

МОДЕЛИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТИТАН-ЦИРКОНОВОГО СЫРЬЯ

Розроблено математичну модель гідротехнічних систем та метод розрахунку параметрів і режимів роботи гідротехнічних систем технологій збагачення мінеральної сировини, які враховують особливості технологій видобутку та переробки, властивості матеріалів первинних та техногенних розсипів.

THE MODELS OF HYDROENGINEERING SYSTEMS OF TECHNOLOGIES OF TITANIUM-ZIRCONIUM RAW MATERIAL PROCESSING

The mathematical model of hydroengineering systems and the method of calculation of parameters and operating regimes of hydroengineering systems of raw material concentration technologies are elaborated. These model and method take into account peculiar properties of mining and concentration technologies as well as properties of materials of initial and man-caused placers.

1. Актуальность темы.

Анализ технологических схем горно-обогатительных (ГОК) и горно-металлургических комбинатов (ГМК) страны позволяет сделать следующие выводы относительно их структурных элементов, а также зависимости их параметров и режимов работы от различных факторов [1, 2, 6 – 8, 13, 18].

1. Обязательными элементами производственного процесса являются внутрифабричный гидротранспорт, гидротранспорт отходов обогащения, система складирования отходов обогащения, система осветления оборотной воды и система обеспечения надежности хранилищ отходов, цехов водоснабжения и оборотного водоснабжения. Многие из этих элементов в качестве составляющих включают не только трубопроводы, но и дамбы, естественные и искусственные откосы, системы дренажа, водопонижения и водоотведения.

2. Напорный и самотечный гидротранспорт служат связующими звеньями между наиболее крупными элементами технологической цепочки, а также применяются для перемещения концентратов, промпродуктов и отходов переработки внутри них. Эта цепочка начинается с процесса пульпообразования (ППО) в карьере или на обогатительной фабрике (ОФ), затем тянется от одной обогатительной операции к другой, продолжается отведением и складированием отходов обогащения с последующим осветлением оборотной воды и подачей ее в узел пульпообразования (УПО).

3. Эффективность, надежность и рентабельность предприятия в целом формируются всеми указанными элементами. Это может осуществляться как на различных уровнях, когда надежность отдельных элементов не зависит от на-

дежности других, так и по причине существенной зависимости надежности одних элементов от надежности других. В первом случае эффективность сепарации концентратов на ОФ не зависит ни от режима работы гидротранспорта исходных песков, ни от выбранной системы складирования отходов. В этом случае ОФ обеспечивает надежность технологии по показателям качества и объему переработки, гидротранспорт – надежность по затратам, а система складирования – экологическую безопасность. Во втором случае эффективность сепарации концентратов на ОФ жестко зависит от объема поставляемых исходных песков, от объема удаляемых отходов, а также от объема осветленной оборотной воды. В этом случае нарушение режима работы гидротранспортных систем может не привести к отказу по экологическим критериям, однако не будут обеспечены качество и объем товарных концентратов. Возможен и такой случай, когда предприятие имеет в наличии россыпи и производственные мощности, но не может наращивать объемы производства, так как некуда складировать возросший объем отходов обогащения.

4. Сформировавшаяся в конце прошлого века новая мировая тенденция развития технологий переработки минерального сырья направлена на объединение в одном технологическом элементе нескольких процессов. Так, при гидротранспорте исходных песков от мест добычи к месту переработки за счет выбора концентрации пульпы, диаметра трубопровода и типов насосов обеспечивается не только заданный грузопоток твердых частиц, но и требуемый в дальнейшем для их обогащения объемный расход воды, а также достигаются дезинтеграция и промывка транспортируемого материала. Хранилища отходов, кроме функции аккумуляции твердых частиц, все чаще выполняют также функции осветлителей и хранилищ оборотной воды, а в некоторых случаях и обеспечивают некоторое сепарирование, так как материал при складировании стратифицируется.

