

Е.А. Ермолович, С.В. Донецкий, О.В. Ермолович

ВЛИЯНИЕ ФЛОКУЛЯНТОВ НА ВЫБОР СПОСОБА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГИДРОЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА

Исследовано влияние флокулянтов Магнафлок 338 и Суперфлок А110 НМВ на физические характеристики (коэффициент фильтрации и гранулометрические параметры) гидрозакладочного массива, сформированного из сгущенных отходов обогащения железистых кварцитов. Приведены методика определения коэффициента фильтрации и результаты экспериментальных исследований изменения значений коэффициента фильтрации образцов гидрозакладочного массива на основе отходов обогащения железистых кварцитов, сгущенных указанными флокулянтами, от влажности в ее диапазоне 1–30% при разных градиентах напора (1; 1,5; 2). Изменения коэффициента фильтрации от влажности несут экстремальный характер и хорошо аппроксимируются полиномиальными функциями третьего и пятого порядков для флокулянтов Магнафлок 338 и Суперфлок А110 НМВ соответственно. Достоверность аппроксимации составляет 0,83–0,94 при разных градиентах напора. Увеличение градиента напора с 1 до 2 на изменения коэффициента фильтрации влияет незначительно. Установлено, что средний диаметр частиц отходов обогащения в гидросмесях, сгущенных флокулянтом Суперфлок А110 НМВ в 2,3 раза больше, чем при сгущении флокулянтом Магнафлок 338.

Ключевые слова: гидрозакладка, отходы обогащения железистых кварцитов, коэффициент фильтрации, влажность, гранулометрические параметры, градиент напора, флокулянты, закрепление массива.

Гидрозакладка отработанных камер на шахте им. Губкина (ОАО «Комбинат КМАруда») отходами обогащения железистых кварцитов решает многие экологические проблемы, связанные с их размещением на поверхности. Однако данная безотходная технология имеет ряд существенных недостатков. Поскольку отходы обогащения подаются в подземные камеры без вяжущего вещества, использование гидрозакладки не позволяет обрабатывать целики, кроме того при отработке камер, находящихся под заложением гидрозакладкой выработанным

пространством, существует опасность подсечения разведочных геологических скважин, по которым гидрозакладочная пульпа начинает поступать в нижележащую камеру, что может привести к аварийной ситуации.

Для создания экологически рациональной технологии необходимо кардинально изменить состояние гидрозакладочного массива, предполагающее увеличение его прочности методом закрепления. Закрепление может осуществляться путем инъекции закрепляющих материалов [1]. Инъекцию производят с использованием вяжущих, силикатных материалов и смол [2].

Основным критерием, необходимым при выборе способа закрепления грунтов, является их проницаемость, характеризующаяся коэффициентом фильтрации. Чем меньше коэффициент фильтрации грунта, т.е. чем меньше его проницаемость, тем труднее осуществлять инъекцию химических растворов [3]. Согласно [4] обычный жидкий раствор можно использовать, если проницаемость грунта больше, чем 0,001 см/с.

Для того чтобы инъекция стала возможной, необходимо соблюдать строгое соотношение между размерами частиц раствора и инъектируемой среды.

Цементацию, глинизацию и битумизацию производят в песчаных, гравелистых и трещиноватых скальных грунтах с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} > 50$ м/сут. Цементный раствор не будет проникать в пустоты в рыхлой почве с эффективным размером менее 0,5 мм или плотной почве с эффективным размером менее 1,5 мм. Таким образом, цементное инъецирование не подходит для грунтов тоньше грубых песков [5].

Силикатизацию грунтов производят двумя способами: двухрастворной силикатизацией и однорастворной силикатизацией. Первый способ применяют для закрепления песчаных грунтов с $K_{\phi} = 2-50$ м/сут. Второй способ используют для закрепления мелких пылеватых песков с $K_{\phi} = 0,5-5$ м/сут [6]. Смолизацию применяют для закрепления мелких песков с $K_{\phi} > 0,3$ м/сут [2]. Способы химического инъецирования были разработаны в ответ на необходимость закрепления, когда размеры пор в породе или грунте были слишком малы, чтобы позволить введение обычной суспензии портландцемента [7].

Хвосты обогащения для формирования гидрозакладочного массива сгущают с применением флокулянтов. Вместе с тем добавление флокулянтов снижает потери мелких фракций и увеличивает плотность пульпы, тем самым оказывая непосредственное влияние на ее свойства и свойства закладочного мас-

сива. Общеизвестно, что флокулянты отличаются по сохранению количества мелких фракций [8].

