

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭЖЕКТОРНОГО ЗЕМСНАРЯДА УГБ-2М ПРИ ОЧИСТКЕ ШЛАМОНАКОПИТЕЛЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

THE PERFORMANCE OF THE EJECTOR DREDGER UGB-2M DURING THE CLEANING OF THE SLUDGE ACCUMULATOR OF THE CONCENTRATING PLANT

A. Koryakin,

graduate student,

The Institute of Comprehensive Subsoil Resources Exploration Problems, Russian Academy of Science, Moscow.

The purpose of the work is to substantiate the parameters of the hydro-mechanized technology for the development and movement of enrichment tailings from silo accumulators of coal-processing plants using hydraulic elevator dredgers.

Keywords: coal enrichment; sludge accumulators; development of coal sludge; mining conditions; performance of a hydraulic elevator dredger.

В последнее время зольность добываемых углей и содержание в них частиц мелкого класса крупности заметно увеличилось, а при существующей технологии обогащения возможности использования механизированных отстойников оказываются уже недостаточными. Поэтому на обогатительных фабриках для шламов сооружаются шламонакопители. Отходы углеобогащения — обводненные шламы и тонкие илы (мелкодисперсный и высокозольный продукт), в твердой части которых, кроме органического вещества углей, содержится от 30 до 80 масс. % минеральной части. Высокая влажность — содержание воды — до 50 масс. %, затрудняет их использование и утилизацию.

В шламонакопителе Кузбасса уложено более 25 млн. т отходов углеобогащения [1-3]. Они загрязняют окружающую среду, занимают большие территории и рано или поздно, после их заполнения, шлам придётся утилизировать. По данным статистической отчетности на 31.12.2014 г. в Кемеровской области площадь нарушенных земель составила 58,056 тыс. га, в т.ч. при разработке месторождений полезных ископаемых — 53,255 тыс. га, а при размещении промышленных и твердых бытовых отходов — 1,971 тыс. га [4-7].

В подобных условиях функционирует ОФ «Черниговская», входящая в состав АО «Черниговец». Достаточно распространенная в Кузбассе схема объектов её водошламового хозяйства показана на рис. 1.

Шлам, в объеме около 200 тыс. куб. м в год, транспортируется в шламоприемную емкость, где происходит процесс его накопления, который длится, как правило, 8-9 месяцев. В теплый период времени шламоприемная емкость подвергается размыву с использованием гидромонитора ГМД-250,

А.А. Корякин,
аспирант,

Институт проблем комплексного освоения недр
ИПКОН РАН,
г. Москва.

Ключевые слова: углеобогащение; шламонакопители; разработка угольных шламов; горнотехнические условия; производительность гидроэлеваторного земснаряда.

а землесосы ЗГМ-2м перекачивают угле-шламовую смесь по трубопроводу на шламовые карты. Там происходит обезвоживание поступающей смеси, а после заполнения карты и последующего осушения, выполняются работы по её очистке от шлама: экскаваторная выемка с погрузкой в автосамосвалы, вывозка и складирование на отвале [8]. После чего карта готова к приему очередной партии водошламовой смеси.

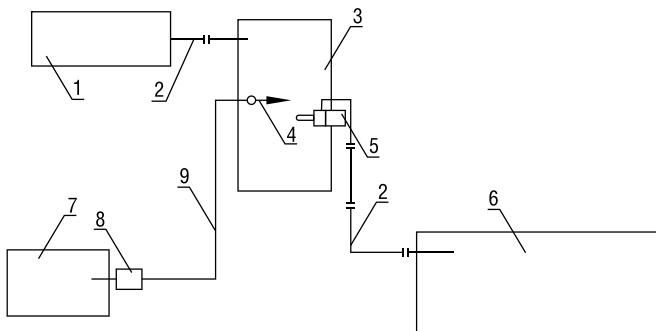


Рис. 1. Принципиальная схема обустройства водошламового хозяйства ОФ «Черниговская»:

1 - обогатительная фабрика; 2 - пульповод; 3 - шламоприемную емкость; 4 - гидромонитор; 5 - землесос; 6 - Чесноковские карты намыва; 7 - пруд осветленной воды; 8 - насосная станция; 9 - трубопровод осветленной воды.