5. Высокая степень концентрации производства и современные экологические требования ограничивают потребление водных и земельных ресурсов в регионах, где располагаются основные ГОКи и ГМК страны. Это делает актуальными вопросы модернизации систем складирования отходов и осветления оборотной воды, направленной на сохранение существующих объемов и земельных отводов.

Все вышеперечисленное позволяет выделить в существующих технологиях переработки минерального сырья системы, обеспечивающие транспорт пульп, складирование отходов и снабжение производства оборотной водой за счет применения методов гидромеханизации, гидравлического трубопроводного транспорта, безнапорных потоков с использованием дамб, отстойников, каналов и других гидротехнических сооружений. Учитывая методы возведения и эксплуатации таких систем, большей частью позаимствованные из гидромеханизации открытых горных работ и технологии возведения дамб на реках и водохранилищах, будем называть такие системы гидротехническими, поскольку основной их составляющей является гидротехническое сооружение, такое, как хранилище отходов или водохранилище [13, 18, 19].

Таким образом, гидротехнической системой технологии переработки минерального сырья называется совокупность взаимосвязанных элементов производства, обеспечивающих процессы водоснабжения, пульпообразования, напорного и безнапорного гидротранспорта, складирования отходов обогащения, освещения оборотной воды, аккумулирования твердой и жидких фаз отходов переработки (рис. 1).

На сегодняшний момент математические модели таких систем неизвестны, отсутствуют методы расчета их параметров и режимов работы, учитывающие различные типы элементов систем, свойства материалов исходных и техногенных россыпей, технологические характеристики открытых горных работ и процессов переработки. Это препятствует выявлению возможных событий, составляющих угрозу нормальной эксплуатации гидротехнических систем, оценке параметров систем в критических ситуациях.

2. Цель работы.

Целью статьи является разработка математических моделей гидротехнических систем для технологий переработки титан-цирконового сырья.

3. Решаемая научная задача.

Создание методов расчета рациональных параметров и ресурсосберегающих режимов работы гидротехнических систем для технологий переработки титан-цирконового сырья, позволяющих снизить энергоемкость и водопотребление рассматриваемых технологий.

Гидротехнические системы взаимодействуют с технологиями добычи и переработки минерального сырья, обеспечивая первым подачу воды и отведение исходных россыпей, а вторым подачу воды и исходных россыпей с последующим отведением отходов обогащения (рис. 1).



Рис. 1. Схема взаимодействия гидротехнических систем с другими подразделениями

Совокупность элементов, из которых состоят гидротехнические системы, удобно разделить на узлы и ветви. В узлах гидротехнических систем осуществляются разделение потоков пульпы, воды и твердого вещества, ППО, процессы сепарации концентратов и освещение воды, а также аккумулирование твердых частиц и воды. К узлам гидротехнических систем относятся ОФ,

хранилище отходов (ХО) и карьер. На ОФ осуществляется разделение исходных песков на концентраты и отходы обогащения. В ХО осуществляется аккумулярование твердой части отходов обогащения, осветленной и неосветленной оборотной воды. Добыча исходных песков и приготовление из них пульпы осуществляется в карьере. Ветви гидротехнических систем обеспечивают перемещение пульпы, воды и твердого вещества между узлами. К ветвям гидротехнических систем относятся напорные и самотечные гидротранспортные установки, а также установки водоснабжения.

Анализ технологических потоков на ОФ Украины позволяет выделить три основных типа ОФ как узлов гидротехнических систем [1, 3, 4, 13, 14]. ОФ первого типа являются простейшими и характеризуются отсутствием оборотного водоснабжения и средств сгущения пульпы. ОФ второго типа характеризуются возвратом из ХО части жидкой фазы отводимых отходов назад в обогатительный процесс. ОФ третьего типа отличаются применением технологий сгущения пульп перед отводом в ХО, что позволяет сразу же вернуть осветленную оборотную воду в процесс обогащения без доставки ее в ХО.

