

УДК 532.584.002.612:621.928.45

Семененко Е.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Демченко Т.Д., магистр,
Рыжова С.А., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЙ ПОД
ДЕЙСТВИЕМ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ**

Семененко Є.В., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Демченко Т.Д., магістр,
Рижова С.О., магістр
(ІГТМ НАН України)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СЕДИМЕНТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ
СТРУКТУРОВАНИХ СУСПЕНЗИЙ ПІД ДІЄЮ ТУРБУЛЕНТНИХ
ПУЛЬСАЦІЙ**

Semenenko Ye.V., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Demchenko T. D., M.S. (Tech.),
Ryzhova S.A., M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

**RESEARCH OF DYNAMIC SEDIMENTATION STABILITY OF THE
STRUCTURED SUSPENSIONS UNDER THE AFFECT OF TURBULENT
FLUCTUATIONS**

Аннотация. В данной статье предложено уточнение гипотезы механизма динамической агрегативной устойчивости структурированной суспензии, путем сопоставления энергии связи частиц твердого материала и внешней энергии потока жидкости, направленной на разрыв этой связи. Также был выполнен анализ энергетического взаимодействия частиц с разными диаметрами, энергетическими потенциалами поверхности и константами Гамакера. Показано, что для геотехнологических систем основными факторами, детерминирующими агрегативную устойчивость структурированной суспензии при транспортировании, являются: крупность частиц, природа твердого материала и его минеральных включений, потенциал их поверхности, соотношение суммарной энергии взаимодействия частиц в жидкости и энергии потока.

Ключевые слова: структурированные суспензии, агрегативная устойчивость, энергетического взаимодействия частиц.

С позиции теории устойчивости лиофобных коллоидов Дерягина – Ландау – Фейрвейка – Овербека (ДЛФО) агрегативная устойчивость и статическая седиментационная стабильность структурированных суспензий (СС) обеспечивается балансом сил притяжения и отталкивания, имеющих ионно-электростатическую и Ван-дер-Ваальсовскую природу [1 – 3, 5, 6]. Сумма рассматриваемых сил записывается в виде формулы (1), а абсциссы экстремумов

данной функции определяют расстояния между частицами, при которых начинаются процессы необратимой и обратимой коагуляция.

При этом первый из экстремумов, максимум, лежащий ближе к началу координат, определяет начало коагуляция, приводящей к нарушению гомогенности СС, а второй экстремум, минимум, лежащий дальше от начала координат, определяет начало коагуляция, определяющей проявления тиксотропных свойств СС. Именно поэтому знание координат этих экстремумов, а также значений функции в них, является важным для обеспечения агрегативной устойчивости и статической седиментационной стабильности СС. Между рассматриваемыми экстремумами находится точка пересечения кривой графика функции (1) с осью абсцисс, которая соответствует устойчивому структурному состоянию суспензии. Еще одна точка равновесия расположена между максимумом функции и началом координат, однако эта точка не является устойчивой, малые отклонения от нее приводят к нарушению гомогенности СС.

$$E_c = 2\pi\varepsilon_n r \varphi_\delta^2 \ln(1 + e^{-\chi h}) - \frac{rA}{12h}, \quad (1)$$

где ε_n – абсолютная диэлектрическая проницаемость воды, $7,26 \cdot 10^{-10}$ Ф/м; r – радиус сферической твердой частицы, м; φ_δ – потенциал диффузной частицы двойного электрического слоя (ДЭС) на поверхности твердых частиц, В; χ – обратный дебаевский радиус, в большинстве случаев $1 \cdot 10^{-8}$ м; h – расстояние между частицами, м; A – константа Гамакера, Дж.

Для определения координат этих экстремумов, значений функции в них, а также точек устойчивого равновесия перепишем выражение (1) в следующем виде:

$$e = \ln(1 + e^{-y}) - \frac{E}{y}, \quad (2)$$

$$e = \frac{E_c}{2\pi\varepsilon_n r \varphi_\delta^2}, \quad (3)$$

$$y = \chi h, \quad (4)$$

$$E = \frac{A\chi}{24\pi\varepsilon_n r \varphi_\delta^2}, \quad (5)$$

где e – безразмерная суммарная энергия взаимодействия частиц; y – относительное расстояние между частицами; E – параметр энергетического взаимодействия частиц.

