

Н.А. Никифорова, к.т.н. (НМетАУ)

В.Б. Бобров, асп.

(ИГТМ НАН Украины)

В.В. Георгиев, инж.

(УКРГИПРОМЕЗ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГИДРОСМЕСИ В СЛОЕ ПЕРЕЛИВА ВЕРТИКАЛЬНОГО СГУСТИТЕЛЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА

Запропоновано математичну модель плинну пульпи в шарі переливу вертикального згущувача гравітаційного типу, яка вперше враховує сепарацію твердих частинок з шару, а також метод розрахунку параметрів твердої фази в присутності флокулянтів.

MATHEMATICAL SIMULATION OF SLURRY CURRENT IN OVERFLOW ONSET OF VERTICAL GRAVITY THICKENER

The mathematical model of slurry current in overflow onset of vertical gravity thickener, which in first takes into account solid particles separation from the overflow onset, and calculation method of solid phase parameters over a flocculant is offered.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности технологий переработки минерального сырья является обеспечение высоких показателей сепарации. Для технологических процессов большинства горных предприятий Криворожского и Донецкого бассейнов характерно применение многостадийного измельчения горной массы, что приводит к повышенному содержанию тонких шламов в оборотной воде и отрицательно влияет на процессы обогащения. Поэтому для этих предприятий требуется разработка экологически безопасных методов удаления из пульп тонких частиц диаметром от 0,08 до 0,12 мм. Аналогичная ситуация имеет место на предприятиях черной и цветной металлургии, а также на предприятиях химической промышленности [1, 2]. При этом пульпа, поступающая на обогатительную фабрику, обычно имеет концентрацию, недостаточную для нормальной работы обогатительного оборудования. Для достижения требуемой концентрации пульпы часто используются вертикальные сгустители гравитационного типа (ВСГТ). Использование в технологии сгущения пульп флокулянтов (линейных водорастворимых полимеров) позволит одновременно решить задачу осветления оборотной воды. Эксперименты, проведенные в Институте гидромеханики НАН Украины [3], свидетельствуют о том, что для осаждения частиц концентратов и отходов обогащения железной руды, а также руд редкоземельных металлов наиболее эффективным флокулянтом является нетоксичный технический полиакриламид (ПАА), что в перспективе позволит создавать экологически безопасные технологии. Однако в настоящее время отсутствуют методы расчета параметров процесса сгущения в ВСГТ как с использованием флокулянтов, так и без них, что отрицательно сказывается на работе обогатительных аппаратов.

Целью работы является разработка математической модели течения пульпы в приповерхностном слое ВСГТ, впервые учитывающей сепарацію твердых

частиц из слоя и ориентированной на применение тарельчатого затвора на устройстве подачи пульпы, а также метода расчета параметров твердой фазы, обеспечивающих рациональные режимы течения.

ВСГТ представляет собой, как правило, большую емкость с круглым или прямоугольным поперечным сечением с линейной образующей боковой грани [4, 5]. В технологиях обогащения, основанных на гравитационных методах, для которых характерно безнапорное течение гидросмеси, ВСГТ часто используют для обеспечения стабильной подачи пульпы в обогатительные аппараты. В этом случае сгуститель работает с переливом. Поле течения такого ВСГТ можно условно разбить на две зоны (рис. 1): зона приповерхностного слоя толщиной $h \ll R$, в которой осуществляется течение от подающего устройства на водослив через борт сгустителя, и основное течение вниз, которое реализуется ниже сечения $A - A$ [4, 5].

Основной поток ВСГТ ниже сечения $A - A$ можно считать одномерным, направленным вертикально вниз (рис. 1) [4 – 7]. Концентрация твердых частиц в основном потоке за счет предварительного сгущения в слое перелива изменяется по сравнению с начальной концентрацией. Во время движения пульпы в основном потоке наблюдается увеличение разности скоростей жидкости и твердого вещества. Этот процесс сопровождается увеличением концентрации твердого вещества в нижней части сгустителя, тогда как концентрация твердого в его верхней части падает [5, 6].