ХО, эксплуатирующиеся на территории Украины, по структуре технологических потоков твердого и жидкого стока можно подразделить четыре типа [2, 5, 11 – 15, 18, 19]. ХО первого типа характеризуются только поступающими потоками жидкого и твердого стоков. Такие ХО служат исключительно для аккумуляции отходов обогащения. ХО второго типа, в отличие от ХО первого типа, предполагают осветление оборотной воды с последующим удалением ее из ХО. ХО третьего типа предполагают добычу и отведение техногенных россыпей, но без осветления оборотной воды. ХО четвертого типа предполагают как отведение осветленной оборотной воды, так и отведение техногенных россыпей.

С точки зрения гидротехнических систем карьеры Украины можно разделить на два типа, отличающиеся наличием или отсутствием дренажа грунтовых вод в водохранилище. В карьерах первого типа осуществляется отвод грунтовых вод с места ведения горных работ в водохранилище с последующей подачей их в систему пульпоприготовления. В карьерах второго типа грунтовые воды не используются, а вода, необходимая для нужд пульпообразования и гидротранспорта, берется из водохранилища. При этом водохранилище карьера и водохранилище, из которого удовлетворяются потребности ОФ, могут быть разными, а могут быть и одним гидротехническим сооружением. Это накладывает соответствующие ограничения на параметры потоков и количество уравнений рассматриваемых моделей.

Ветви гидротехнических систем соединяют соответствующие узлы системы и в зависимости от того, какой континуум по ним транспортируется, представлены пульповодами или водоводами, оборудованными центробежными насосами. При этом водоводы, в отличие от пульповодов, могут быть параллельными и разветвленными [1, 9, 10, 16, 17], тогда как для пульповодов разветвления возможны только в конце магистрали непосредственно на участке складирования отходов. Для гидротранспортных систем характерным является

последовательное размещение насосных агрегатов, а для систем водоснабжения используются как параллельное, так и последовательное соединения [1, 16, 18].

Горно-геологические особенности месторождений титан-цирконового сырья, а также специфика технологий переработки таких россыпей предполагают использование в качестве исходных величин при расчете параметров технологических процессов и соответствующих гидротехнических систем плановую производительность ОФ по коллективному концентрату и необходимую для переработки такого количества концентрата объемную подачу воды. В общем виде модель ОФ состоит из уравнения сохранения объемов поступающих и уходящих потоков воды, твердого материала и пульпы, а также выражений для определения потерь и источников воды в технологической схеме. С учетом этого уравнение принимает вид

$$\frac{Q_K}{\alpha} + Q_F = Q_K + \frac{1-\alpha}{\alpha} Q_K + Q_X^w + \varphi Q_K; \quad (1)$$

$$Q_K = \frac{G_K}{\rho_k}, \quad (2)$$

где G_K — плановая производительность ОФ по коллективному концентрату, т/ч; Q_F — объемная подача воды на ОФ, необходимая для переработки планового объема коллективного концентрата, м³/ч; ρ_k — плотность коллективного концентрата, т/м³; Q_X^w — расход воды, поступающей в хранилище с отходами обогащения; φ — влажность концентратов, поступающих на сушку; α — объемная доля коллективного концентрата в исходных песках, д.ед.

С учетом уравнения (1) параметры потоков, входящих на ОФ и отводимых с нее, можно выразить следующим образом:

$$Q_F = q_F Q_K; \quad C_p^I = \frac{1}{1 + \alpha q_F}; \quad Q_I = \left(\frac{1}{\alpha} + q_F \right) Q_K; \quad Q_X^w = (q_F - \varphi) Q_K; \quad (3)$$

$$C_p^{II} = \frac{1}{1 + \alpha \frac{q_F - \varphi}{1 - \alpha}}; \quad Q_{II} = \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} - \varphi + q_F \right) Q_K; \quad r = \frac{Q_w}{Q_F}, \quad (4)$$

где C_p^I — объемная расходная концентрация пульпы, поступающей на ОФ; Q_I — объемная подача пульпы, поступающей на ОФ; C_p^{II} — объемная расходная концентрация пульпы, отводимой с ОФ; Q_{II} — объемная подача пульпы, отводимой с ОФ.