Координаты точек равновесия находят как корни уравнения, получаемого приравниванием правой части выражения (2) нулю

$$\ln(1 + e^{-y}) = \frac{E}{y}. \quad (6)$$

Уравнение (6) существенно нелинейно и корни его могут быть получены только численными методами с последующей аппроксимацией такими функциями

$$y' = 1,575E, \quad (7)$$

$$y'' = 2,473 \lg\left(\frac{4,162}{E}\right), \quad (8)$$

где y' – координата точки неустойчивого равновесия; y'' – координата точки устойчивого равновесия.

Координаты экстремумов функции (2) можно получить исходя из анализа этого выражения. Приравнявая нулю первую производную по относительному расстоянию между частицами твердой фазы СС, нетрудно получить следующее уравнение для расчета координат экстремумов:

$$y^2 - E = Ee^y. \quad (9)$$

Уравнение (9) существенно нелинейно и корни его могут быть получены только численными методами (рис. 1, 2) или после разложения экспоненты в степенной ряд. Численный анализ полученных решений (рис. 1, 2) показывает возможность аппроксимации рассматриваемых зависимостей функциями такого вида

$$y^* = 1,721E^{0,503}, \quad (10)$$

$$y^{**} = 1,162 \ln\left(\frac{21,041}{E}\right), \quad (11)$$

где y^* – абсцисса максимума функции (2); y^{**} – абсцисса минимума функции (2).

Был выполнен анализ энергетического взаимодействия частиц при изменении их диаметров, энергетических потенциалов поверхности и констант Гамакера. В соответствии с рекомендациями коллоидной химии, используемые в геотехнологических системах СС являются грубодисперсными. Для их приготовления обычно используют частицы угля крупностью от 0 до 100 мкм, с потенциалом поверхности в пределах от 20 до 100 мВ, а констант Гамакера, в зависимости от различий гидрофильно-гидрофобного баланса поверхности частиц, составляет от 0,3 до $0,5 \cdot 10^{-19}$ Дж [1 – 3, 5].

Для таких сыпучих материалов, при потенциале $\varphi = 100$ мВ и константе Гамакера $A = 3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж, с увеличением крупности частиц энергетический барьер отталкивания увеличивается с одновременным увеличением глубины второго энергетического минимума. Первое явление способствует увеличению агре-

гративной стойкости СС, поскольку этот барьер препятствует проникновению и необратимой коагуляции частиц в первом энергетическом минимуме. Увеличение глубины второго энергетического минимума способствует увеличению стабильности тиксотропной структуры. Чем больше величина энергетического минимума, тем больше энергия взаимодействия между частицами в обратных коагуляционных структурах и тем больше стойкость СС.

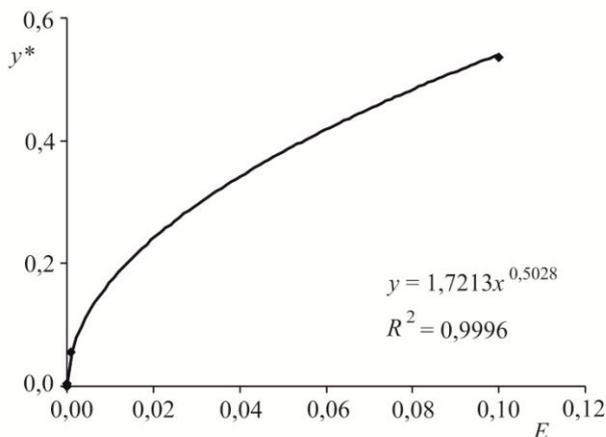


Рисунок 1 – Зависимость координаты максимума функции (2) от параметра энергетического взаимодействия частиц