Целью данного исследования являлось изучение влияния флокулянтов на физические характеристики гидрозакладочного массива на основе сгущенных отходов обогащения железистых кварцитов, определяющие выбор способа его закрепления – коэффициента фильтрации и гранулометрических параметров.

Физические характеристики гидрозакладочного массива определялись на образцах двух серий. В первой серии отходы обогащения сгущались флокулянтом Магнафлок 338, а во второй применялся Суперфлок А110 НМВ.

Определение коэффициента фильтрации осуществлялось по ГОСТ 25584-90 [9] в приборе СОЮЗДОРНИИ ПКФ-СД.

Исследование гранулометрических характеристик отходов обогащения осуществлялось с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц «Analysette 22 NanoТес». Измерение проводили диспергированием порошков в жидкости с ультразвуком [10].

Обобщенные результаты распределения частиц отходов обогащения гидросмесей по размерам приведены в табл. 1.

Поскольку консолидация гидрозакладочного массива на основе отходов обогащения железистых кварцитов ОАО «Комбинат КМАруда» продолжается до года и более [11], и соответственно

Таблица 1

Обобщенные результаты распределения частиц отходов обогащения гидросмесей по размерам

Гранулометрические характеристики	Флокулянт	
	Магнафлок 338	Суперфлок А110 НМВ
D10 среднеарифметическое значение размера, определяющего границу, ниже которой находится 10% частиц, мкм	2,98	9,945
D50 среднеарифметическое значение размера, определяющего границу, ниже которой находится 50% частиц, мкм	30,099	63,936
D90 среднеарифметическое значение размера, определяющего границу, ниже которой находится 90% частиц, мкм	71,014	173,5
Средний диаметр частиц, (объемный средний диаметр), мкм	34,04	79,93

меняется влажность искусственного массива и его физические свойства, испытания проводились при различных состояниях образцов гидрозакладочного массива (гидрозакладочной смеси) – от воздушно-сухого в предельно рыхлом состоянии, до влажного (до 30%) в максимально плотном состоянии.

Количество добавляемой воды в образцы для достижения необходимой влажности рассчитывалось по формуле (ГОСТ 22733-2002):

$$Q_d = \frac{M_r \cdot (W - W_r)}{(1 + W_r)},$$

где Q_d – масса добавляемой воды, г; M_r – масса отобранной навески образца, г; W – влажность образца в долях единицы; $W_r = 0,01$ – гигроскопическая влажность образца в долях единицы.

Коэффициент фильтрации рассчитывался по формуле:

$$K_\phi = \frac{864 \cdot \frac{h}{T} \cdot \varphi\left(\frac{S}{h_0}\right)}{(0,7 + 0,03 \cdot t_{cp})},$$

где h – высота фильтрующего слоя песка, определяемая как разность между общей высотой фильтрационной трубки H_0 и расстоянием от верхнего торца трубки до поверхности грунта h , см; T – средняя продолжительность фильтрации, с; t_{cp} – температура воды, °C; $\varphi(S/h_0)$ – значение функции падения уровня воды, определяемое по таблице зависимости величины падения уровня воды от первоначального напора (ГОСТ 25584-90); S – падение уровня воды в водомерной трубке, см; h_0 – высота первоначального напора воды в приборе от его дна до нулевого деления водомерной трубки, равная 10 для градиента напора $I = 1$ или 20 для градиента напора $I = 2$.

Испытания проводились при разных градиентах напора I :

при $I = 1$ – когда мерный стакан заполнялся водой полностью;

при $I = 1,5$ – когда мерный стакан заполнялся водой наполовину;

при $I = 2$ – без мерного стакана (или без воды в мерном стакане).

Измерение длительности фильтрации при выбранных условиях проводились не менее 4-х раз, после чего рассчитывалось среднее значение.

Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Экспериментальные данные определения коэффициента фильтрации для гидросмеси, сгущенной флокулянтom Суперфлок А110 НМВ

Номер образца (влажность образца, %)	Параметры для расчета коэффициента фильтрации					Средний коэф- фициент фильт- рации, м/сут
	h	I	h_0	$\varphi(S/h_0)$	T	
4(1)	10,3	1	10	0,051	1517	0,21
		1,5	15	0,033	825	0,26
		2	20	0,025	630	0,25
1(2,3)	10,14	1	10	0,051	642	0,51
		1,5	15	0,033	352	0,61
		2	20	0,025	279	0,58
2(5)	9,7	1	10	0,051	607	0,52
		1,5	15	0,033	348	0,57
		2	20	0,025	258	0,58
3(10)	9,9	1	10	0,051	910	0,34
		1,5	15	0,033	490	0,42
		2	20	0,025	351	0,44
5(15)	9,85	1	10	0,051	1120	0,28
		1,5	15	0,033	615	0,33
		2	20	0,025	468	0,34
6(20)	10,45	1	10	0,051	1140	0,29
		1,5	15	0,033	672	0,323
		2	20	0,025	504	0,326
7(25)	9,5	1	10	0,051	980	0,321
		1,5	15	0,033	570	0,357
		2	20	0,025	450	0,342
8(30)	9,7	1	10	0,051	612	0,525
		1,5	15	0,033	372	0,558
		2	20	0,025	270	0,583

Таблица 3

Экспериментальные данные определения коэффициента фильтрации для гидросмеси, сгущенной флокулянтom Магнафлок 338

Номер образца (влажность образца, %)	Параметры для расчета коэффициента фильтрации					Средний коэффициент фильтрации, м/сут
	h	l	h_0	$\varphi(S/h_0)$	T	
1(1)	8,94	1	10	0,051	22 785	0,014
		1,5	15	0,033	13 480	0,016
		2	20	0,025	9795	0,016
2(5)	10,96	1	10	0,051	14 124	0,028
		1,5	15	0,033	7500	0,035
		2	20	0,025	5685	0,035
2*(5)	9,7	1	10	0,051	12 180	0,029
		1,5	15	0,033	7245	0,032
		2	20	0,025	5160	0,034
3(10)	8,7	1	10	0,051	13 608	0,023
		1,5	15	0,033	6570	0,031
		2	20	0,025	4908	0,038
4(15)	10,48	1	10	0,051	29 400	0,013
		1,5	15	0,033	12 330	0,020
		2	20	0,025	8494	0,022
5(20)	9,96	1	10	0,051	32 610	0,011
		1,5	15	0,033	19572	0,012
		2	20	0,025	15150	0,012
6(25)	9,0	1	10	0,051	29550	0,011
		1,5	15	0,033	15255	0,014
		2	20	0,025	10830	0,015
7(30)	9,85	1	10	0,051	19248	0,019
		1,5	15	0,033	10176	0,023
		2	20	0,025	7410	0,024

Изменения средних коэффициентов фильтрации K_f образцов гидрозакладочного массива, сформированных из отходов обогащения, сгущенных флокулянтom Магнафлок 338, от влажности W удовлетворительно аппроксимируется полиномиаль-

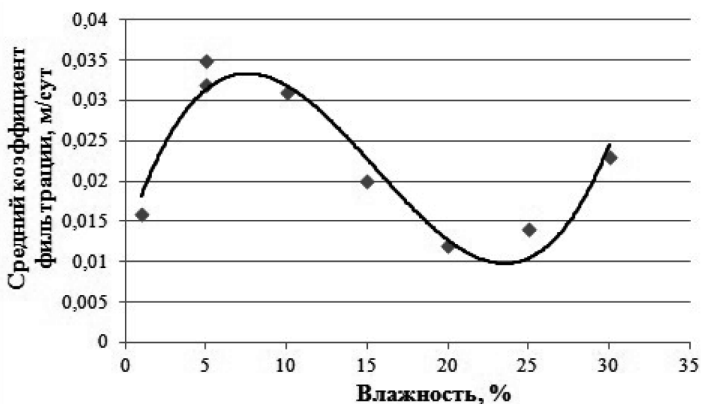


Рис. 1. График зависимости среднего коэффициента фильтрации образцов гидрозакладочного массива, сформированных из отходов обогащения, сгущенных флокулянтном Магнафлок 338, от их влажности

ными функциями третьего порядка при разных градиентах напора $I = 1; 1,5; 2$ соответственно:

$$K_{\phi} = 0,00001W^3 - 0,0004W^2 + 0,0043W + 0,0129;$$

$$K_{\phi} = 0,00001W^3 - 0,0005W^2 + 0,0062W + 0,0125;$$

$$K_{\phi} = 0,00001W^3 - 0,0005W^2 + 0,0067W + 0,0116.$$

Достоверности аппроксимации равны $R^2 = 0,85; 0,92; 0,83$ соответственно.