Если перед отправкой в ХО пульпа, отводимая с ОФ, сгущается, то формулы (1) — (4) дополняются выражениями

$$Q_C^w = (q_F - \varphi) Q_K; \quad Q_X^w = \sigma (q_F - \varphi) Q_K; \quad Q_0 = (1 - \sigma) (q_F - \varphi) Q_K; \quad (5)$$

$$Q_{III} = \left[\frac{1 - \alpha}{\alpha} + \sigma (q_F - \varphi) \right] Q_K; \quad C_p^{III} = \frac{1}{1 + \sigma \frac{\alpha}{1 - \alpha} (q_F - \varphi)}, \quad (6)$$

где Q_0 – объемный расход воды, получаемой в результате сгущения пульпы; Q_c^w – объемный расход воды, поступающей на сгущение с отходами ОФ; Q_m – объемная подача пульпы после сгущения; C_p^m – объемная расходная концентрация пульпы после сгущения.

Плановая производительность карьера по воде и пульпе с учетом формул (2) и (3), будет рассчитываться так:

$$Q_w = \frac{1+q_z}{\alpha A} Q_K; \quad Q_M = \left(1 + \frac{1+q_z}{A}\right) \frac{Q_K}{\alpha}; \quad C_p^M = \frac{1}{1 + \frac{1+q_z}{A}}, \quad (7)$$

где q_z – соотношение расходов воды, подаваемой в зумпф гидротранспортной установки и на гидромониторы [1]; A – удельный расход воды при размыве исходных песков; Q_w – объемный расход воды, забираемой из водохранилища; Q_M – объемный расход пульпы, подаваемой на ОФ; C_p^M – объемная расходная концентрация пульпы, транспортируемой из карьера.

Модель ХО содержит систему уравнений, описывающих высоту зеркала воды и уровня дна ХО в зависимости от объемов россыпей и воды, поданных в него и отобранных из него за рассматриваемый период эксплуатации, с учетом геометрических особенностей чаши хранилища [13, 19]. С учетом формул (1) – (7) формулы для расчета параметров ХО и водохранилища могут быть записаны так:

$$\int_0^{H_s} F_s(z) dz = \int_0^T \left[\sigma(q_F - \varphi) - \frac{1-m}{m} \frac{1-\alpha}{\alpha} - q_0 \right] Q_K(t) dt; \quad (8)$$

$$\int_0^{H_v} F_v(z) dz = V_0 + \int_0^T Q_D(t) dt - \int_0^T (q_F - q_0) Q_K(t) dt; \quad (9)$$

$$\int_0^{H_z} F_s(z) dz = \frac{1}{m} \int_0^T \frac{1-\alpha}{\alpha} Q_K(t) dt; \quad q_0 = \frac{Q_0^w}{Q_K}. \quad (10)$$

где T – текущий период эксплуатации; Q_0^w – объем отбираемой из ХО осветленной воды; t – время; m – пористость отходов обогащения после укладки в ХО; H_s – высота текущего дна ХО, границы раздела между твердой и жидкой фазами; $F_s(z)$ – функция, описывающая зависимость текущей площади поперечного сечения ХО, занятого твердой фракцией, от высоты зеркала воды; H_w – текущая высота зеркала воды; $F_w(z)$ – функция, описывающая зависимость текущей площади поперечного сечения ХО, занятого жидкой фракцией, от высоты зеркала воды; z – высота зеркала воды; H_v – текущая высота зеркала воды в водохранилище; $F_v(z)$ – функция, описывающая зависимость текущей площади поперечного сечения водохранилища от высоты зеркала воды; V_0 – начальный объем воды в водохранилище; Q_D – объемный расход грунтовых вод, отводимых в водохранилище.