Характеристика складированного шлама: влажность 18%; зольность 20,7%. Состав водошламовой смеси 1:9 ($V_m = 10\%$ шлам, $V_g = 90\%$ вода). Гранулометрический состав шлама свидетельствует об отсутствии минеральных частиц крупного класса, что, по сравнению с песчано-гравийными месторождениями, является большим преимуществом в плане его разработки и гидротранспортирования средствами гидромеханизации [2].

Методика исследований. Основными характеристикам водношламовой смеси, поступающей с ОФ являются её плотность фсм и удельный расход воды qф. С целью определения величины удельного расхода воды в гидросмеси, поступающей с ОФ, представим объемное соотношение шлама и воды в зависимости от её состава:

$$V_m : V_g = (\rho_{фсм} - \rho_o) : (\rho_m - \rho_{фсм}), \quad (1)$$

где: ρ_o — плотность несущей среды (воды), кг/м³; ρ_m — плотность шлама, 2100 кг/м³.

После преобразования формулы (1), получим:

$$\rho_{cm}^{\phi} = (V_m \rho_m + V_o \rho_o) : (V_m + V_o), \text{ кг/м}^3. \quad (2)$$

С другой стороны, величину плотности гидросмеси по известной формуле (10) можно выразить, через величину удельного расхода воды в гидросмеси q_{ϕ} :

$$\rho_{cm}^{\phi} = [\rho_o q_{\phi} + \rho_m(1-m)] : [q_{\phi} + (1-m)], \text{ кг/м}^3, \quad (3)$$

где: q_{ϕ} — удельный расход воды в поступающей с обогатительной фабрики гидросмеси шлама, м³/м³; m — пористость шлама, 0,3 дол. ед.

Приравняв зависимости (2) и (3), после преобразований получим расчетную формулу для определения величины удельного расхода воды в гидросмеси шлама, поступающей с обогатительной фабрики, при любом соотношении — V_m и воды — V_o :

$$q_{\phi} = (1-m) \cdot [(V_m + V_o) \cdot \rho_m - (V_m \rho_m + V_o \rho_o)] : [V_m \cdot (\rho_m - \rho_o)], \quad (4)$$

Подставляя в формулу (4) значения параметров для условий шламохранилища ОФ «Черниговская», определяем удельный расход воды в гидросмеси, поступающей с обогатительной фабрики $q_{\phi} = 6,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Нормативный удельный расход воды на разработку и транспортирование шлама земснарядом УГБ-2М составляет $q = 6,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$, следовательно, функционирование предлагаемой технологии полностью за счет воды, поступающей с обогатительной фабрики по трубопроводу вместе со шламом, технически невозможно [2, 11]. В таком случае следует обеспечить ее подачу из других источников, что и реализовано в условиях шламохранилища ОФ «Черниговская» (см. рис. 1, п. 7, пруд осветленной воды). Подача чистой воды, необходимой для создания давления на гидромониторе и получения необходимой по условию гидротранспортирования водошламовой смеси, осуществляется по трубам из водного объекта, расположенного вблизи отвала, принадлежащего филиалу «Кедровский угольный разрез» АО «УК «Кузбассразрезуголь».

Для обоснования области эффективного применения земснарядной переукладки шламов при разработке хвостов обогащения земснарядом УГБ-2М необходимо произвести расчет его производительности в зависимости от технических условий работы, которые определяются расстоянием транспортирования гидросмеси L_{mp} , геодезической высотой её подъема H_z , свойствами перекачиваемой гидросмеси-плотности транспортируемой пульпы ρ_{cm} и массовой её консистенции P , а также требуемым по условию безопасности (для исключения режима возможного заиливания пульповода) диаметром трубопровода D .

Для этого определяются физико-механические характеристики гидросмеси. Гранулометрический состав шлама характеризует процентное содержание частиц определенной крупности в транспортируемой массе твердого материала. Одной из характеристик гранулометрического состава является средневзвешенный диаметр частиц, который рассчитывается по известной формуле:

$$d_{cp} = \sum P_i d_i / 100, \text{ мм}, \quad (5)$$

где P_i — процентное содержание фракций i -го диапазона крупности; d_i — средний диаметр частиц i -й фракции, определяемый как среднеарифметическое предельных диаметров данной группы фракций.

