

УДК 622.271

А.А. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент
(ДВУЗ «НГУ»)

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА ДНИЩА
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КЛАССИФИКАТОРА**

А.О. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «НГУ»)

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО КУТА НАХИЛУ ДНИЩА
ГІДРАВЛІЧНОГО КЛАСИФІКАТОРУ**

A.O. Bondarenko, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(SHEE «NMU»)

**GROUND OF RATIONAL ANGLE OF HYDRAULIC CLASSIFIER
BOTTOM SLOPE**

Аннотация. В результате моделирования процесса взаимодействия несущего ламинарного струйного потока с расположенными на разнонаклонных поверхностях твердыми частицами сформулирована зависимость параметров равновесного состояния твердой частицы от функции угла наклона поверхности. Установлено, что твердая частица, размещенная на наклонной поверхности, сохранит равновесие при воздействии на нее потока со скоростью пропорциональной диаметру частицы, углу наклона поверхности и коэффициенту внешнего трения скольжения. Экспериментальное исследование процесса движения твердых частиц по наклонному лотку, выполненному из наиболее часто применяемых конструкционных материалов (оргстекло, полиуретан, сталь, резина) и определение коэффициента внешнего трения скольжения зернистого материала в воде позволило установить, что коэффициент внешнего трения скольжения окатанных частиц кварца, в воде, является функцией крупности твердых частиц. При уменьшении крупности твердой частицы коэффициент внешнего трения скольжения возрастает. В результате расчетов значений равновесной скорости твердой частицы песка речного природного кварцевого окатанного на наклонной поверхности, выполненной из оргстекла, полиуретана, стали и резины, при влиянии скоростного напора несущего потока жидкости установлено, что при размещении твердой частицы на наклоненной вниз поверхности, по направлению несущего потока, равновесие сохраняется при снижении скорости потока, а при размещении ее на наклоненной вверх по направлению несущего потока поверхности для сохранения равновесия требуется увеличение скорости несущего потока. Полученные зависимости позволяют выполнять анализ создаваемой конструкции гидравлических классификаторов и выбирать ее рациональные параметры.

Ключевые слова: твердая частица, наклонная поверхность, гидравлический классификатор, равновесная скорость, лабораторная установка, коэффициент внешнего трения скольжения.

Актуальность. Гидравлическая классификация является гравитационным процессом, в котором имеет место перемещение твердых частиц по разнонаклонным поверхностям в потоках жидкости. Моделирование движения зернистого материала по наклонным поверхностям, с учетом влияния скоростного напора несущей среды, позволяет обосновать рациональные конструктивные параметры классификационных установок и снизить себестоимость процесса гравитационной переработки минерального сырья.

Метод исследований. Рассмотрим процесс движения единичной твердой частицы грунта по наклонной поверхности (рис. 1). Частица совершает движение под действием сил: скоростного напора пульпы, тяжести, Архимеда, трения, сопротивления среды. Форма записи указанных сил, в приведенных условиях, примет следующий вид:

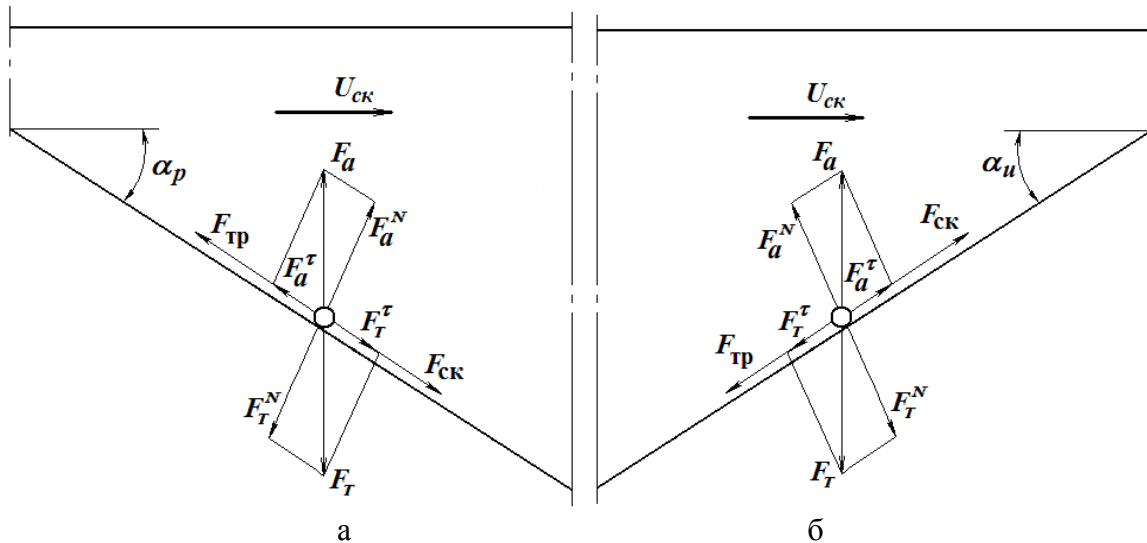


Рисунок 1 - Расчетная схема движения твердой частицы по наклонной поверхности

– нормальная составляющая силы тяжести $F_T^N = \rho_{ск} \frac{\pi d^3}{6} g \cos \alpha_p$, Н,