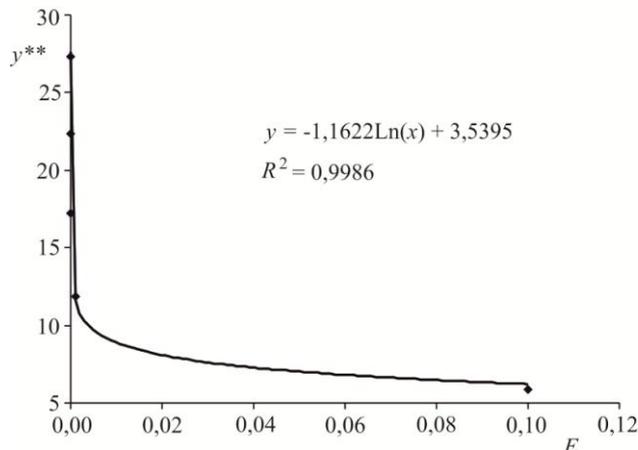


Рисунок 2 – Зависимость координаты минимума функции (2) от параметра энергетического взаимодействия частиц

Увеличение потенциала поверхности твердых частиц приводит к появлению и увеличению энергетического барьера отталкивания, который появляется при $\varphi = 50$ мВ. При $\varphi < 50$ мВ СС агрегативно неустойчива, так как под действием дисперсионных Ван-дер-Ваальсовских взаимодействий её твердые частицы необратимо коагулируют, и происходит расслоение суспензии. При $\varphi > 50$ мВ наблюдаются два характерных явления: существенно возрастает высота энергетического барьера отталкивания, что повышает агрегативную устойчивость СС, и координата второго энергетического минимума смещается вправо, что увеличивает расстояние между твердыми частицами, которые зафиксированы во втором энергетическом минимуме тиксотропной структуры. При уменьшении константы Гамакера сила притяжения между частицами уменьшается, и они становятся менее гидрофобными, агрегативная устойчивость при этом повышается.

При исследовании динамической седиментационной стабильности СС с позиции теории устойчивости лиофобных коллоидов ДЛФО кроме сил притяжения и отталкивания, имеющих ионно-электростатическую и Ван-дер-Ваальсовскую природу, необходимо учитывать энергию потока жидкости, которая по мнению ряда авторов определяется по формуле (12). Однако результаты анализа этой формулы указывают на ряд недостатков такого подхода, поскольку он: оценивает энергию, вносимую потоком жидкости, по величине коэффициента Кориолиса, характеризующего отличие течения реальной Ньютонской жидкости от идеальной, и не используемой для жидкостей Бингама-Шведова; не рассматривает межфазное взаимодействие на основе аэродинами-

ческих сил, действующих на частицу; использует новый вид энергии пропорциональный кубу скорости; не учитывает зависимость величины энергии, привносимой потоком жидкости, от расстояния между частицами.

При оценке энергии потока жидкой фазы СС, которая стремится нарушить структуру и равномерное распределение частиц твердой фазы по объему суспензии при ее течении по трубопроводу, будем предполагать что: дополнительная энергия возникает за счет разницы в скоростях движения рассматриваемых частиц относительно друг друга; разность средних скоростей частиц и жидкости пропорциональна гидравлической крупности частицы в стесненных условиях [4, 7 – 9]; дополнительная энергия является кинетической энергией относительного движения частиц; режим течения СС по трубопроводу является турбулентным.

В соответствии с принятыми предположениями, вместо формулы (12), для оценки энергии потока жидкой фазы СС, которая стремится нарушить динамическую седиментационную стабильность суспензии при ее течении по трубопроводу, будем использовать

$$E_{II} = 0,5\alpha\rho_f\Delta V^3St, \quad (12)$$

$$E_{II} = \frac{2\pi}{3}r^3\rho_s\Delta u^2, \quad (13)$$

где α – коэффициент Кориолиса; ΔV – разность скоростей потоков, набегающих на две смежные частицы в коагуляционной структуре; S – площадь поперечного сечения потока, набегающего на отдельную частицу; t – продолжительность действия потока, Δu – разница в скоростях движения рассматриваемых частиц относительно друг друга.