Теперь, в соответствии с нормативными требованиями распределения грунтов по группам их разработки землесосными снарядами, определим категорию грунта — 1 (хвосты обогащения) и удельный расход воды — $6,5 \text{ м}^3$ на разработку и транспортирование 1 м^3 шлама [11]. Затем рассчитываем $\rho_{вс}$ — плотность всасываемой в эжектор гидросмеси, плотность транспортируемой гидросмеси ρ_{cm} и определяем величину $\delta = \rho_{вс} / \rho_o$, где ρ_o — плотность воды.

Далее производится расчет параметров гидротранспорта — определение критических и действительных скоростей, сопоставление их величин, на основании которого принимается диаметр пульповода в соответствии с [9, 10].

Диапазон твердых частиц перекачиваемой пульпы для условий шламохранилища ОФ «Черниговская» ($d_{cp} = 0,168 \text{ мм}$) [2] определяет для расчета критической скорости гидротранспортирования формулу Кнороза В.С.:

$$v_{кр} = 0,855(0,35 + 1,36\sqrt{PD^2}) \sqrt{\frac{d_{cp}}{0,4}}, \quad (6)$$

где: D — диаметр трубопровода, м; P — массовая консистенция гидросмеси в %,

$$P = \frac{\rho_r - \rho_o}{\rho_r - \rho_o} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_o} \cdot 100, \quad (7)$$

С целью определения производительности землесосного снаряда в конкретных горнотехнических условиях должны быть построены графические зависимости сопротивления внешней сети. Точка пересечения напорной характеристики гидроэлеваторного земснаряда и соответствующей графической зависимости сопротивления внешней сети определяет «рабочую точку», т.е. фактическую величину подачи (производительности) гидротранспортного оборудования [9]. Воспользуемся графической зависимостью $H_z = f(Q_{cm})$ — характеристикой земснаряда, которая была определена по результатам испытаний УГБ-2М на карьере Тучковского комбината строительных материалов [12].

Зависимость для определения сопротивления внешней сети гидротранспортной установки в общем случае имеет вид [9]:

$$H_c = H_z + R_0 \cdot Q_{cm}^2 + R_d \cdot Q_{cm}^n, \quad (8)$$

где H_z — геодезическая высота подъема гидросмеси, м; Q_{cm} — расход (подача) гидросмеси земснарядом, м³/с; R_0 — основной коэффициент сопротивления внешней сети гидротранспортной установки, с²/м⁵; R_d — дополнительный коэффициент сопротивления внешней сети, с⁻¹/м⁴; n — показатель степени.

При применении методики В.С. Кнороза коэффициенты сопротивления внешней сети гидротранспортной установки рассчитываются по формуле [10]:

$$R_0 = [(\lambda_o \cdot L) : D + \Sigma \xi + 1] \cdot [0,81 : (gD^4)]; R_d = 0. \quad (9)$$

где L – расстояние гидротранспортирования; D – диаметр трубопровода; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\Sigma\xi$ – сумма коэффициентов местных гидравлических сопротивлений [9].

Последовательность действий (блок-схема алгоритма) для расчета параметров гидротранспорта при очистке ило-накопителя углеобогачительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов и его производительности в зависимости от горнотехнических условий его работы представлена на рис. 2.

На первом этапе производится выбор диаметра пульповода и расчет параметров гидротранспорта в зависимости от расстояния гидротранспортирования и геодезической высоты подъема гидросмеси, что позволяет определить часовую производительность земснаряда по гидросмеси $Q_{см}$ и по твердому Q_m .

Далее для принятых значениях $Q_{см}$, которые задается по таблице, строится графическая зависимость изменения величины сопротивления внешней сети H_c гидротранспортной установки для принятых условий его работы. Для примера, на рис. 3 показано графическое определение «рабочей точки», т.е. точки пересечения зависимостей характеристики земснаряда УГБ-2М (H_3) сопротивления внешней сети (H_c).