где $\rho_{ск}$ – плотность скелета твердой частицы, кг/м³; d – диаметр твердой частицы, м; α_p – угол наклона дна относительно горизонтали, град.;

– касательная составляющая силы тяжести $F_T^\tau = \rho_{ск} \frac{\pi d^3}{6} g \sin \alpha_p$, Н;

– нормальная составляющая силы Архимеда $F_a^N = \rho_n \frac{\pi d^3}{6} g \cos \alpha_p$, Н,

где ρ_n – плотность среды (пульпы), $\frac{кг}{м^3}$;

– касательная составляющая силы Архимеда $F_a^\tau = \rho_n \frac{\pi d^3}{6} g \sin \alpha_p$, Н;

– сила сопротивления среды движению твердой частицы $P = \theta U_q^2 d^2 \rho_n$, Н, где θ – коэффициент сопротивления, $\theta = f(\text{Re})$; U_q – скорость движения твердой частицы, м/с. Число Рейнольдса представлено зависимостью $\text{Re} = \frac{U_0 d}{\nu_n}$, где U_0 – скорость движения среды, м/с.

– сила скоростного напора $F_{\text{СК}} = C_{\text{Ф}} \frac{\pi d^2}{4} \rho_{\text{В}} \frac{U_{\text{СК}}^2}{2}$, Н, где $C_{\text{Ф}}$ – коэффициент лобового сопротивления твердой частицы.

– сила трения твердой частицы о поверхность $F_{\text{Тр}} = (F_{\text{Т}}^{\text{N}} - F_{\text{а}}^{\text{N}}) f_1$, Н, где f_1 – коэффициент внешнего трения скольжения твердой частицы о материал поверхности (к.в.т.с.).

Исходя из расчетной схемы (рис. 1, а), форма записи силы трения примет следующий вид

$$F_{\text{Тр}} = f_1 \frac{\pi d^3}{6} (\rho_{\text{СК}} - \rho_n) g \cos \alpha_p, \text{ Н},$$

Дифференциальное уравнение движения единичной твердой частицы грунта по наклоненной вниз поверхности (рис. 1, а) примет вид [1]:

$$m \frac{dU}{dt} = F_{\text{СК}} + F_{\text{Т}}^{\tau} - F_{\text{Тр}} - F_{\text{а}}^{\tau}$$

Следует заметить, что процесс протекает при скоростях потока близких нулю, поэтому в решении данной задачи силы сопротивления среды при обтекании частицы не учитывались. Важнейшее значение, при рассмотрении процесса перемещения частицы по наклонной поверхности, имеет условие ее равновесия. При рассмотрении неподвижной частицы ее ускорение равно нулю, то есть $m \frac{dU}{dt} = 0$. С учетом действующих на твердую частицу сил, уравнения равновесия частицы, находящейся на наклонной поверхности, примет вид

$$C_{\text{Ф}} \frac{\pi d^2}{4} \rho_{\text{В}} \frac{U_{\text{СК}}^2}{2} + \rho_{\text{СК}} \frac{\pi d^3}{6} g \sin \alpha_p - \\ - f_1 \frac{\pi d^3}{6} (\rho_{\text{СК}} - \rho_n) g \cos \alpha_p - \rho_n \frac{\pi d^3}{6} g \sin \alpha_p = 0$$

После преобразований, уравнение скорости потока, действующего на частицу, расположенную на наклонной поверхности (рис. 1, а), в результате воздействия которого твердая частица находится в равновесии, имеет вид [1]

$$U_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{dg}{C_{\phi}} \frac{(\rho_{\text{ск}} - \rho_n)}{\rho_n} (f_1 \cos \alpha_p - \sin \alpha_p)} \quad (1)$$