График зависимости при градиенте напора $I = 1,5$ приведен на рис. 1.

Изменения средних коэффициентов фильтрации K_{ϕ} образцов гидрозакладочного массива, сформированных из отходов обогащения, сгущенных флокулянтном Суперфлок А110 НМВ, от влажности W удовлетворительно аппроксимируется полиномиальными функциями пятого порядка при разных градиентах напора $I = 1; 1,5; 2$ соответственно:

$$K_{\phi} = 2 \cdot 10^{-6} W^5 - 0,0002W^4 + 0,0047W^3 - 0,0633W^2 + 0,3349W - 0,0363;$$

$$K_{\phi} = 2 \cdot 10^{-6} W^5 - 0,0002W^4 + 0,0046W^3 - 0,063W^2 + 0,3371W + 0,0264;$$

$$K_{\phi} = 2 \cdot 10^{-6} W^5 - 0,0001W^4 + 0,0045W^3 - 0,062W^2 + 0,3376W + 0,0065.$$

Достоверности аппроксимации равны $R^2 = 0,94; 0,88; 0,92$ соответственно.

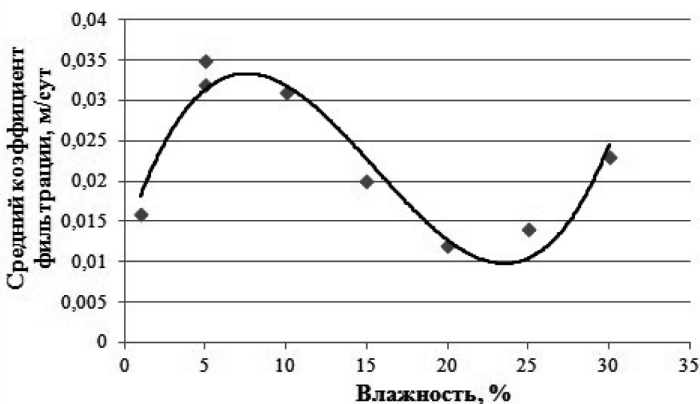


Рис. 2. График зависимости среднего коэффициента фильтрации образцов гидроакладочного массива, сформированных из отходов обогащения, сгущенных флокулянт Superflok A110 NMW, от их влажности

График зависимости при градиенте напора $I = 1$ приведен на рис. 2.

Анализ экспериментальных данных показывает, что несмотря на то, что оба флокулянта относятся к анионным (полиакриламид), они значительно отличаются по сохранению количества мелких фракций. Средний диаметр частиц отходов обогащения в гидросмесьях, сгущенных флокулянт Superflok A110 NMW в 2,3 раза больше, чем при сгущении флокулянт Магнафлок 338 (см. табл. 1). 90% частиц в первом случае имеют размер менее 173,5 мкм, в то же время 90% частиц во втором случае не превышают размер 71 мкм. Это повлияло на величину коэффициентов фильтрации гидроакладочных массивов, сформированных из сгущенных отходов обогащения. Максимальный коэффициент фильтрации при градиенте 1,5 для Superflok A110 NMW достигает значения 0,61 м/сут (см. табл. 2), тогда как аналогичный параметр для Магнафлок 338 при градиенте напора 2 не превышает значения 0,38 (см. табл. 3).

Это существенно влияет на выбор способа закрепления гидроакладочного массива. В случае сгущения отходов обогащения флокулянт Магнафлок 338 для закрепления массива подойдет только смолизация. Вариант с флокулянт Superflok A110 NMW допускает применение и смолизации и односторонней силикатизации.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что увеличение градиента напора с 1 до 2 на изменения

коэффициента фильтрации влияет незначительно. Следует отметить, что на величину коэффициента фильтрации оказывает способ его определения. Значения параметра, определенного с помощью прибора КФ-00М с трубкой КФ-1 (трубка СПЕЦ-ГЕО) значительно ниже величин коэффициента фильтрации, определенного в приборе СОЮЗДОРНИИ ПКФ-СД [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. Е. А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова. — М.: Стройиздат, 1985. — 480 с.

2. Смирнова Г. О., Голубев В. Г., Байдаков О. С., Комиссаров А. В., Жуковский А. Е. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве. — Новосибирск, 2012. — 75 с.

3. Справочник по общестроительным работам. Основания и фундаменты / Под общ. ред. М. И. Смородинова. — М.: Стройиздат, 1974. — 372 с.