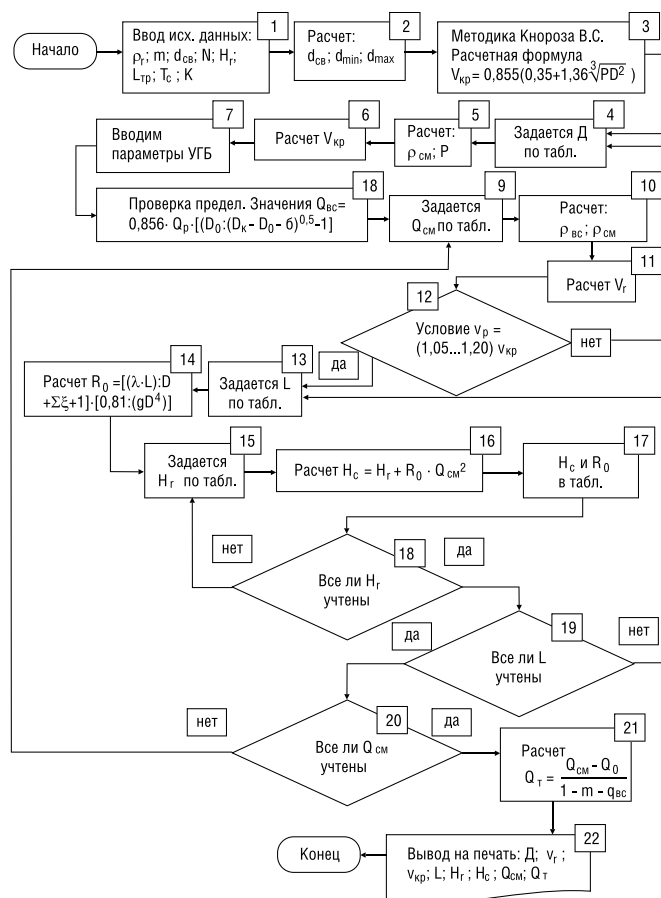


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета параметров системы гидротранспорта технологии очистки илонакопителя углеобогачительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов и его производительности в зависимости от горнотехнических условий его работы.

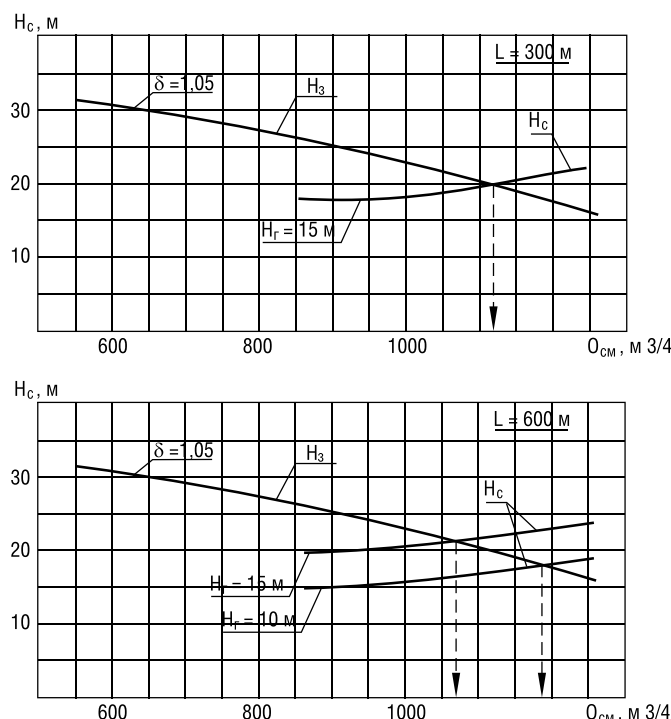


Рис. 3. Графические зависимости для определения фактической производительности земснаряда УГБ-2М ($D = 0,4$ м) при перекачивании шламов углеобогачительных фабрик.

Результаты исследований и их обсуждение. В табл. 1 приведены результаты расчета параметров гидротранспорта земснарядом УГБ-2М и величины сопротивления внешней сети H_c при $D = 0,4$ м.

Когда определена величина подачи гидросмеси – $Q_{см}$, то производительность по твердому (шламу) может быть рассчитана по известной формуле:

$$Q_m = (Q_{см} - Q_0) \cdot (1 - m + q_{вс}); \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (10)$$

где Q_0 – расход рабочего потока воды (на пульпообразование), для УГБ-2М – 561,3 м³/ч.

В табл. 2 представлены результаты расчета производительности эжекторного земснаряда УГБ-2М при очистке шламонакопителя ОФ «Черниговская» в зависимости от горнотехнических условий его работы.

