максимального преимущественного размера конгломерат в виде правильного многоугольника, диаметр описанной окружности для которого вычисляется по формуле:

$$d_k = \frac{d_1}{2 \sin \frac{\pi}{n}},$$

где d_k – диаметр конгломерата; n – количество частиц минимального преимущественного размера в конгломерате.

Не трудно показать, что в этом случае количество частицы минимального преимущественного размера, образующих рассматриваемый конгломерат, определяется по формуле (табл. 1):

$$n = \frac{\pi}{\arcsin\left(\frac{K_b}{2K_c}\right)}, \quad K_b = \frac{1}{K_d}.$$

Таблица 1 – Интервалы изменения возможного количества частиц минимального преимущественного размера в конгломерате

Величина	Интервал изменения
K_b	от 0,25 до 0,5
K_c	от 0,162 до 0,414
n	от 4 до 10

Для рассматриваемого конгломерата диаметр окружности, касающейся всех частиц по внутренней области конгломерата, вычисляется по формуле:

$$d_l = \frac{1 - 4 \sin \frac{\pi}{n}}{2 \sin \frac{\pi}{n}} d_1,$$

где d_l – диаметр окружности, касающейся всех частиц по внутренней области конгломерата.

Очевидно, что если величина d_l не будет превосходить минимальный преимущественный размер частиц твердой фазы, то значение n будет предельным количеством частиц в конгломерате. Не трудно показать, что условие $d_l \geq d_1$,

выполняется начиная со значений $n \geq 19$.

Таким образом, конгломераты, образованные частиц с минимальным преимущественным размером в количестве указанном в табл.1, не будут содержать внутри дополнительных частиц.

С учетом аппроксимации зависимости относительного диаметра поры, образованной между несколькими частицами с максимальным преимущественным размером, от их концентрации в суспензии

$$K_c = \frac{0,061}{C^{2,743}},$$

количества частиц минимального преимущественного размера в конгломерате будет определяться по формуле:

$$n = \frac{\pi}{\arcsin(8,2 K_b C^{2,743})},$$

которая при расчетах с инженерной точностью может быть аппроксимирована степенной функцией:

$$n = 0,174 \frac{K_d^{1,26}}{C^{3,46}}.$$

Объемная концентрация в суспензии частиц минимального преимущественного размера определяется как разность между фактической концентрацией частиц твердой фазы, которая для структурированных суспензий принимается максимально возможной концентрацией, и концентрацией частиц с максимальным преимущественным размером (рис. 4)

$$C^* = C_m - C,$$

$$C_m = 1 - p,$$

где C^* – объемная концентрация в суспензии частиц минимального преимущественного размера; C_m – максимально возможная объемная концентрация твердых частиц в структурированной суспензии; p – максимальная пористость слоя частиц твердой фазы.

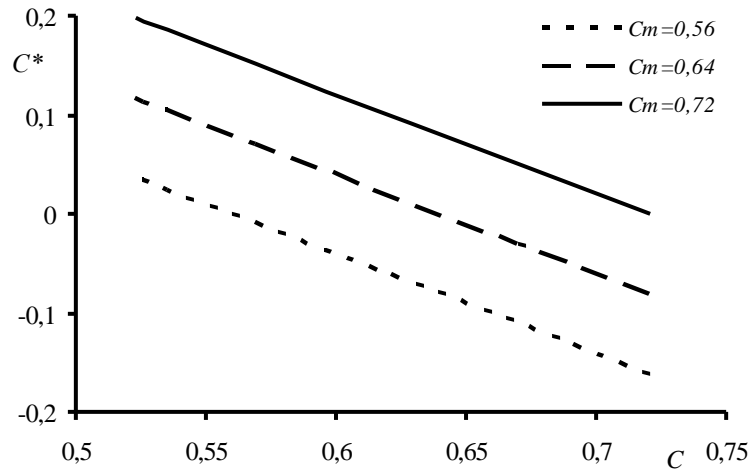


Рисунок 4 – Зависимость концентрации частиц с минимальным преимущественным размером от концентрации частиц с максимальным преимущественным размером при различной концентрации суспензии

Из рис. 4 видно, что на величину концентрации частиц с максимальным преимущественным размером существует ограничение $C < C_m$, которое может быть переписано в виде неравенства для относительного диаметра поры, образованной между несколькими частицами с максимальным преимущественным размером:

$$K_c \geq K,$$

$$K = 0,037 e^{4,785 p},$$

где K – минимально возможное значение параметра K_c (рис. 5).