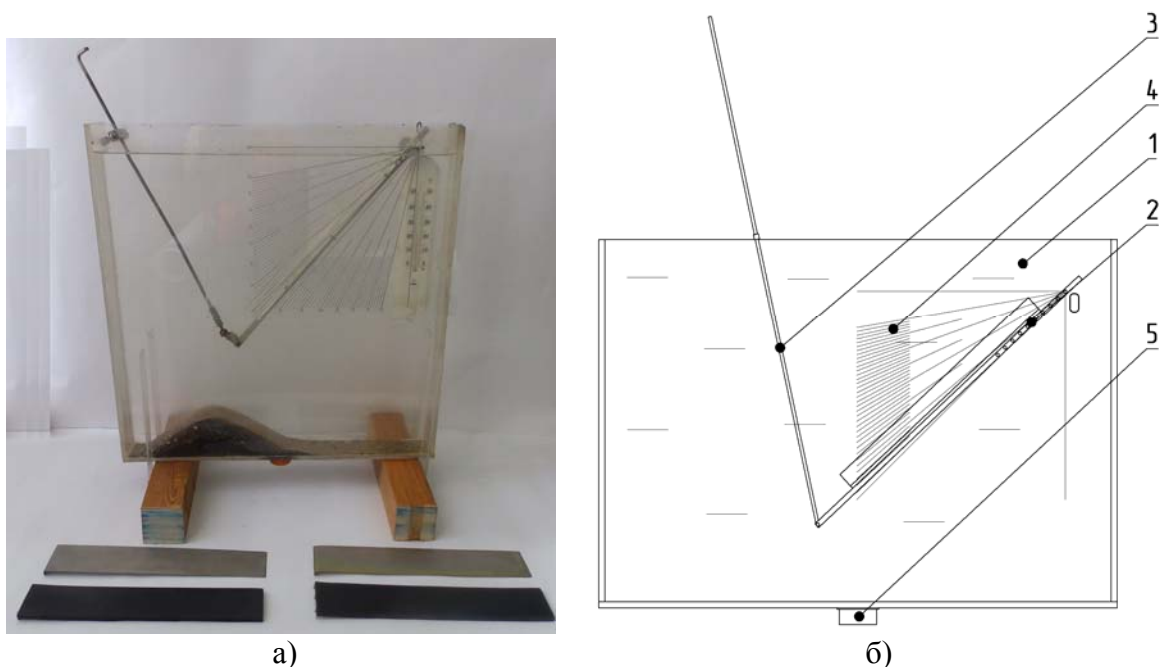
Движение единичной твердой частицы по наклоненной вверх поверхности протекает в условиях сужающегося потока при увеличении его скорости (рис. 1, б). Дифференциальное уравнение движения единичной твердой частицы по наклоненной вверх поверхности имеет вид

$$m \frac{dU}{dt} = F_{\text{ск}} + F_a^{\tau} - F_{\text{тр}} - F_T^{\tau}$$

Уравнение равновесия твердой частицы, находящейся в условиях (рис.1,б), имеет вид [1]

$$U_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{dg}{C_{\phi}} \frac{(\rho_{\text{ск}} - \rho_n)}{\rho_n} (f_1 \cos \alpha_u + \sin \alpha_u)} \quad (2)$$

Определение значений к.в.т.с. зернистого материала в воде f_1 выполнено с применением лабораторной установки (рис. 2).



а) общий вид установки; б) схема лабораторной установки

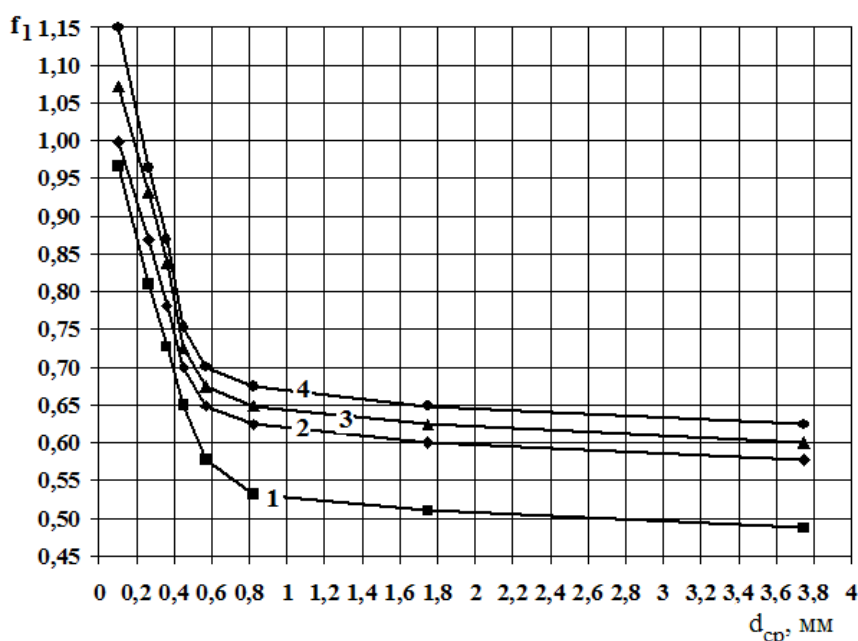
Рисунок 2 - Лабораторная установка для определения к.в.т.с. зернистого материала в воде