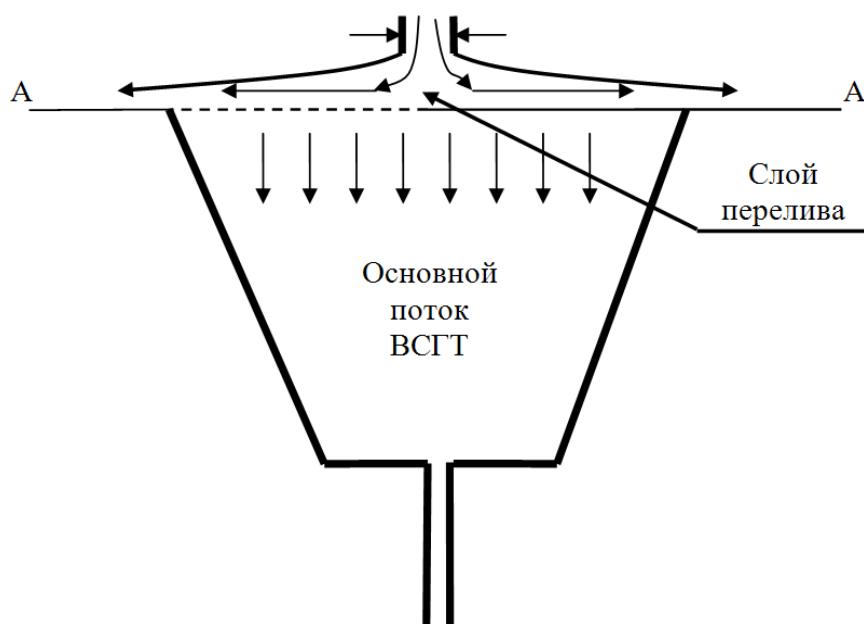


Рис. 1 – Схема распределения потоков в ВСГТ

Течение в приповерхностном слое осуществляется радиально по направлению от подающего устройства к сливному борту. При этом происходит осветление текущего слоя за счет его разгрузки в основной поток. Высота слоя перелива является переменной и зависит от радиуса верха сгустителя, концентрации и вида твердого вещества в питании, а также расхода пульпы. При

движении гидросмеси в слое перелива не все частицы твердого попадают в основной поток, часть твердого уходит через сливной борт в перелив. Вместе с частицами в перелив уходит и некоторая часть жидкости, за счет чего происходит первоначальное сгущение гидросмеси.

Под свободной поверхностью возникает разделительная линия тока, выше которой пульпа уходит в боковой слив, а ниже которой – вниз. Слой перелива является достаточно тонким, поэтому разделительную линию тока будем считать совпадающей с геометрическим верхним уровнем сгустителя. Над разделительной линией в радиальном направлении течет слой перелива высотой h , концентрация твердого вещества в котором равна φ . Влияние флокулянта, в данном случае ПАА, учитывается при расчете гидравлической крупности частиц твердой фазы. Кроме гидравлической крупности частиц, при использовании флокулянтов изменяется также коэффициент гидравлического сопротивления трения в магистралях, подводящих пульпу, и в магистралях, отводящих пульпу из основной области течения ВСГТ, а также коэффициенты расходов через щель и через борт перелива. В этом случае для определения величины коэффициента гидравлического сопротивления трения можно рекомендовать результаты научных работ [8, 9], а для расчета коэффициентов расходов можно использовать справочные данные, приводимые для воды и соответствующие автомодельному режиму в отношении числа Рейнольдса [7, 8, 10].