Анализируя модель гидротехнической системы, полученную с учетом

особенностей месторождений и специфики технологий переработки титан-цирконового сырья, можно выделить следующие моменты, определяющие согласованность режимов работы и рациональность параметров системы. Во-первых, это соотношение расхода воды, используемой для подачи исходных песков на ОФ, и планового расхода воды, необходимого для получения требуемого объема коллективного концентрата. Во-вторых, это соотношение расхода воды, полученной после сгущения пульпы, и разницы между плановым расходом воды, необходимым для номинальной работы ОФ, и расходом воды, поступающим с исходными песками.

Если расход воды, используемой для подачи исходных песков на ОФ, больше планового объема воды, необходимого для получения требуемого объема коллективного концентрата, то требуется сгущение пульпы перед ОФ. Такой вариант нельзя считать рациональным по причине высокого удельного расхода воды и электроэнергии для нужд гидротранспорта, а также необходимости создания дополнительных систем последующей очистки и складирования воды в водохранилище.

Если расход воды, используемой для подачи исходных песков на ОФ, меньше планового объема воды, необходимого для получения требуемого объема коллективного концентрата, то требуется дополнительная подача воды на ОФ. Такой вариант является более рациональным, чем предыдущий, поскольку он характеризуется меньшими затратами воды и электроэнергии для гидротранспорта, не требует последующей очистки оборотной воды, а также позволяет подавать воду в нужные точки технологического процесса. Помимо этого, сгущение пульпы перед отправкой в ХО является целесообразным не только с точки зрения технологии складирования отходов, поскольку позволяет использовать полученную воду непосредственно на ОФ.

Эффективность последнего технологического решения определяется двумя факторами: насколько расход воды, полученной после сгущения пульпы, позволяет покрыть дефицит воды на ОФ; насколько расход воды, полученной после сгущения пульпы, снижает безопасность складирования отходов обогащения.

В случае, когда параметры гидротранспорта исходных песков и технологии обогащения согласованы, ресурсосбережение достигается за счет отказа от дополнительного расхода воды из водохранилища на ОФ, а рациональные значения параметров определяют по формулам (1) – (10) с учетом выражения

$$q_F = \frac{1 + q_z}{\alpha A}. \quad (11)$$

В случае, когда вода, полученная после сгущения пульпы перед отправкой в ХО, подается обратно на ОФ, с учетом $Q_F - Q_W = Q_0$, кроме формул (1) – (11) используют также следующие зависимости:

$$\sigma = \frac{1+q_z-\varphi}{\frac{\alpha A}{q_F-\varphi}}; \quad Q_0 = \left(q_F - \frac{1+q_z}{\alpha A} \right) Q_K; \quad Q_K^w = \left(\frac{1+q_z}{\alpha A} - \varphi \right) Q_K; \quad (12)$$

$$Q_w = \left[\frac{1-\alpha}{\alpha} + \frac{1+q_z}{\alpha A} - \varphi \right] Q_K; \quad C_p^{III} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1-\alpha} \left(\frac{1+q_z}{\alpha A} - \varphi \right)}. \quad (13)$$

При этом с учетом формул (12) и (13) уравнения (8) – (10) принимают вид

$$\int_0^{H_F} F_w(z) dz = \int_0^T \left[\frac{1+q_z}{\alpha A} - q_0 - \varphi - \frac{1-m}{m} \frac{1-\alpha}{\alpha} \right] Q_K(t) dt; \quad (14)$$

$$\int_0^{H_V} F_V(z) dz = V_0 + \int_0^T Q_D(t) dt - \int_0^T \left(\frac{1+q_z}{\alpha A} - q_0 \right) Q_K(t) dt; \quad (15)$$

$$\int_0^{H_S} F_S(z) dz = \frac{1}{m} \int_0^T \frac{1-\alpha}{\alpha} Q_K(t) dt. \quad (16)$$