Учитывая известные результаты по гидродинамике СС, а также зависимость между скоростями фаз при течении гидросмесей разных концентраций [4,7 – 9], нетрудно показать, что распределение скорости частиц твердой фазы по сечению потока, вне вязкого подслоя, описывается следующими зависимостями:

$$u = (u_1 - u_2 + u_3) \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho\rho_f}} - w, \quad (14)$$

$$w_0 = \frac{gr^2}{\nu} \frac{2Ar}{9}, \quad (15)$$

$$w = w_0(1 - S)^n, \quad (16)$$

$$n = 5 \left(1 - 0.2 \lg \left(\frac{8gr^3}{\nu^2} \right) \right), \quad (17)$$

$$u_1 = \beta \left(1 - \frac{\delta}{2(1-s_p)} \right) + 2,5 \ln \left[\frac{(1+\sqrt{s})(1-\sqrt{1-\delta})}{(1-\sqrt{s})(1+\sqrt{1-\delta})} \right], \quad (18)$$

$$u_2 = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{3}{28}} \ln \left[\frac{\left(s + \sqrt[4]{\frac{7}{3}} \sqrt{2s} + \sqrt{\frac{7}{3}} \right) \left(1 - \delta - \sqrt[4]{\frac{7}{3}} \sqrt{2(1-\delta)} + \sqrt{\frac{7}{3}} \right)}{\left(s - \sqrt[4]{\frac{7}{3}} \sqrt{2s} + \sqrt{\frac{7}{3}} \right) \left(1 - \delta + \sqrt[4]{\frac{7}{3}} \sqrt{2(1-\delta)} + \sqrt{\frac{7}{3}} \right)} \right], \quad (19)$$

$$u_3 = \sqrt[4]{\frac{3}{28}} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt[4]{\frac{7}{3}} \sqrt{2s}}{\sqrt{\frac{7}{3}} - s} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt[4]{\frac{7}{3}} \sqrt{2(1-\delta)}}{\sqrt{\frac{7}{3}} - 1 + \delta} \right) \right] - 5 \operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt{s} - \sqrt{1-\delta}}{1 + \sqrt{s} \sqrt{1-\delta}} \right), \quad (20)$$

$$s = \frac{r_T}{R}, \quad (21)$$

$$s_p = \frac{\tau_0}{\tau_w}, \quad (22)$$

$$\delta = \frac{\beta v}{R(1-s_p)} \sqrt{\frac{\rho \rho_f}{\tau_w}}, \quad (23)$$

$$\tau_w = \frac{k_\tau \tau_0}{2} + \frac{k_\eta \eta V}{2R}, \quad (24)$$

где u – скорость произвольной частицы твердой фазы; τ_w – касательные напряжения гидравлического трения на стенке трубы; β – безразмерная величина, изменяющаяся в интервале от 10,5 до 13,5; w – гидравлическая крупность частиц в стесненных условиях; w_0 – гидравлическая крупность частиц в безграничной жидкости; n – показатель степени [4, 7 - 9]; r_T – текущее значение радиуса; k_v , k_η – параметры аппроксимации решения уравнения Букингама; V – средняя по сечению скорость СС.

Из формул (14 – 24) видно, что первое слагаемое в формуле (24) можно представить в виде двух слагаемых: переменное по сечению трубы (рис. 3), значение которого определяется текущим радиусом, и неизменяемое, величина которого определяется толщиной вязкого подслоя. Очевидно, что при вычислении величины Δu второе слагаемое из формулы (24), которое будет одинаковым для обеих рассматриваемых частиц, сократиться. Поэтому первое слагаемое в выражении для величины Δu будет определяться разностью переменных частей из формулы (24), а второе разностью гидравлических крупностей рассматриваемых частиц. Результаты численного анализа формулы (24), показывают, что зависимость ее переменной части от безразмерного радиуса с инженерной точностью аппроксими-

руется экспоненциальной функцией. Это позволяет предложить для расчета величины Δu следующее выражение:

$$\Delta u = 0,137 \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \left(e^{4,28(s+h)} - e^{4,28s} \right) - \Delta w, \quad (25)$$

$$\Delta w = \frac{2g}{9\nu} \left(r^2 Ar - r'^2 Ar' \right) (1-S)^n, \quad (26)$$

где r' – радиус второй частицы; Ar' – параметр Архимеда второй частицы.