Как видно из табл. 2 диапазон технически безопасных режимов работы гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М определяет область возможного его применения и позволяет реализовать предлагаемую технологию очистки илонакопителя углеобогачительных фабрик в пределах расстояния транспортирования гидросмеси не более 2000 м и геодезической высоты её подъема до 20 м. Максимальное значение производительности по твердому (шламу) составляет 97,0 м³/ч и достигается при $D = 0,45$ м, $L = 1500$ м, $H_z = 5$ м. Минимальное значение производительности – 42,9 м³/ч соответствует условию его работы при $D = 0,30$ м, $L = 300$ м, $H_z = 15$ м.

Выводы. В статье приведены результаты исследований, подтверждающие возможность эксплуатации гидроэлеваторного земснаряда УГБ-2М в пределах технически безопасных режимов его работы в одинаковых горнотехнических ус-

Таблица 1

Результаты расчета параметров гидротранспорта земснарядом УГБ-2М и величины сопротивления внешней сети H_c при $D = 0,4$ м.

Параметры		$H_f = 10$ м; $L = 300$ м			$H_f = 15$ м; $L = 300$ м		
Условн. обозн.	Ед. измер.	$Q_{CM}=861,3$ м³/ч	$Q_{CM}=1064,3$ м³/ч	$Q_{CM}=1261,3$ м³/ч	$Q_{CM}=861,3$ м³/ч	$Q_{CM}=1064,3$ м³/ч	$Q_{CM}=1261,3$ м³/ч
ρ_{BC}	кг/м³	1110	1110	1110	1110	1110	1110
ρ_{CM}	кг/м³	1038	1049	1061	1038	1049	1061
P	%	7,51	9,79	12,33	7,51	9,79	12,33
V_f	м/с	1,90	2,36	2,79	1,90	2,36	2,79
$V_{кр}$	м/с	1,54	1,65	1,76	1,02	1,41	1,50
Q_{CM}	м³/с	0,239	0,296	0,350	0,239	0,296	0,350
R_e	-	741000	920400	1088100	741000	920400	1088100
λ_o	-	0,0130	0,0126	0,0122	0,0130	0,0126	0,0122
$\Sigma \xi$	-	3,112	3,112	3,112	3,112	3,112	3,112
R_o	-	44,70	43,74	42,77	44,70	43,74	42,77
H_c	м	12,55	13,83	15,24	17,55	18,83	20,24
$Q_{ГС}$	м³/ч	пересечения с характеристикой нет			1120		
Q_T	м³/ч				77,6		

Таблица 1

Продолжение.

Параметры		$H_f = 10$ м; $L = 600$ м			$H_f = 15$ м; $L = 600$ м		
Условн. обозн.	Ед. измер.	$Q_{CM}=861,3$ м³/ч	$Q_{CM}=1064,3$ м³/ч	$Q_{CM}=1261,3$ м³/ч	$Q_{CM}=861,3$ м³/ч	$Q_{CM}=1064,3$ м³/ч	$Q_{CM}=1261,3$ м³/ч
ρ_{BC}	кг/м³	1110	1110	1110	1110	1110	1110
ρ_{CM}	кг/м³	1038	1049	1061	1038	1049	1061
P	%	7,51	9,79	12,33	7,51	9,79	12,33
V_f	м/с	1,90	2,36	2,79	1,90	2,36	2,79
$V_{кр}$	м/с	1,54	1,65	1,76	1,02	1,41	1,50
Q_{CM}	м³/с	0,239	0,296	0,350	0,239	0,296	0,350
R_e	-	741000	920400	1088100	741000	920400	1088100
λ_o	-	0,0130	0,0126	0,0122	0,0130	0,0126	0,0122
$\Sigma \xi$	-	3,112	3,112	3,112	3,112	3,112	3,112
R_o	-	76,15	74,21	72,28	76,15	74,21	72,28
H_c	м	14,35	16,50	18,85	19,35	21,50	23,85
$Q_{ГС}$	м³/ч	1190			1070		
Q_T	м³/ч	87,3			70,7		

ловиях (при различных значениях диаметра трубопровода), что позволяет оптимизировать параметры применяемой технологии.

Таким образом, предлагаемый методический подход и произведенные расчеты позволяют:

- ✦ установить диапазон технически безопасных режимов работы земснарядов УГБ-2М, соответствующих требо-

ванию $V_e \geq V_{кр}$ (для исключения режима возможного заиливания пульповода), которое определяет величину диаметра пульповода D ;

- ✦ определить весь диапазон изменений величины производительности земснаряда по твердому для различных значений расстояния гидротранспортирования гидросмеси и геодезической высоты

Производительность эжекторного земснаряда УГБ-2М при очистке шламонакопителя ОФ «Черниговская».