4. Mackevičius Rimantas. Stabilization of fine alluvial sand with multi-molecular organic solutions. / Modern building materials, structures and techniques: The 10th International Conference (May 19–21, 2010, Vilnius, Lithuania). — Vilnius, 2010. pp. 1136–1140.

5. Peck R. B., Hanson W. E., Thornburn T. H. Foundation engineering. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1974. 514 p.

6. Леденев В. И., Матвеева И. В., Аленичева Е. В., Гиясова И. В. Организация и технология ремонтно-строительных работ при реконструкции и капитальном ремонте гражданских зданий. Ч. 1. Общие сведения. Восстановление и усиление оснований и фундаментов: учеб. пособие. — Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. — 100 с.

7. Mackevičius Rimantas. Strengthening of permeable soils by grouting with modified polymer resins / Environmental engineering: 8th International Conference (May 19–20, 2011, Vilnius, Lithuania). — Vilnius, 2011. pp. 1128–1132.

8. Ермолович Е. А. Влияние флокулянтов на свойства закладочной пульпы на основе отходов обогащения и прочность массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 3. — С. 266–269.

9. ГОСТ 25584-90 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. — М.: ФГУП Стандартинформ, 2008. — 18 с.

10. Ermolovich E. A., Izmes't'ev K. A., Kirilov A. N. Fine-dispersed and nano mineral particles in mining and metallurgical wastes after commercial and laboratory grinding. Journal of Mining Science. 2012. Vol. 48, no 1. pp. 188–194.

10. ГОСТ 22733-2002 Метод лабораторного определения максимальной плотности. — М.: ГУП ЦПП, 2002. — 22 с.

11. Лейзерович С. Г., Помельников И. И., Сидорчук В. В., Томаев В. К. Ресурсовоспроизводящая безотходная геотехнология комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии / Под ред. Д. Р. Каплунова. — М.: Горная книга, 2012. — 547 с.

12. *Ермолович Е.А., Донецкий С.В.* Исследование физических характеристик гидрозакладочного массива из отходов обогащения железистых кварцитов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 11 Международной конференции / Под общ. ред. Р.А. Ковалева. — Тула, ТулГУ, 2015. — С. 184–189. **ПЛАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Ермолович Е.А.*¹ — доктор технических наук, доцент, профессор, e-mail: elena.ermolovich@mail.ru,
*Донецкий С.В.*¹ — аспирант, e-mail: mysven@yandex.ru,
Ермолович О.В. — председатель наблюдательного совета, ООО «Торговый дом «Карина», e-mail: oleg.ermolovich@mail.ru,

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 10, pp. 201–211.

UDC

622.02:531;

622.3: 502.17

E.A. Ermolovich, S.V. Donetskiy, O.V. Ermolovich

EFFECT OF FLOCCULANTS ON THE CHOICE OF METHOD FOR STRENGTHENING OF HYDRAULIC FILLING MASS

The effect of flocculants Magnafloc 338 and Superfloc A110 HMW on the according to the physical characteristics (coefficient of filtration and granulometric parameters) of hydraulic filling solid mass formed from concentrated ferruginous quartzite beneficiation tailings is explored. Here is a method of determining the filtration coefficient. Here are the results of experimental investigations of changes in the values of the coefficient of filtration of hydraulic filling solid mass samples, based on ferruginous quartzite beneficiation tailings, thickened by mentioned flocculants, from the humidity in the range 1–30% at various pressure gradients (1; 1,5; 2). Filtration coefficient changes depending on humidity are extreme in nature and are well approximated by a polynomial function of the third and fifth order for flocculants Magnafloc 338 and Superfloc A110 HMW respectively. The reliability approximation is 0,83–0,94 for different pressure gradients. Increasing the pressure gradient of 1 to 2 almost does not change the coefficient of filtration. It is found that the average diameter of the particles in the hydraulic fluid beneficiation tailings thickened by the flocculant Superfloc A110 HMW 2,3 times greater than if it is thickened by flocculant Magnafloc 338. This determines the filtration coefficient difference of hydraulic filling masses formed from thickened beneficiation tailings. Maximum filtration coefficient when pressure gradient is 1,5 for Superfloc A110 HMW reaches a value of 0,61 m / day, the same parameter for Magnafloc 338 when pressure gradient is 2 does not exceed 0,38. This greatly influences the choice of the method of fixing hydraulic mass. You will need to use tarring for fixing the mass in the case of thickening beneficiation tailings by using flocculant Magnaflok 338. And in the case with flocculant Superfloc A110 HMW can be used tarring and silicification as well.