Построение математической модели течения гидросмеси в слое перелива ВСГТ производили, исходя из закона сохранения массы. Математическая модель представляет собой систему двух дифференциальных уравнений. Первое уравнение описывает зависимость высоты слоя перелива от радиуса верха сгустителя. Второе уравнение позволяет найти распределение концентрации твердого вещества в слое перелива.

$$\frac{dh}{dr} = -\frac{r w \varphi (1 + A p^n) + h \sqrt{b - 2gh}}{r \sqrt{b - 2gh}}; \quad \frac{d\varphi}{dr} = -\varphi \frac{w(1 + A p^n)}{h \sqrt{b - 2gh}}; \quad (1)$$

$$b = u_0^2 + 2g\varepsilon\Delta; \quad u_0 = \frac{Q}{\varepsilon\Delta\pi D};$$

$$\varepsilon = 0.6071 + 0.0933E - 0.2174E^2 + 0.3567E^3; \quad E = \frac{\Delta}{H};$$

$$R_0 \leq r \leq R; \quad h_{осв} \leq h \leq h_0; \quad \varphi_n \leq \varphi \leq 0,$$

где R_0 - радиус растекателя; R - радиус верха ВСГТ; $h_{осв}$ - высота слоя перелива возле борта ВСГТ; h_0 - высота слоя перелива возле подающего устройства; w - гидравлическая крупность частиц; h - высота слоя перелива; φ - концентрация пульпы в слое перелива; A - коэффициент снижения гидравлической крупности (см. рис. 2); p - концентрация ПАА, выраженная в граммах 100%-ного продукта на 1 т твердого материала, г/т; n - параметр аппроксимации (см. рис. 3); ε - коэффициент сжатия струи (см. рис. 4) [7, 10]; Δ - высота щели; E - относительная высота щели; H - полный напор жидкости перед

щелью.

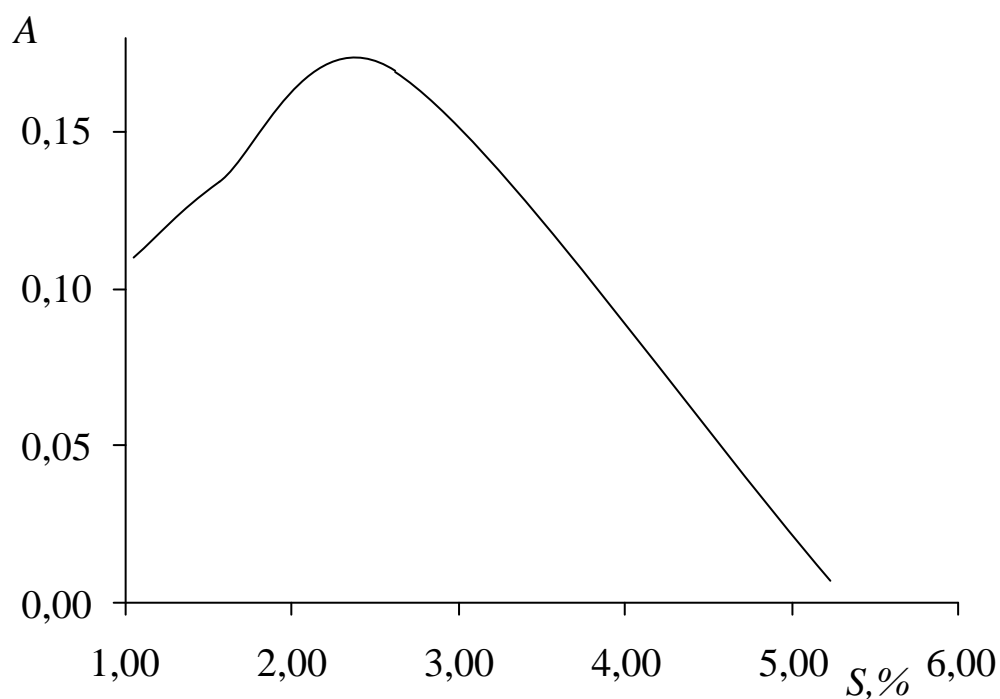


Рис. 2 – Зависимость параметра A от концентрации гидросмеси при флокуляции частиц отходов обогащения ЮГОКа