Нормальная эксплуатация ХО и водохранилища возможна при наличии над уровнем дна слоя воды некоторой толщины, что выражается в соблюдении следующих неравенств:

$$\Phi_*(z) \leq \int_0^{H_W} F_w(z) dz - \int_0^{H_S} F_S(z) dz \leq \Phi^*(z); \quad (17)$$

$$W_*(z) \leq V_0 + \int_0^T Q_D(t) dt - \int_0^{H_V} F_V(z) dz \leq W^*(z), \quad (18)$$

где $\Phi_*(z)$ – величина, характеризующая минимально допустимую для данной отметки зеркала воды разницу объемов твердых частиц и воды в ХО; $\Phi^*(z)$ – величина, характеризующая максимально допустимую для данной отметки зеркала воды разницу объемов твердых частиц и воды в ХО; $W_*(z)$ – величина, характеризующая минимально допустимую для данной отметки зеркала воды глубину водохранилища; $W^*(z)$ – величина, характеризующая максимально допустимую для данной отметки зеркала воды глубину водохранилища.

С учетом (14) – (16) условия (17) и (18) могут быть переписаны в виде ограничений на величину q_0

$$\Phi_*(z) \leq \int_0^T \left[\frac{1+q_z}{\alpha A} - q_0 - \varphi - \frac{2-m}{m} \frac{1-\alpha}{\alpha} \right] Q_K(t) dt \leq \Phi^*(z); \quad (19)$$

$$W_*(z) \leq \int_0^T \left(\frac{1+q_z}{\alpha A} - q_0 \right) Q_K(t) dt \leq W^*(z). \quad (20)$$

Выбор значения величины q_0 , удовлетворяющего условиям (19) и (20) при заданных величинах остальных параметров, позволяет обеспечить работоспо-

способность гидротехнической системы технологий переработки титан-цирконового сырья в ресурсосберегающих режимах работы.

4. Выводы, отражающие решение научной задачи.

Из материалов приведенных в статье можно сделать следующие выводы.

1. Существующие технологии добычи, транспортировки и обогащения минерального сырья содержат структурные элементы, связанные между собой системами трубопроводов или безнапорных потоков, которые образуют внутри технологии переработки минерального сырья единую гидротехническую систему, обеспечивающую процессы водоснабжения, пульпообразования, напорного и безнапорного гидротранспорта, складирования отходов обогащения, осветления оборотной воды, аккумулирования твердой и жидкой фаз отходов переработки.

2. Гидротехнические системы состоят из совокупности элементов двух видов: элементы первого вида обеспечивают разделение потоков пульпы, воды и твердого вещества, ППО, процессы сепарации концентратов и осветление воды, а также аккумулирование твердых частиц и воды; элементы второго вида обеспечивают перемещение пульпы, воды и твердого вещества. Каждый элемент первого вида описывается сепарационными характеристиками, а также уравнениями сохранения объемов поступающих и уходящих потоков воды, твердого материала и пульпы. Каждый элемент второго вида описывается рабочей точкой, определяемой пересечением РНХ составляющих его объектов.

3. Разработаны методы расчета параметров и режимов работы гидротехнических систем технологий обогащения минерального сырья, учитывающие различные типы элементов систем, свойства материалов исходных и техногенных россыпей, технологические характеристики открытых горных работ и процессов переработки.

4. Определены возможные события, представляющие угрозу для нормальной эксплуатации гидротехнических систем, что позволило оценить параметры систем в критических ситуациях, спрогнозировать их и обосновать параметры и режимы работы систем, предотвращающие аварии и потери надежности.