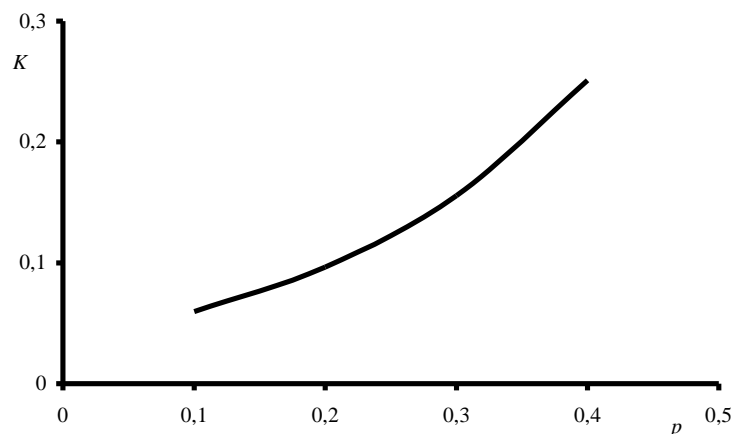


Рисунок 5 – Зависимость минимально возможного значения K_c от максимальной пористости слоя частиц твердой фазы

Результаты ряда исследований [8] указывают, что для многих структурированных суспензий реологические характеристики описываются законом Бингама-Шведова, значения параметров в котором определяются концентрацией суспензии и соотношением массовых долей двух фракций:

$$\tau = a \left(\frac{A}{\Gamma^z} + \dot{\varepsilon} \right) \Gamma^b, \quad \eta = q \Gamma^r,$$

$$\Gamma = \frac{m-p}{1-m},$$

где τ – касательные напряжения; $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации; η – эффективная вязкость суспензии; Γ – параметр, характеризующий бимодальность гранулометрического состава твердой фазы (рис. 6).

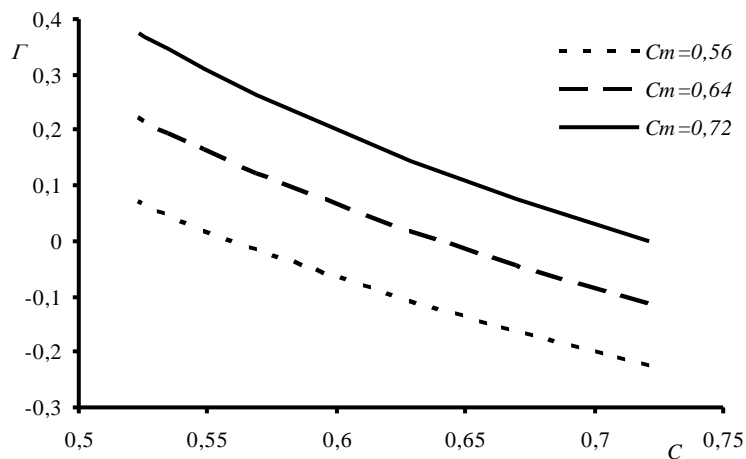


Рисунок 6 – Зависимость параметра, характеризующего бимодальность гранулометрического состава твердой фазы, от концентрации частиц с максимальным преимущественным размером при различной концентрации суспензии

Таким образом, из материалов, приведенных статье, можно сделать следующие выводы.

1. Бимодальный гранулометрический состав твердой фазы структурированной суспензии, при ее приготовлении с использованием операций дробления и измельчения, формируется в соответствии с автоколебательной концепции разрушения материала, с учетом характерных размеров внутренних дефектов кристаллической решетки, размеров разрушаемых частиц и мелющих тел.

2. При использовании материалов с бимодальным гранулометрическим составом постоянная кратности преимущественных размеров, для которых равна 3, возможно обеспечить высокие значения концентрации суспензии за счет размещения более мелких классов в пространстве между более крупными частицами.

