

ISSN 2500-0632 (on-line)



ГОРНЫЕ НАУКИ И

№4

ТЕХНОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСИС»

РОССИЯ, МОСКВА 2016 ГОД

ОГЛАВЛЕНИЕ

СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА

Активация отходов горного производства при выщелачивании металлов (ГОЛИК В.И.).....	3
Исследование процесса деформирования прибортового массива Качарского карьера на основе внедрения инновационных технологий (ХМЫРОВА Е.Н., БЕСИМБАЕВА О.Г., ОЛЕЙНИКОВА Е.А., ТОККУЖИН Е.А.).....	10
Интерпретация данных капиллярных исследований (РАТНИКОВ И.Б., ШУЛЬГА Р.С., РОМАНОВ Е.А.).....	24

ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Анализ условий электробезопасности системы TN (ЛЯХОМСКИЙ А.В., ПЕТРОВ Г.М., КУТЕПОВ А.Г.).....	40
Моделирование потребляемой мощности шаровой мельницы (КУЗНЕЦОВ Н. М., МОРОЗОВ И.Н.).....	50

ОБОГАЩЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (твердые полезные ископаемые) (ЕЖОВ А.И.).....	62
---	----



ГОЛИК В.И. (Северо-Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ)

АКТИВАЦИЯ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ МЕТАЛЛОВ

Дана справка об активации минералов в высокооборотистых механизмах. Описан процесс изменения энергетического состояния минералов в процессе механохимической активации в дезинтеграторе. Приведены сведения об эффективности обработки хвостов в сверхкритической барабанной мельнице с отражателем. Показано, что механоактивация хвостов позволяет существенно увеличить сквозное извлечение цинка, свинца и железа из некондиционного сырья, тем самым создавая условия для применения его в качестве строительных материалов. Предложена модель экономической оценки технологии утилизации хвостов.

Ключевые слова: хвосты переработки, дезинтегратор, механоактивация, металл, извлечение, закладочный материал.

Хвосты обогащения металлических руд являются ценным ресурсом, но утилизация их возможна только после извлечения оставшихся в них в результате технологического процесса после первичной переработки металлов [1–3].

Для объяснения феномена активации используют кинетические, структурные и другие представления. Глубокие изменения структуры веществ под действием больших нагрузок объясняют тем, что в результате фазовых переходов и химических превращений вещество превращается в смесь электронов и ионов, а в очагах высоких температур происходит термолиз, сопровождающийся физическими явлениями, такими как [4]:

- электризация вследствие разрыва электрического слоя;
- эмиссия электронов;
- образование свободных радикалов вследствие воздействия излучения;
- выделение газообразных продуктов.

Тонкое измельчение характеризуется избыточной энергией, разрывом химических связей, образованием точечных дефектов, дислокаций и т.п. По мере увеличения удельной поверхности усиливаются и физико-химические, и структурные изменения материала, которые определяются типом связи и структурой вещества, а также энергонасыщенностью процесса измельчения.

Активированные твердые вещества характеризуются термодинамической неустойчивостью вследствие нарушения стабильного расположения ионов, атомов, молекул и их группировок, в совокупности слагающих твердое тело. Минеральное тело характеризуется поверхностной энергией, или работой по перемещению внутренней частицы твердого тела на его поверхность. Частицы с избытком энергии формируют на поверхности твердого тела поверхностный слой, в котором энергия концентрируется. С увеличением твердости и дисперсности минералов поверхностная энергия возрастает.

Минимальная поверхностная энергия расходуется при диспергировании в жидких средах, содержащих поверхностно-активные вещества, а максимальная работа происходит при диспергировании в вакууме, в среде инертного газа или несмачивающей жидкости.

Скорость релаксации энергии возрастает с увеличением температуры, поэтому максимальное количество энергии аккумулируется при измельчении при низкой температуре.

К аппаратам ударного действия относятся дезинтеграторы, оснащенные двумя вращающимися встречно рабочими органами со стержнями-билами [5]. Измельчение и активация происходят одновременно вследствие многократных ударов бил по материалу.



Механоактивация осуществляется в рамках единого процесса с уменьшением крупности и усиливается за счет истирающего эффекта. Максимальный механохимический эффект обеспечивают активаторы с высокой частотой соударений мелющих тел.

Перспективным путем увеличения извлечения при выщелачивании является наращивание поверхностной энергии частиц обрабатываемого материала в процессе механоактивации.

Комбинированная активация в кислой среде при больших оборотах ротора в течение 60 мин увеличивает почти в два раза извлечение металлов из хвостов обогащения и металлургии.

Гидрометаллургический передел минерального сырья включает в себя сгущение продуктивных растворов, их химическую обработку, осаждение твердой фракции и извлечение металлов в химически чистом виде. Металлосодержащий конечный продукт содержит металлические и нерудные компоненты.