Величина Δw будет равна нулю, если рассматриваемые частицы обладают одинаковыми плотностями и диаметрами. Если частицы различаются по обоим из этих параметров, то величина Δw определяется по формуле (26), а если рассматриваются частицы одинаковой плотности, то по формуле

$$\Delta w = \frac{2gAr}{9\nu} \left(r^2 - r'^2 \right) (1-S)^n. \quad (27)$$

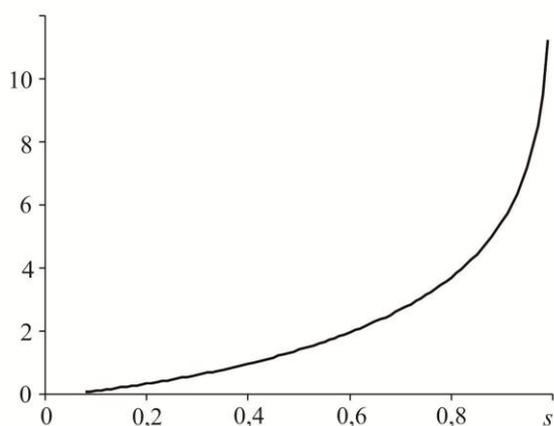


Рисунок 3 – Изменение переменной части скорости частиц твердой фазы в формуле (14) по сечению трубопровода

В дальнейшем будем предполагать, что для нашего случая $\Delta w=0$. Это позволяет, разложив экспоненты в формуле (25) в степенной ряд с сохранением линейных членов, проведя некоторые преобразования, подставить полученное выражение в формулу (13). Подставив в неравенство (27) полученное выражение и зависимость (2) и перейдя к безразмерным величинам, (3 – 5), получим следующее условие разрушения структуры суспензии при течении в трубопроводе:

$$E_{II} > E_C. \quad (28)$$

$$y \ln(1 + e^{-y}) < E + Zy^3, \quad (29)$$

$$Z = \frac{\tau_w}{\tau_z}, \quad (30)$$

$$\tau_z = 8,74 e^{-8,56s} \frac{\rho \varepsilon_n \varphi \delta^2 \chi^2}{(Ar+1)} \left(\frac{R}{r} \right)^2, \quad (31)$$

где Z – параметр влияния потока на энергетическое взаимодействие частиц.

Правая часть неравенства (29) представляет собой кубическую параболу, поднятую над осью абсцисс на величину параметра энергетического взаимо-

действия частиц, а левая представлена сложной, нелинейной, строго положительной функцией асимптотически стремящейся к нулю после прохождения единственного максимального значения, равного 0,211, при $y=1,145$.

Таким образом, при выполнении следующих условий на соотношение величин E и Z

$$E < 0,316, \quad (32)$$

$$Z < 0,211 - 0,67E, \quad (33)$$

неравенство (29) имеет два корня, которые разделены между собой абсциссой максимума и находятся в таких интервалах

$$0 < y_I < 1,145, \quad (34)$$

$$1,145 < y_{II} < \sqrt[3]{\frac{0,316 - E}{Z}}, \quad (35)$$

где y_I, y_{II} – значение относительного расстояния между частицами, при которых неравенство (29) обращается в верное равенство.

Если расстояние между рассматриваемыми частицами находится в интервале

$$y_I < y < y_{II}, \quad (36)$$

то при движении по трубопроводу с рассматриваемой скоростью суспензия сможет сохранить свою структуру. В противном случае, если условия (36) не выполняются, структура будет разрушаться. При значении Z равном нулю данное неравенство описывает взаимодействие частиц в неподвижной жидкости. С увеличением значения Z интервал (36) сужается и после нарушения условия (33) сохранить структуру суспензии уже невозможно.