Лабораторная установка состоит из прямоугольного герметичного сосуда, выполненного из прозрачного материала 1, наклонного лотка 2 со сменными пластинами, регулировочного стержня 3 с винтовым стопором, транспортера 4, сливного патрубка 5. Наклонный лоток 2 имеет возможность изменения угла

наклона относительно оси O при помощи регулировочного стержня 3 с винтовым стопором.

Замеры к.в.т.с. зернистого материала в воде выполняли с песком речным природным кварцевым окатанным классов: 2,5...5,0, 1,0...2,5, 0,63...1,0, 0,5...0,63, 0,4...0,5, 0,315...0,4, 0,2...0,315, -0,2 мм. В качестве материала сменных пластин наклонного лотка применяли оргстекло, резину, сталь, полиуретан.

В результате выполненных экспериментов установлено, что значение к.в.т.с. окатанных частиц кварца, в воде, больше чем по сухой поверхности. Также установлено, что к.в.т.с. окатанных частиц кварца, в воде, является функцией крупности твердых частиц. При уменьшении крупности твердой частицы к.в.т.с. возрастает (рис. 3).



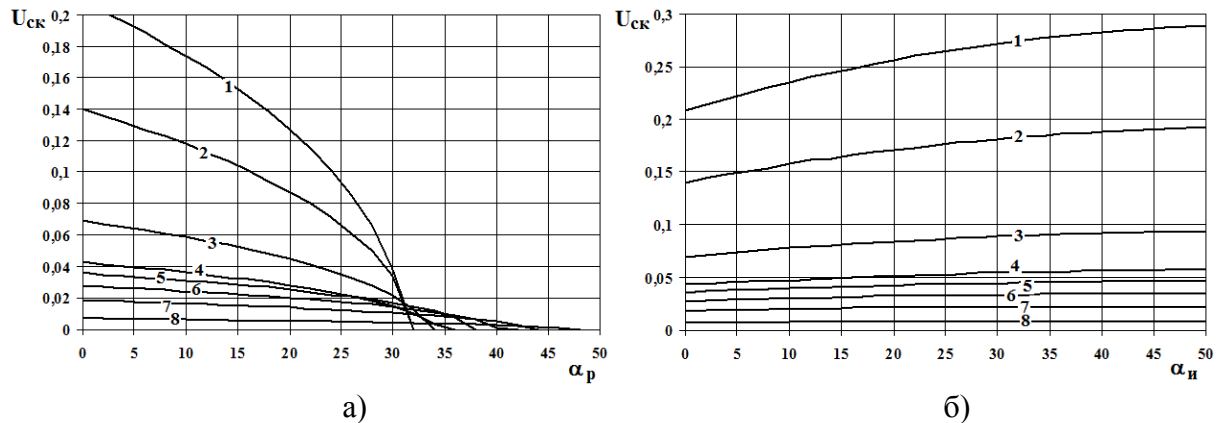
1 – оргстекло; 2 – полиуретан; 3 – сталь; 4 – резина

Рисунок 3 - Зависимость к.в.т.с. окатанных частиц кварца от крупности:

Имея экспериментальные значения к.в.т.с., для окатанных частиц кварца различной крупности, графический вид зависимостей (1, 2), характеризующих равновесную скорость твердой частицы на наклонной поверхности под действием скоростного напора несущего потока жидкости можно представить, как это сделано на рис. 4. На рисунках показаны графические зависимости для движения частиц по оргстеклу, при движении по полиуретану, стали и резине графики имеют однотипную структуру, поэтому не приведены.

На графиках видно, что при размещении твердой частицы на наклоненной вниз поверхности, по направлению несущего потока, характеризуемой значениями угла наклона $\alpha_p \geq 0$ при изменении α_p равновесие сохраняется при снижении скорости потока (рис. 4, а). Твердая частица, расположенная на наклоненной вверх по направлению несущего потока поверхности, при углах

$\alpha_u \geq 0$ для сохранения равновесия требует увеличение скорости несущего потока при увеличении угла наклона поверхности α_u (рис. 4,б).