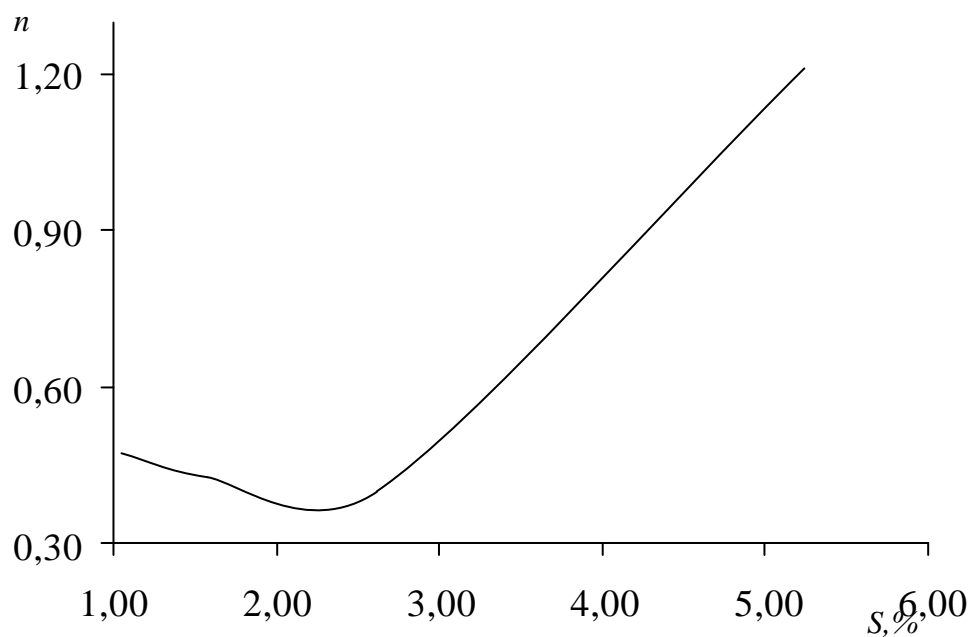


Рис. 3 – Зависимость параметра n от концентрации гидросмеси при флокуляции частиц отходов обогащения ЮГОКа