Величина Z прямо пропорциональна касательному напряжению на стенке трубы, а, следовательно, средней скорости потока, то есть рост величины Z фактически означает увеличение средней скорости течения. С учетом этого, можно оценить возможность предотвращения необратимой коагуляции твердой фазы СС при течении по трубопроводу. Подставив в формулу (29) значение безразмерного расстояния между частицами, соответствующего энергетическому максимуму (10), и проведя некоторые преобразования, с учетом (24), (30) и (31), получим следующее условие для средней скорости суспензии, обеспечивающей разрушение парных коагуляционных связей между смежными частицами

$$V > [V], \quad (37)$$

$$[V] = \frac{k_\tau}{k_\eta} \left(\frac{[Z] \tau_z}{k_\tau \tau_0} - 1 \right) \frac{\tau_0 R}{\eta}, \quad (38)$$

$$[Z] = \frac{y^* \ln(1 + e^{-y^*}) - E}{y^{*3}}, \quad (39)$$

где $[V]$ – средняя скорость суспензии, обеспечивающая разрушение парных коагуляционных связей между смежными частицами.

Итак, развита и уточнена гипотеза механизма агрегативной устойчивости СС в динамике, суть которой состоит в сопоставлении энергии связи частиц твердого материала в их коагуляционной структуре и внешней энергии потока жидкости, направленной на разрыв этой связи.

Показано, что основными факторами, обуславливающими агрегативную устойчивость СС, транспортируемых по магистральным трубопроводам, являются крупность частиц и природа твердого материала и его минеральных включений, потенциал их поверхности, соотношение суммарной энергии взаимодействия частиц в жидкости и энергии потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Круть, О.А. Водовугільне паливо / О.А. Круть. – К.: Наукова думка, 2002. – 172 с.
2. Світлий, Ю.Г. Гідравлічний транспорт твердих матеріалів / Ю.Г. Світлий, О.А. Круть. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. – 268 с.
3. Світлий, Ю.Г. Гідравлічний транспорт / Ю.Г. Світлий, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. – 436 с.
4. Семеновко, Е.В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титанцирконового россыпей / Е.В. Семеновко. – Киев: Наукова думка, 2011. – 232 с.
5. Круть, О.А. Аналіз енергетичного стану твердої фази водовугільної суспензії з позиції ДЛФО / О.А. Круть, В.С. Білецький, П.В. Сергєєв // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. / НГУ. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 25 (66). – С. 14 – 20.
6. Liu. J. Stability of viscoplastic flow [Электронный ресурс]; режим доступа: <https://www.who.edu/page.do?pid=13016>. – загл. с экрана.
7. Кулагин, В.А. Технология подготовки и гидротранспорта топливных водоугольных суспензий для сжигания в промышленных энергетических котлах / В. А. Кулагин, М.П. Баранова // Вестник ассоциации выпусков КГТУ.- Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. - Вып. 12. – С. 55 – 60.
8. Матвеевко, В.Н. Вязкость и структура дисперсных систем / В.Н. Матвеевко, Е.А. Кирсанов // Вестн. Московского ун-та. С. 2. Химия, 2011. - Т. 52, № 4. – 243 -276.
9. Тарасов, Ю.Д. Напорные гидротранспортные установки в горной промышленности / Ю.Д. Тарасов, В.П. Докукин, А.К. Николаев. – СПб.: Санкт-петербургский государственный горный институт, 2008. – 104 с.