Активация минералов способствует повышению поверхностной активности частиц, что повышает прочность изделий и сокращает расход цемента. Активация клинкера позволяет снизить температуру обжига, что снижает расход энергии, продлевает срок службы обжиговых машин, улучшает прочность цементного камня и стойкость к агрессивным воздействиям среды. Материалы после механоактивации без ограничения по санитарным условиям пригодны для производства вяжущих веществ.

Механическая активация минеральных веществ позволяет получить новые материалы с совершенно другими свойствами, полезными при производстве строительных материалов. Так, при измельчении смеси кварца и соединений кальция получается новый минерал – силикальцит, который повышает прочность бетонных изделий за счет образования корки из силиката кальция.

При извлечении металлов из отходов обогащения и металлургии, активированных путем измельчения материала, растворы реагентов способствуют окислению полезных минералов с получением окислов металлов. Так, магнетит, содержащийся в руде цветных металлов, выделяют методом магнитной сепарации. Жидкая часть полученного вещества отделяется путем фильтрования, а из растворенных полисульфидов выделяют соединения серы. Немагнитный шлам используют для получения цветных металлов методами гидрометаллургии.

Активация сульфидных огарков в скоростной мельнице в присутствии водных растворов NaCl или NaOH увеличивает извлечение металлов на 9 %.

При обработке хвостов обогащения свинцово-цинковых руд соляной кислотой повышается концентрация ее в рабочем растворе, что увеличивает извлечение цинка (табл. 1).

Эффективность обработки хвостов повышается при выщелачивании хвостов в сверхкритической барабанной мельнице с отражателем. Результаты активации в течение 10 мин представлены в табл. 2–4.

Таблица 1

Извлечение цинка из хвостов обогащения без активации						
Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение цинка, %						
17	28	37	61	64	76	82



Таблица 2

Извлечение цинка						
Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение без активации, %						
8	17	26	30	36	39	42
Извлечение с активацией, %						
32	47	58	71	75	85	89

Таблица 3

Извлечение свинца						
Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение без активации, %						
20	31	42	47	53	56	60
Извлечение с активацией, %						
28	42	49	53	59	65	70

Таблица 4

Извлечение железа						
Концентрация соляной кислоты в рабочем растворе, %						
4	6	8	10	12	16	20
Извлечение без активации, %						
13	18	24	27	30	33	36
Извлечение с активацией, %						
26	43	53	62	71	76	80

Таблица 5

Партии	Гранулометрический состав активированных хвостов обогащения							
	Выход классов различной крупности, %							
	+1,0	+0,63	+0,4	+0,315	+0,20	+0,10	+0,05	-0,05
1	1,7	4,89	8,86	8,70	16,99	7,88	11,06	39,38
2	1,62	5,07	9,15	8,88	17,10	8,91	11,67	37,60
3	1,45	5,11	9,00	9,20	18,10	9,20	121,00	35,04
4	1,84	4,69	8,80	8,70	17,92	9,02	12,17	36,86
5	2,10	5,20	9,81	9,07	17,70	9,70	11,79	34,63
6	1,15	5,40	10,75	9,12	17,68	9,19	12,43	34,33
7	1,95	4,95	8,99	9,15	17,40	8,52	11,89	37,15
8	1,93	5,15	9,65	8,70	17,70	8,75	11,40	36,72
9	2,07	5,02	9,14	9,25	17,90	8,95	11,68	35,98
10	1,89	5,56	11,02	8,80	18,40	10,05	11,50	32,78
Ср.	1,77	5,09	9,52	8,96	17,68	9,02	11,81	36,16
Σγ, %	1,77	6,86	16,32	25,34	43,02	52,04	63,84	100,0

После активации в барабанной мельнице с отражателем крупность хвостов изменяется незначительно (табл. 5). Выход 40 % класса фракций $-0,050$ мм согласуется со значением удельной поверхности $1480-1640$ $\text{см}^2/\text{г}$. Прирост содержания мелких классов составил 6,8 % фракций $-0,050$ мм.

Подтверждается, что поверхностная энергия активированных частиц пропорциональна удельной поверхности частиц материала.

Механоактивация хвостов в высокоскоростных механизмах является основой для нетрадиционных схем переработки хвостов и забалансовых руд. Активация отвальных хвостов позволяет на 10–20 % увеличить сквозное извлечение цинка, свинца и железа из отходов, создавая условия для применения в качестве строительных и закладочных материалов (рис. 1).