Key words: hydraulic filling, ferruginous quartzite beneficiation tailings, filtration coefficient, humidity, granulometric parameters, pressure gradient, flocculants, strengthening of mass.

AUTHORS

*Ermolovich E.A.*¹, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor, e-mail: elena.ermolovich@mail.ru,
*Donetskiy S.V.*¹, Graduate Student, e-mail: mysven@yandex.ru,
Ermolovich O.V., Vice Chairman of the Supervisory Board, LLC Trading House «Karina», 308000, Belgorod, Russia, e-mail: oleg.ermolovich@mail.ru,
¹ Belgorod State National Research University, 308015, Belgorod, Russia.

REFERENCES

1. *Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya*. Pod red. E.A. Sorochana, Yu. G. Trofimenkova (Footings, foundations and underground structures. Sorochan E.A., Trofimenkov Yu. G. (Eds.)), Moscow, Stroyizdat, 1985, 480 p.
2. Smirnova G. O., Golubev V. G., Baydakov O. S., Komissarov A. V., Zhukovskiy A. E. *Ukreplenie gruntov in "ekstsiionnymi metodami v stroitel'stve* (Injection reinforcement of soil in construction), Novosibirsk, 2012, 75 p.
3. Spravochnik po obshchestroitel'nyim rabotam. Osnovaniya i fundamenty. Pod red. M. I. Smorodina (Civil work manual. Footings and foundations. Smorodinov M. I. (Ed.)), Moscow, Stroyizdat, 1974, 372 p.
4. Mackevičius Rimantas. Stabilization of fine alluvial sand with multimolecular organic solutions. *Modern building materials, structures and techniques: 10th International Conference* (May 19–21, 2010, Vilnius, Lithuania). Vilnius, 2010. pp. 1136–1140.
5. Peck R. B., Hanson W. E., Thornburn T. H. *Foundation engineering*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1974. 514 p.
6. Ledenev V. I., Matveeva I. V., Alenicheva E. V., Giyasova I. V. *Organizatsiya i tekhnologiya remontno-stroitel'nykh rabot pri rekonstruktsii i kapital'nom remonte grazhdanskikh zdaniy*. Ch. 1. Obshchie svedeniya. Vosstanovlenie i usilenie osnovaniy i fundamentov: uchebnoe posobie (Management and technology of construction and repair work in reconstruction and major repairs of civic buildings. Part 1. General Information. Restoration and reinforcement of footings and foundations: Educational aid), Tambov, Izd-vo TGTU, 2006, 100 p.
7. Mackevičius Rimantas. Strengthening of permeable soils by grouting with modified polymer resins. *Environmental engineering: 8th International Conference* (May 19–20, 2011, Vilnius, Lithuania). Vilnius, 2011. pp. 1128–1132.
8. Ermolovich E. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 3, pp. 266–269.
9. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya koeffitsienta fil'tratsii GOST 25584-90* (Soil. Methods of laboratory determination of soil permeability. State Standart 25584-90), Moscow, Standartinform, 2008, 18 p.
10. Ermolovich E. A., Izmet'sev K. A., Kirilov A. N. Fine-dispersed and nano mineral particles in mining and metallurgical wastes after commercial and laboratory grinding. *Journal of Mining Science*. 2012. Vol. 48, no 1. pp. 188–194.
10. Metod laboratornogo opredeleniya maksimal'noy plotnosti. GOST 22733-2002 (Method of laboratory determination of maximum density. State Standart 22733-2002), Moscow, TsPP, 2002, 22 p.
11. Leyzerovich S. G., Pomel'nikov I. I., Sidorchuk V. V., Tomaev V. K. *Resurs-ovosproizvodnyashchaya bezokhodnaya geotekhnologiya kompleksnogo osvoeniya mestorozhdeniy Kurskoy magnitnoy anomalii*. Pod red. D. R. Kaplunova (Resource-reproducing non-waste geotechnology for complete mineral mining in the Kursk Magnetic Anomaly. Kaplunov D. R. (Ed.)), Moscow, Gornaya kniga, 2012, 547 p.
12. Ermolovich E. A., Donetskiy S. V. *Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki: materialy 11 Mezhdunarodnoy konferentsii* (Socio-economic and environmental issues in the mining industry, construction and power engineering: The 11th International Conference Proceedings), Tula, TulGU, 2015, pp. 184–189.