3. Параметр, характеризуючий бимодальність гранулометричного складу твердої фази, визначається різницею в пористості шару частинок з максимальним переважним розміром і пористістю шару всієї твердої фази суспензії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білецький, В.С. Перспективи впровадження технології водовугільного палива у малій теплоенергетиці України / В.С. Білецький, О.А. Круть, Ю.Г. Світлий // Форум гірників-2007: Матеріали міжнарод. конф., жовтень 2007 р. – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – С. 170 – 178.
2. Benedek K.R., Menzies, K.T. Jonson, S.A. and Wilson, R.P. (1995), Coal-Fueled Diesels for Modular Power Generation-Operating Experience with 1,7 % Ash Coal-Water Slurry, *Proc. the 20-th Internat. Technic. Conf. on Coal Utilization & Fuel Systems, 1995, March, Clearwater, Florida, USA*, pp. 721 – 723.
3. Bradish, T.J. (1995) “Utility Applications for Coal-Water Slurry Cofiring, *Proc. 20th Int. Technic. Conference “Coal Utilization & Fuel Systems”, Clearwater, Florida, March, P. 523 – 534.*
4. Надутый, В.П. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин. – К.: Наукова думка, 2005. – 180 с.
5. Изменение реологических свойств в зависимости от добавок ПАВ различной природы / В. Беденко, Б. Чистяков, В. Миньков [и др.] // Методы регулирования структурно-реологических свойств и коррозионной активности высококонцентрированных дисперсных систем: Сб. научн. тр. / НПО Гидротрубопровод.– М., 1987.– с. 15 – 22.
6. Лучников, В. Состояние энергетики Украины, возможности для инвесторов по реабилитации тепловых электростанций. Деловые возможности и потребность в инвестициях / В. Лучников // Возможности модернизации украинских угольных электростанций: Україно-американська конф. 1989 г. – К., 1988.
7. Брагин, Б.Ф. Трубопроводный гидротранспорт твердых материалов: в 2-х тт. / Б.Ф. Брагин. – К.: ИСИ ВУГУ, 1993. – 327 с.
8. Круть, О.А. Водовугільне паливо / О.А. Круть. – К.: Наукова думка, 2002. – 172 с.
9. Світлий, Ю.Г. Гідравлічний транспорт / Ю.Г. Світлий, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. – 436 с.
10. Смолдырев, А.Е. Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей / А.Е. Смолдырев, Ю.К. Сафонов. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
11. Світлий, Ю.Г. Гідравлічний транспорт твердих матеріалів / Ю.Г. Світлий, О.А. Круть. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. – 268 с.
12. Бовенко, В.Н. Применение автоколебательной теории разрушения для прогнозирования энергоемкости процесса измельчения твердых тел / В.Н. Бовенко, Л.Ж. Горобец // Доклады Академии наук СССР. – 1987. – Т. 292, №5. – С. 106 – 111.
13. Бовенко, В.Н. О проявлении дискретности твердых тел в процессе их измельчения / В.Н. Бовенко, Л.Ж. Горобец // Доклады Академии наук СССР. – 1987. – Т. 292, №5. – С. 1095 – 1100.
14. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.

REFERENCES

1. Biletskyi, V.S., Krut, O.A. and Svitlyi, Yu.G. (2007) «Prospects for introducing the technology of water-coal fuel in the small thermal power engineering of Ukraine», *Materialy mizhnarodnoi konferentsii*, [Materials of international conferences], *Forum hirnykiv-2007* [Forum of miners- 2007], Dnipropetrovsk, Ukraine, October 2007, pp. 170-178.
2. Benedek K.R., Menzies, K.T. Jonson, S.A. and Wilson, R.P. (1995), Coal-Fueled Diesels for Modular Power Generation-Operating Experience with 1,7 % Ash Coal-Water Slurry, *Proc. the 20-th Internat. Technic. Conf. on Coal Utilization & Fuel Systems, 1995, March, Clearwater, Florida, USA*, pp. 721 – 723.
3. Bradish T.J. (1995), Utility Applications for Coal-Water Slurry Cofiring, *Proc. the 20-th Internat. Technic. Conf. on Coal Utilization & Fuel Systems, 1995, March, Clearwater, Florida, USA*, pp. 523 – 534.
4. Nadutyj, V.P. and Lapshin E.S. (2005), *Veroyatnostnyie protsessy vibratsionnoy klassifikatsii mineralnogo syrya*, [Probabilistic processes of oscillation classification of mineralraw material], *Naukova dumka*, Kiev, Ukraine.
5. Bedenko, V., Chistyakov, B. and Minkov, V. (1987), «Change of rheological properties depending on

additives of surface active substances of various nature», *Metody regulirovaniya strukturno-reologicheskikh svoystv i korrozionnoy aktivnosti vysokokontsentririvaniykh dispersnykh system Sb. nauchnykh trudov NPO Gidrotuboprovod.*, Moscow, SU, pp. 15–22.

6. Luchnykov, V. (1988), «The state of the Ukrainian energy sector, opportunities for investors to rehabilitate thermal power plants. Business Opportunities and Investment Needs», *Vozmozhnosti modernyzatsii ukrainskikh ugolnyukh ehlektrostantsiy: ukrainsko-averikanskaya konferentsiya*, Kiev, Ukraine.

7. Bragin, B.F. (1993), *Truboprovodnyj gidrotransport tvyerdykh materialov* [Pipeline hydrotransport of solid materials], ISI VUGU, Kiev, Ukraine.