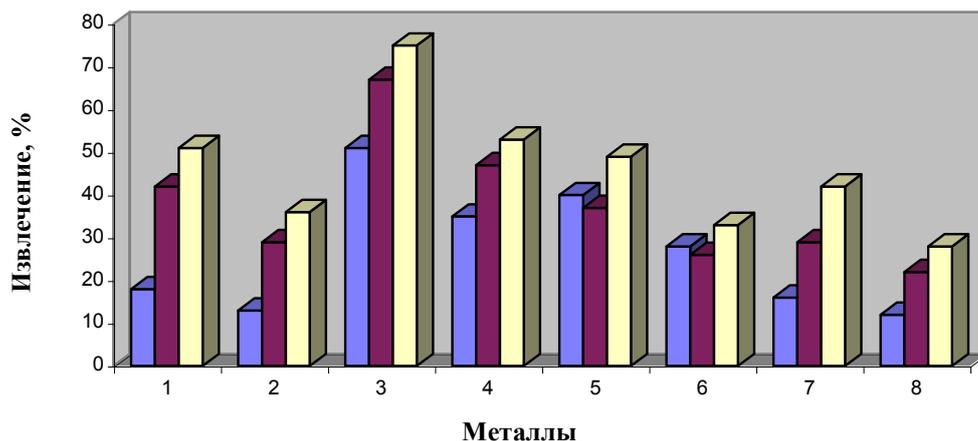


Рис. 1. Извлечение металлов в зависимости от способа активации: 1 – свинец из хвостов обогащения; 2 – свинец из хвостов металлургии; 3 – цинк из хвостов обогащения; 4 – цинк из хвостов металлургии; 5 – медь из хвостов обогащения; 6 – медь из хвостов металлургии; 7 – железо из хвостов обогащения; 8 – железо из хвостов металлургии. Первый столбец – орошение соляной кислотой; второй – анолитом; третий – анолит в дезинтеграторе

Эффект механоактивации хвостов повышается в присутствии раствора соляной кислоты с концентрацией 4–20%. Механоактивация в высокоскоростной барабанной мельнице увеличивает растворимость металлов в составе хвостов обогащения и уменьшает степень загрязнения агрессивными химикалиями окружающей среды (табл. 6).

Побочным эффектом механоактивации является увеличение прочности твердеющих смесей, изготовленных на основе католита маточных растворов (табл. 6) выщелачивания после их электрохимического разложения (рис. 2) [12, 13].

Эффективность технологий с выщелачиванием металлов и нейтрализация опасного для окружающей среды сырья определяется оценкой взаимодействия факторов [6–8]:

- реализация извлеченных из отходов переработки руд металлов;
- замена первичных минеральных ресурсов;
- сокращение затрат на складирование хвостов и содержание хранилищ;
- использование высвобожденных земель;
- предотвращение опасности воздействия на окружающую среду.

Годовая прибыль от переработки хвостов обогащения и металлургии с учетом экологического ущерба может быть определена решением модели:

$$\begin{aligned}
 \Pi_x = & \frac{\sum_{n_o} (C_{T.o} - Z_{o.o} - Z_{M.o}) \cdot Q_o}{t_o} + C_{ш}^o + \\
 & + \frac{\sum_{n_m} (C_{T.M} - Z_{o.M} - Z_{M.M}) \cdot Q_m}{t_m} + C_{ш}^M,
 \end{aligned}$$

где Π_x – годовая прибыль от переработки хвостов, руб/т; $C_{T.o}$ – стоимость реализации продукции переработки хвостов обогащения, руб/т; $Z_{o.o}$ – затраты на обогащение хвостов обогащения, руб/т; $Z_{M.o}$ – затраты на металлургический передел хвостов обогащения, руб/т; n_o – количество извлекаемых компонентов из хвостов обогащения; Q_o – масса хвостов обогащения, т; t_o – время переработки хвостов обогащения, год; $C_{ш}^o$ – штрафы за хранение хвостов обогащения, руб/год; $C_{T.M}$ – стоимость реализации продуктов переработки хвостов металлургии, руб/т; $Z_{o.M}$ – затраты на обогащение хвостов металлургии, руб/т;



Показатели комбинированной активации

Партии	Переведено в раствор								Прочность кубов, МПа		
	Цинк		Свинец		Медь		Железо		Сутки		
	г	%	г	%	г	%	г	%	14	28	90
Обработка соляной кислотой поливом (60 мин)											
1	130	44	27	27	81	36	135	25	1,4	1,64	1,83
2	125	53	19	18	66	39	116	12	1,4	1,84	2,02
3	126	47	23	26	60	42	126	19	1,5	1,78	2,12
4	120	50	25	20	70	40	120	15	1,4	1,7	1,99
5	101	54	24	14	55	38	120	11	1,6	1,98	2,29
6	104	50	31	13	61	45	105	10	1,3	1,8	2,26
Обработка анолитом поливом (60 мин)											
1	155	71	35	46	51	34	72	29	1,0	1,24	1,43
2	149	67	27	45	54	39	73	30	1,1	1,38	1,62
3	165	69	25	47	49	39	70	31	1,2	1,35	1,52
4	160	70	30	45	50	40	70	30	1,1	1,18	1,46
5	159	72	29	43	46	42	63	35	1,1	1,30	1,66
6	171	70	33	44	49	46	69	26	1,2	1,43	1,66
Обработка анолитом в дезинтеграторе (60 мин)											
1	186	79	39	53	66	46	82	43	1,3	1,54	1,73
2	190	76	37	54	64	50	78	45	1,4	1,64	1,82
3	185	81	41	53	65	48	82	42	1,4	1,7	2,12
4	171	83	40	56	70	47	84	39	1,2	1,5	1,8
5	183	86	45	52	60	49	81	41	1,6	1,9	2,2
6	184	80	43	50	64	48	82	42	1,3	1,7	2,16