D, м	L, м	Производительность УГБ-2М, Q _г ; м³/ч				
		H _г = 0 м	H _г = 5 м	H _г = 10 м	H _г = 15 м	H _г = 20 м
0,30	300	85,2	72,0	58,8	42,9	-
	600	60,9	50,5	-	-	-
0,35	300	-	-	86,6	68,6	-
	600	-	81,8	68,6	53,3	-
	1000	75,9	62,3	52,6	38,0	-
	1500	58,2	47,7	-	-	-
	2000	44,3	-	-	-	-
0,40	300	-	-	-	77,6	-
	600	-	-	87,3	70,7	-
	1000	-	88,7	74,1	56,8	-
	1500	86,6	76,2	61,6	45,7	-
	2000	76,2	64,4	51,2	-	-
0,4	300	-	-	-	89,4	68,6
	600	-	-	-	81,1	60,2
	1000	-	-	91,5	72,7	54,0
	1500	-	97,0	81,8	64,4	43,6
	2000	-	87,3	72,0	56,8	-

её подъема с учетом характеристик перекачиваемой гидросмеси;

- ✦ разработать алгоритм расчета параметров системы гидротранспорта для технологии очистки илонакопителя углеобогащительных фабрик с применением гидроэлеваторных земснарядов и определить его производи-

тельность в зависимости от горнотехнических условий работы;

- ✦ определить область применения земснаряда УГБ-2М и оптимизировать его параметры в пределах техники безопасности режимов работы путем выбора рационального диаметра трубопровода D. ■

ЛИТЕРАТУРА

- Горлов Е.Г., Серегин А.И., Ходаков Г.С. Условия реализации шламов угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в виде суспензионного топлива // Химия твердого топлива, 2007. № 6. С. 51-57.
- Рыжов С.В., Митишова Н.А., Рублевский В.Е. О необходимости обоснования рационального соотношения производительности добычного и перерабатывающего комплексов АО «ЮГК» // Материалы XI Международной конференции «Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр», Магнитогорск, 24-28 мая, 2021. С. 195-197.
- Поклонов Д.А., Мироненко И.А., Федотенко В.С., Протасов С.И. Алгоритм определения диаметра насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 2 (138). С. 58-66. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-2-58-66
- О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2014 г.: доклад Департамента природных ресурсов и экологии Кемеровской области. – Кемерово: Администрация Кемеровской области, 2015.
- Ефимов В.И., Сидоров Р.В., Корчагина Т.В. К вопросу образования отходов производства от предприятий угольной отрасли в Кузбассе // ГИАБ. 2017. № 1. С. 85-96.
- Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. Устойчивое развитие горнотехнических систем как переход от добычи полезных ископаемых к освоению георесурсов и сохранению недр // Горный журнал. 2021. № 8. С. 4-7. DOI: 10.17580/gzh.2021.08.01
- Einbinder G., Mitishova N., Radchenko D., Knyazkin E. Procedure for risk assessment of initiation and progression of oxidation processes during development of pyrite ore deposits. E3S Web of Conferences: «8th International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesources», PCDG 2020» 2020. № 03005. DOI: 10.1051/e3sconf/202019203005 (in Russian)
- Патент РФ № 2742480. Способ водоотлива горного предприятия. 2021. Бюл. №4. / Рыльникова М.В., Федотенко В.С., Князькин Е.А.
- Шелоганов В.И., Кононенко Е.А. Насосные установки гидромеханизации. Москва: МГГУ, 1999. 81 с.
- Кнороз В.С. Движение гидросмесей в напорных трубопроводах и метод расчета. Москва: Известия ВНИИГ, 1941. т. 30, 256 с.
- ФЕР 81-02-01-2001 Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы ФЕР -2001 Федеральные единичные расценки на строительные работы ФЕР -2001 [сборник 1, Земляные работы, приложение] (книга 1). 129 с.
- Кононенко Е.А., Белоусов К.С. Анализ работы и возможности гидроэлеваторного земснаряда в условиях карьера Тучковского комбината строительных материалов // ГИАБ. 2009. № 9. С. 210-214.