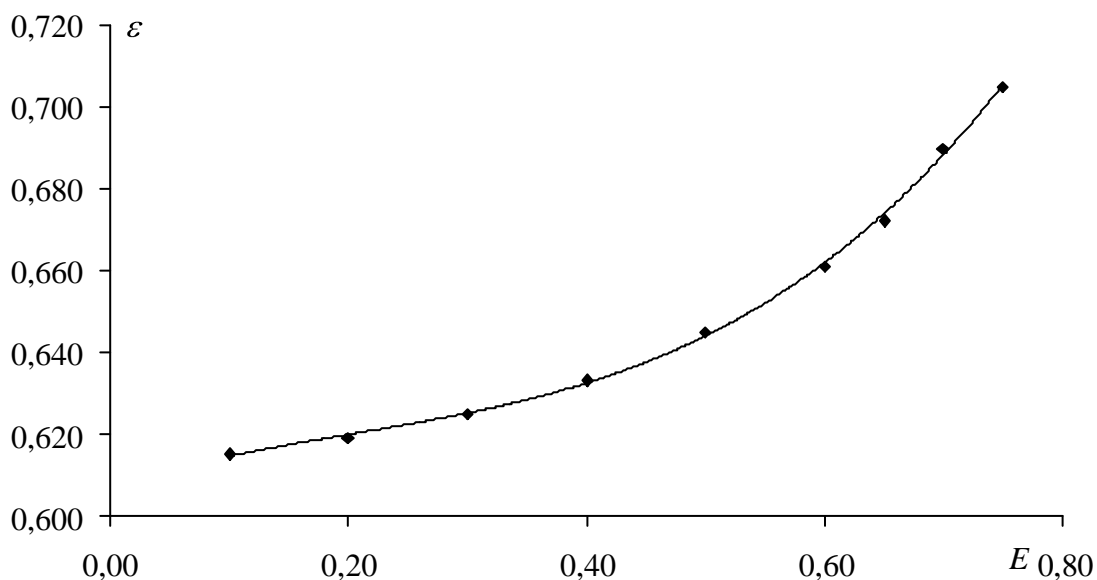


Рис. 4 – Кривая для определения коэффициента сжатия струи

Решая систему дифференциальных уравнений (1), находим распределение концентрации в слое перелива и зависимость высоты слоя перелива по радиусу сгустителя. После того, как это сделано, находим концентрацию твердого вещества возле борта сгустителя. Считаем, что всё твердое вещество, находящееся вблизи борта, уходит в слив, что дает нам возможность определить концентрацию твердого вещества на входе в основной поток ВСГТ. Система уравнений (1) решается численными методами при соответствующих граничных условиях.

По предлагаемой математической модели была создана методика расчета и проведен расчет параметров течения гидросмеси в приповерхностном слое ВСГТ. Было найдено распределение концентрации твердого в приповерхностном слое (см. рис. 5) и изменение высоты слоя перелива ВСГТ (см. рис. 6). Начальные данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Начальные данные для расчета параметров течения пульпы в приповерхностном слое ВСГТ

Название параметра	Значение	Размерность
Диаметр борта перелива ВСГТ	2,00	м
Диаметр устройства подачи пульпы	0,25	м
Плотность твердых частиц	4800	кг/м ³
Радиус твердых частиц	0,0001	м
Начальная концентрация твердых частиц	0,2	д. ед.
Плотность жидкой фазы	1000	кг/м ³
Температура жидкой фазы	20	°С

Кроме параметров слоя перелива, необходимо рассчитать гидравлическую крупность частиц твердой фазы, обеспечивающую требуемые величины расхода и концентрации потока пульпы, уходящего в перелив и отводимого из основной области течения ВСГТ, при заданных геометрических характери-

стиках ВСГТ и параметрах подаваемого потока пульпы.

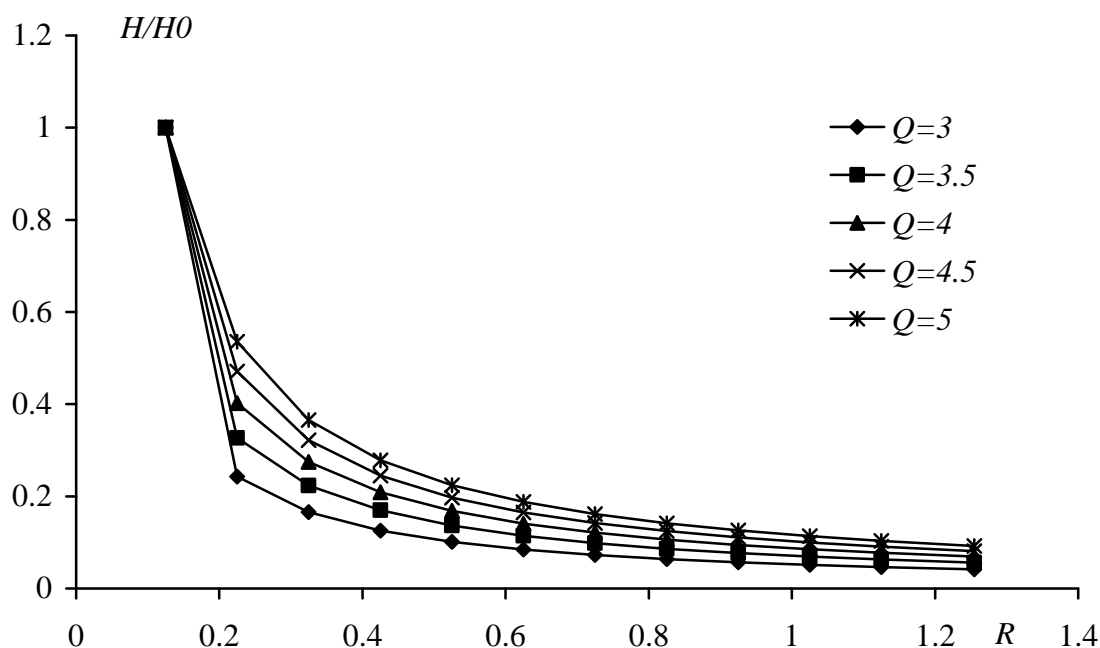


Рис. 5 – Зависимость относительной высоты слоя перелива от радиуса ВСГТ при различных расходах пульпы