1 – 2,5...5,0; 2 – 1,0...2,5; 3 – 0,63...1,0; 4 – 0,5...0,63; 5 – 0,4...0,5; 6 – 0,315...0,4; 7 – 0,2...0,315; 8 – 0,2 мм

Рисунок 4 - Поле равновесия окатанных частиц кварца, движение вниз по оргстеклу

Таким образом, рациональный угол наклона днища гидравлического классификатора должен назначаться с учетом граничного состояния равновесия осажденной твердой частицы расчетной крупности.

Вывод. В результате моделирования процесса взаимодействия несущего ламинарного струйного потока с расположенными на разнонаклонных поверхностях твердыми частицами сформулирована зависимость параметров равновесного состояния твердой частицы от функции угла наклона поверхности. Обосновано условие рациональности угла наклона днища гидравлического классификатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко А.А. Математическое моделирование движения частиц под влиянием скоростного напора / А.А. Бондаренко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №1. – С. 66 – 68.

REFERENCES

1. Bondarenko A.A. (2012), «Mathematical design of particles motion under influence of speed pressure», *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, no.1, pp. 66 – 68.

Об авторе

Бондаренко Андрей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и инжиниринга, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), г. Днепропетровск, Украина, bondarenkoa@nmu.org.ua.

About the author

Bondarenko Andrii Oleksijovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of Department of mining machines and engineering, State higher educational establishment «National mining university» (SHEE «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, bondarenkoa@nmu.org.ua.

Анотація. У результаті моделювання процесу взаємодії несучого ламінарного струменевого потоку з розташвланими на різнопохилих поверхнях твердими частинками сформульована залежність параметрів рівновісного стану твердої частинки від функції кута нахилу поверхні. Встановлено, що тверда частинка, розташована на похилій поверхні, збереже рівновагу при впливі на неї потоку зі швидкістю пропорційній діаметру частинки, кута нахилу поверхні і коефіцієнту зовнішнього тертя ковзання. Експериментальне дослідження процесу руху твердих часток похилим лотком, який вироблений з найбільш часто застосовуваних конструкційних матеріалів (оргскло, поліуретан, сталь, резина) та визначення коефіцієнту зовнішнього тертя ковзання зернистого матеріалу у воді дозволило встановити, що коефіцієнт зовнішнього тертя ковзання окатаних часток кварцу у воду, є функцією крупності твердих частинок. При зменшенні крупності твердої частинки коефіцієнт зовнішнього тертя ковзання зростає. У результаті розрахунків значень рівновагової швидкості твердої частинки піску річкового природного кварцового окатаного на похилій поверхні, виконаній з оргскла, поліуретану, сталі та резини, при впливі швидкісного напору несучого потоку рідини встановлено, що при розташуванні твердої частинки на похилій донизу поверхні, за напрямком несучого потоку, рівновага зберігається при зниженні швидкості потоку, а при розташуванні її на похилій доверху за напрямком несучого потоку поверхні для збереження рівноваги потрібне збільшення швидкості несучого потоку. Отримані залежності дозволяють виконати аналіз конструкції гідравлічних класифікаторів і вибрати її раціональні параметри.

Ключові слова: тверда частинка, похила поверхня, гідравлічний класифікатор, рівноважна швидкість, лабораторна установка, коефіцієнт зовнішнього тертя ковзання.

Abstract. Dependence of hard particle balanced state parameters on the surface slope angle is formulated as a result of process simulation of carrying laminar stream interaction with solid particles located on the sloping surfaces. It is stated that a hard particle placed on a sloping surface, keeps balance being under affect of the stream flowing at a speed being proportional to diameter of the particle, the surface slope angle and coefficient of external sliding friction. Experimental research of process of the solid particles motion along the sloping tray made of popular construction materials (organic glass, poliuretan, steel, rubber), and determination of external sliding friction factor of granular material in water allows to state that the external sliding friction factor of gravel quartz particles in water is the function of solid particle size. Decreasing of solid particle size leads to enhancement of the external sliding friction factor. Calculation of equilibrium speed of natural river quartz gravel solid particle on the slope surface made of organic glass, poliuretan, steel and rubber demonstrates that if a particle is located on the slope surface and the flow is directed downwards, the equilibrium remains when the flow speed decreases. However, when the flow is directed upwards, it is necessary to increase the carrying flow speed in order to save equilibrium. The obtained dependences allow analyzing of the created hydraulic classifier design and choosing rational parameters for them.

Key words: solid particle, sloping surface, hydraulic classifier, equilibrium speed, laboratory facility, external sliding friction factor.

Стаття поступила в редакцію 08.06. 2013

Рекомендована к публікації д-ром техн. наук Т.В. Бунько