5. Разработаны методы расчета рациональных параметров и ресурсосберегающих режимов работы гидротехнических систем для технологий переработки титан-цирконового сырья, позволяющие снизить энергоемкость и водопотребление этих технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов, Ю.Д. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий [Текст] / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блосс, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: «Новая идеология», 2006. – 416 с.
2. Блосс, Б.А., Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд [Текст] / Б.А. Блосс, Н.А. Головач. – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 126 с.
3. Блосс, Б.А., Научные основы моделирования процессов в технологиях обогащения титан-цирконовых россыпей [Текст] / Б.А. Блосс, А.М. Сокил, Е.В. Семененко // Обогаще-

ние полезных ископаемых: Науч.-техн. сб. – Днепропетровск. – 2003. – Вып. №18(59). – С. 79 – 92.

4. Блюсс, Б.А. Методика определения параметров систем карьерного трубопроводного транспорта с учетом пульпообразования [Текст] / Б.А. Блюсс, Е.В. Семененко, М.Н. Лившиц // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 2009. – №1. – С. 73 – 82.

5. Булат, А.Ф. Согласование параметров насоса и электродвигателя насосного агрегата [Текст] / А.Ф. Булат, А.М. Сокил, Е.В. Семененко // Горн. электромеханика и автоматика: Науч.-техн. сб. – 2002. – Вып. 69. – С. 117 – 122.

6. Гуменик, И.Л. Проблемы разработки россыпных месторождений [Текст] / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.

7. Джваршеишвили, А.Г., Системы трубопроводного транспорта горно-обогатительных предприятий [Текст] / А.Г. Джваршеишвили. – М.: Недра, 1986. – 384 с.

8. Дмитриев, Г.П., Напорные гидротранспортные системы [Текст] / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили. – М.: Недра, 1991. – 304 с.

9. Животовский, Л.С., Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы [Текст] / Л.С. Животовский, Л.А. Смольовская. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

10. Карелин, В.Я., Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах [Текст] / В.Я. Карелин. – М.: Машиностроение, 1975. – 326 с.

11. Литвяк, В.Г., Опыт проектирования Укрспромхозом систем производственного водоснабжения предприятий черной металлургии [Текст] / В.Г. Литвяк, А.И. Шербина, М.М. Пинизелле // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №1. – С. 127 – 130.

12. Махарадзе, Л.И. Трубопроводный гидротранспорт твердых сыпучих материалов [Текст] / Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, С.И. Криль, Л.А. Смольовская. – Тбилиси: Мецниереба, 2006. – 350 с.

13. Нурок, Г.А., Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ [Текст] / Г.А. Нурок. – М.: Недра, 1985. – 583 с.

14. Покровская, В.Н., Трубопроводный транспорт в горной промышленности [Текст] / В.Н. Покровская. – М.: Недра, 1985. – 191 с.

15. Семененко, Е.В., Расчет параметров систем оборотного водоснабжения технологий обогащения минерального сырья [Текст] / Е.В. Семененко // Горн. электромеханика и автоматика: Науч.-техн. сб. – Днепропетровск. – 2005. № 74. – С. 79 – 85.

16. Силин, Н.А. Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов [Текст] / Н.А. Силин, С.Г. Коберник. – К.: Изд-во АН УССР, 1962. – 215 с.

17. Смолдырёв, А.Е., Гидро- и пневмотранспорт в металлургии [Текст] / А.Е. Смолдырёв. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с.

18. Юфин, А.П. Гидромеханизация: учебн. [для студ. гидротехн. спец. вузов] [Текст] / А.П. Юфин. – М.: Госстройиздат, 1966. – 496 с.

19. Ялтаец, И.М. Рабочие параметры грунто-заборочных устройств плавучих землесосных снарядов и их конструктивные особенности [Текст] / И.М. Ялтаец, Н.И. Леванов, И.Т. Мельников, В.М. Дятлов. – М.: МГТУ, 2005. – 236 с.