При применении очень разбавленных растворов полимеров для увеличения скорости осаждения твердых частиц и осветления воды, уходящей в перелив, происходит флокуляция – полимеры адсорбируются одновременно на нескольких твердых частицах, связывая их мостиковыми связями, что приводит к укрупнению частиц и увеличению скорости их осаждения [3, 9, 11 – 13].

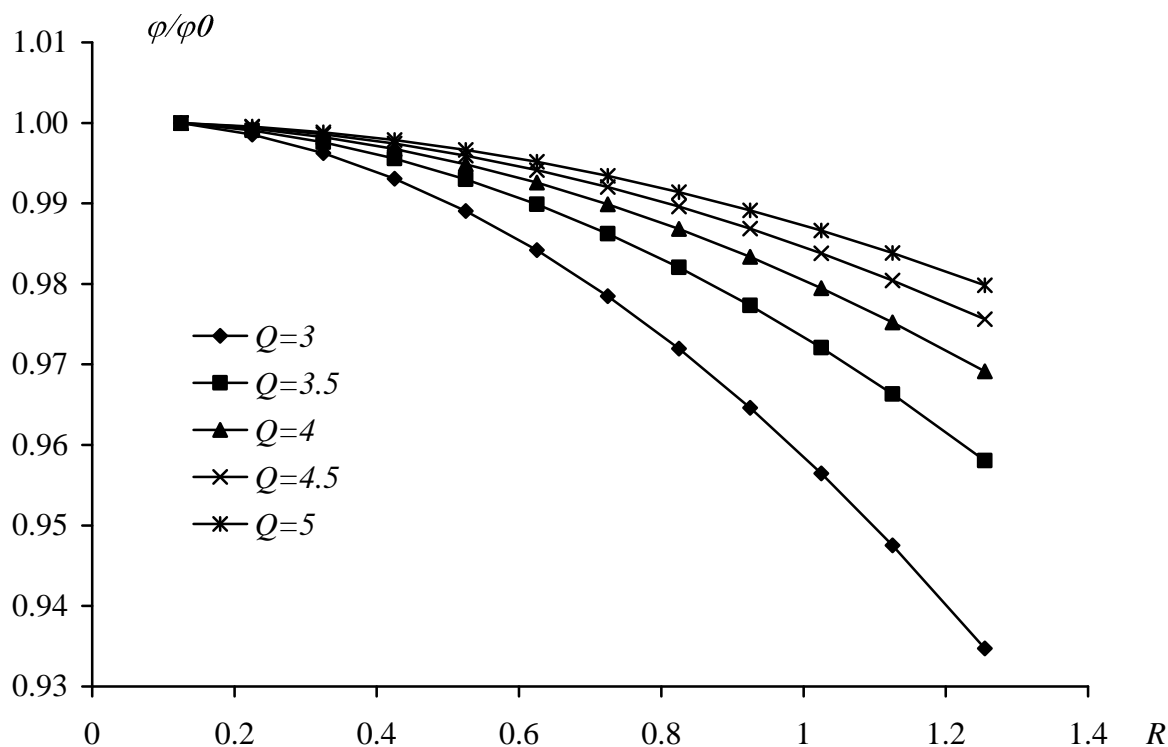


Рис. 6 – Зависимость относительной концентрации твердой фазы от радиуса ВСГТ при различных расходах пульпы

В результате обработки результатов экспериментов [3] получена формула для определения концентрации ПАА, обеспечивающей требуемую гидравлическую крупность частиц,

$$p' = \sqrt[n]{\frac{w' - w}{wA}}$$

где p' – концентрация ПАА, обеспечивающая требуемую гидравлическую крупность частиц; w' – скорость осаждения из гидросмеси твердых частиц в присутствии флокулянта, м/с; w – скорость осаждения из гидросмеси твердых частиц в отсутствие флокулянта, м/с.