REFERENCES

1. Krut, O.A. (2002), *Vodovugilne palyvo* [Hydrocarbon fuel], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.
2. Svitliy, Yu.G. and Krut, O.A. (2010), *Gidravlichnyi transport tverdykh materialiv* [Hydraulic transport of solid materials], Shidniy vydavnychiy dim, Donetsk, Ukraine.
3. Svitliy, Yu.G. and Biletskiy, V.S. (2009), *Gidravlichnyi transport* [Hydraulic transport], Shidniy vydavnychiy dim, Donetsk, Ukraine.
4. Semenenko, E.V. (2011), *Nauchnye osnovy tekhnologii gidromekhanizatsii otkrytoy razrabotki titantsirkonovykh rossypyey* [The scientific basis of the technologies of hydromechanization of open development of titanium-zirconium placers], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.
5. Krut, O.A., Biletskiy, V.S. and Sergeev, P.V. (2006) “Analysis of the energy state of the solid phase of coal-water slurry from the position DLFO”, *Zbagachennya korysnykh kopalyin*, no. 26 (66), pp. 14-20.
6. Liu. J. “Stability of viscoplastic flow”, available at: <https://www.who.edu/page.do?pid=13016> (10 September 2016).
7. Kulagin, V. A. and Baranova, M.P. (2006) “The technology of preparation and hydrotransport of coal-water slurry fuel for combustion in industrial power boilers”, *Vestnik assotsiatsii vypuskov KGTU*, vol.

12, pp. 55-60.

8. Matvienko, V.N. and Kirsanov, E.A. (2011) "The viscosity and structure of disperse systems", *Vestnik Moskovskogo universiteta, Seriya 2. Himiya*, vol. 52, no. 4, pp. 243-276.

9. Tarasov, Yu.D., Dokukin, V.P. and Nikolaev, A.K. (2008), *Napornye gidrotransportnye ustanovki v gornoy promyshlennosti* [Pressurized hydrotransport installation in the mining industry], Saint-Petersburg State Mining Institute, St. Petersburg, Russia.

Об авторах

Семененко 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 НАНУ), Днепр, Украина, evs_igtm@mail.ru.

Демченко Татьяна Дмитриевна, магистр, инженер отдела Проблем шахтных энергетических комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, kondratyuk.tania@yandex.ua.

Рыжова Светлана Алексеевна, магистр, инженер отдела, управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, evs_igtm@mail.ru.

About the authors

Semenenko Yevgeniy Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Head of Department of Mine Energy Complexes, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, evs_igtm@mail.ru

Demchenko Tatiana Dmitrivna, Master of Sciences (M.S.), Engineer in Department of Mine Energy Complexes, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, kondratyuk.tania@yandex.ua

Ryzhova Svetlana Alekseevna, Master of Sciences (M.S.), Engineer in Department of Pressure Dynamics Control in Rocks, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, evs_igtm@mail.ru

Анотація. В даній статті запропоновано уточнення гіпотези механізму динамічної агрегативної стійкості структурованої суспензії, шляхом зіставлення енергії зв'язку часток твердого матеріалу і зовнішньої енергії потоку рідини, спрямованої на розрив цього зв'язку. Також був виконаний аналіз енергетичної взаємодії частинок з різними діаметрами, енергетичними потенціалами поверхні і константами Гамакера. Показано, що для геотехнологічних систем основними факторами, детермінуючими агрегативну стійкість структурованої суспензії при транспортуванні, є: крупність частинок, природа твердого матеріалу і його мінеральних включень, потенціал їх поверхні, співвідношення сумарної енергії взаємодії частинок в рідині і енергії потоку.

Ключові слова: структуровані суспензії, агрегативна стійкість, енергетична взаємодія частинок.

Abstract. The purpose of this article is to clarify the hypothesis of mechanism of aggregative stability of the structured suspension dynamics, the essence of which consists in comparing the bond energy of the solid material particles in their coagulation structure and external energy of the fluid flow aimed to break this bond. In geotechnical systems, the key factors contributing to aggregate stability of the structured suspension transported through the pipelines, are: particle size, nature of solid material and its mineral inclusions, potential of the particle surface, ratio of total energy of the particles interaction in the fluid and energy flow.

Keywords: aggregate stability, energy flow, structured suspension.

Статья поступила в редакцию 12.09.2016

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