8. Krut, O.A. (2009), *Vodovugilne palyvo* [Water-coal fuel], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

9. Svitlyi, Yu.G. and Biletskyi, V.S. (2009), *Hidravlichnyi transport* [Hydraulic transport], Skhidny vydavnychy dim, Donetsk, Ukraine.

10. Smoldyrev, A.E. and Safonov, Yu.K. (2009), *Truboprovodnyj transport koncentririvaniykh gidrosmelej* [Pipeline transportation of concentrated slurries], Mashinostroenie, Moscow, USSR.

11. Svitlyi, Ju.G. and Krut, O.A. (2010), *Hidravlichnyi transport tvyerdykh materialiv* [Hydraulic transport of solid materials], Skhidny vydavnychy dim, Donetsk, Ukraine.

12. Bovenko, V.N. and Horobets, L.Zh. (1987), «Application of the self-oscillating theory of fracture to predict the energy intensity of the process of grinding solid bodies», *Doklady Akademii nauk SSSR*, vol. 292, no. 5, pp.106-111.

13. Bovenko, V.N., Horobets, L.Zh. (1987), «On the manifestation of the discreteness of solids in the process of their grinding», *Doklady Akademii nauk SSSR*, vol. 292, no. 5, pp.1095-1100.

14. Gumenik, I.L., Sokil, A.M., Semenenko, E.V. and Shurygin, V.D. (2001), *Problemy razrabotki rossypanykh mestorozhdeniy* [Problems of development of placer deposits], Sich, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Семенов Евгений Владимирович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом проблем шахтных энергетических комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина e-mail. evs_post@meta.ua

Рубан Виталий Дмитриевич, младший научный сотрудник в отделе шахтных энергетических комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина e-mail. igtm-ruban@i.ua

Подольак Константин Константинович, инженер в отделе проблем шахтных энергетических комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина e-mail. podolyak@email.ua

About the author

Semenenko Yvgeniy Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Head of the Department of Problems of Mine Energy Complexes, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (N.S. Polyakov IGTM NASU), Dnipro, Ukraine

Ruban Vitaliy Dmitrievich, Master of Sciences (M.Sc.), Junior researcher in Department of Mine Energy Complexes, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (N.S. Polyakov IGTM NASU), Dnipro, Ukraine. igtm-ruban@i.ua

Podolyak Konstantin Konstantinovich, Master of Sciences (M.Sc.) Engineer at the Department of Mine Energy Complexes, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (N.S. Polyakov IGTM NASU), Dnipro, Ukraine. podolyak@email.ua

Анотація. Доведено принципову можливість забезпечення максимальної концентрації структурованої суспензії за рахунок формування в гранулометричному складі двох переважних розмірів частинок. Показано, що при характерних для структурованих суспензій концентраціях можливе розміщення більш дрібних частинок в просторі між більшими, за рахунок чого забезпечується висока концентрація і сідентаційна стабільність. Визначено, що параметр, який характеризує бімодальність гранулометричного складу твердої фази, визначається різницею в пористості шару частинок з максимальним переважним розміром і пористістю шару всієї твердої фази суспензії. Запропоновано залежність параметра, що характеризує бімодальність гранулометричного складу твердої фази, від концентрації

частинок з максимальним переважним розміром при різній концентрації суспензії. Розроблено методи визначення необхідних об'ємних часток кожної моди частинок в залежності від концентрації суспензії і їх геометричних розмірів.

Ключові слова: бімодальний гранулометричний склад, структурована суспензія, тверда фаза, максимальна концентрація.

Abstract. Principal possibility of obtaining the highest concentration of structured suspension through formation of two predominant particle sizes in the granulometric composition was proved. It is shown that at concentrations typical for the structured suspensions, it is possible to place smaller particles in the space between larger ones, thereby ensuring high concentration and sedimentation stability. It is determined that parameter, which characterizes bimodality of the granulometric composition of the solid phase, is determined by difference between porosity of the particle layer with the maximum advantageous size and porosity of the entire solid phase of the suspension. Dependence of the parameter, which characterizes bimodality of the granulometric composition of the solid phase, on the concentration of particles with the maximum predominant size at different concentrations of the suspension is described. Methods were developed for determining the required volume fractions of each mode of particles depending on the concentration of the suspension and their geometric dimensions.

Keywords: bimodal granulometric composition, structured suspension, solid phase, highest concentration.

Статья поступила в редакцию 12.06.2017

Рекомендована к публикации д-ром технических наук Блюссом Б.А.