Выводы

1. На основе фундаментальных законов сохранения массы и энергии создана математическая модель течения пульпы в приповерхностном слое СГТ, впервые учитывающая сепарацию твердых частиц из слоя и ориентированная на применение тарельчатых затворов на устройствах подачи пульпы.

2. Высота слоя перелива зависит в первую очередь от величины расхода гидросмеси, который подается в СГТ. В незначительной степени на нее влияют начальное значение концентрации твердого в гидросмеси и величина гидравлической крупности частиц.

3. На распределение концентрации твердого вещества внутри слоя перелива большое влияние оказывают величина гидравлической крупности частиц и на-

чальная концентрация твердого в пульпе. Скорость осаждения частиц в слое перелива возрастает с увеличением крупности частиц.

4. Для повышения эффективности осветления жидкости в приповерхностном слое предложено использовать добавки флокулянтов. Предложена формула для расчета концентрации полиакриламида, обеспечивающей требуемую гидравлическую крупность частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 1990 – 2000 гг. и 2000 – 2001 гг. // Близнюков В.Г., Салганик В.А., Штанько Л.А., Русаненко П.А. – Кривой Рог: ГНИГРИ, 2002. – 178 с.
2. Полулях А.Д. Технологические регламенты углеобогажительных фабрик / А.Д. Полулях. – Д.: Национальный горный университет, 2002. – 856 с.
3. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов / [И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин, В.М. Карасик и др.]. – К.: Наук. думка, 1981. – 364 с.
4. Семененко Е.В. Переработка отходов обогащения и очистка оборотной воды в сгустительных воронках / Е.В. Семененко, В.Б. Бобров // Вестник Национального технического университета „ХПИ”. – Харьков: НТУ „ХПИ”. – №37. – С. 160 – 165.
5. Бобров В.Б. Течение в слое перелива гравитационного сгустителя / В.Б. Бобров // Вісник Східноукраїнського Національного Університету ім. В. Даля. – №3(109). – Ч. 1. – 2007. – С. 15 – 20.
6. Бобров В.Б. Математическая модель течения пульпы в приповерхностном слое сгустительной воронки / В.Б. Бобров // Накові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДВНЗ „ДонНТУ”, 2008. – Вип. 15(131). – С. 160 – 165.
7. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
8. Курганов А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с.
9. Семененко Е.В. Влияние гидродинамически активных добавок на предельные параметры системы гидротранспорта отходов / Е.В. Семененко, В.Б. Бобров, Н.А. Никифорова // Разработка рудных месторождений: (науч.-техн. сборник). – Кривой Рог: Криворожск. техн. ун-т. – Вып. 92. – 2008. – С. 115 – 119.
10. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтшуль. – М.: Недра, 1970. – 216 с.
11. Вейцер Ю.И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод / Ю.И. Вейцер, Д.М. Минц. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Стройиздат, 1984. – 200 с.
12. Применение гидродинамически активных добавок полимеров и поверхностно-активных веществ в энергосберегающих технологиях / А.В. Ступин, П.В. Асланов, А.П. Симоненко [и др.] // Прикладна гідромеханіка. – 2001. – Т. 3 (75), № 1. – С. 74 – 81.
13. Семененко Е. Анализ способов повышения эффективности работы гидротранспортных систем / Е.В. Семененко, Н.А. Никифорова // Геотехнічна механіка: (міжвід. зб. наукових праць) / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 59. – С. 142 – 150.

Рекомендовано до публікації д.т.н Б.О. Блюссом 19.08.09