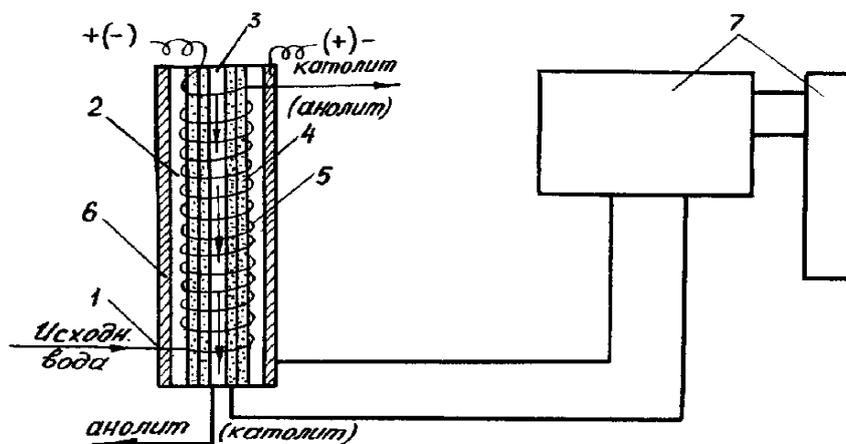


Рис. 2. Схема электрохимической переработки растворов выщелачивания: 1, 2 – катодная и анодная камеры; 3 – диафрагма; 4, 5 – катод и анод; 6 – выпрямитель; 7 – электрооборудование

$Z_{м.м}$ – затраты на металлургию хвостов металлургии, руб/т; n_m – количество извлекаемых компонентов из хвостов металлургии; Q_m – масса хвостов металлургии, т; t_m – время переработки хвостов металлургии, лет; $C_{ш}^м$ – штрафы за хранение хвостов металлургии, руб/год.

Продукты переработки хвостов обогащения полиметаллических руд:
 – промпродукты цинка и свинца с содержанием металлов 3–10 %;
 – концентраты цинка и свинца с содержанием металлов более 20 %;
 – пиритный концентрат с содержанием серы более 30 %;
 – титаномагнетитовый концентрат с содержанием оксидов титана более 30 %;



– железомарганцевый концентрат с содержанием марганца более 20 %;

– кварцевый флюс с содержанием меди от 0,3 до 2,0 %;

– калиброванный кварцевый песок для строительной индустрии, изготовления силикатного кирпича и низкотемпературного каменного литья;

– кварцево-полевошпатный песок для изготовления изделий из стекла пищевого и технического назначения, из художественного стекла и высокопрочных стекол;

– отмытая иловая фракция для изготовления чистящих и полировочных паст бытового и технического назначения, изделий из керамики и для буровых работ.

Энерго- и природосберегающие технологии способствуют решению ряда экономических и социальных проблем добывающих регионов при их вхождении в систему рынка [9–12].

Библиографический список

1. Голик В.И. Комашченко В. И., Дребенштедт К. Mechanochemical Activation of the Ore ind Coal Tailings in the Desintegrators//Mine Planning and Equipment Selection. – Springer International Publishing, Switzerland. – 2014. – P. 56-61.
 2. Franks, DM, Boger, DV, Côte, CM, Mulligan, DR. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes// Resources Policy. – 2011. –Vol. 36. – No. 2. – P. 114-122.
 3. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use//Metallurgical and Mining Industry. – 2015. –

№3. – P. 49-52.
 4. Хинт И.А. УДА- технология: проблемы и перспективы. – Таллин, 1981 г. – 76 с.
 5. Golik V.I., Stradanchenko S.G, Maslennikov S.A. Experimental Study Of Non-Waste Recycling Tailings Ferruginous Quartzite//Research India Publications. – №15 (2015). – P. 35410-35416.
 6. Комашченко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу// Известия Тульского государственного университета. – Науки о Земле. – 2016. – № 2. – С. 101-114.
 7. Комашченко В.И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. – Науки о Земле. – 2015. – № 4. – С. 23-30.
 8. Bian Zhengfu, Miao Xiexing, Shaogang Lei, Chen Shen-en, Wang Wenfeng, Struthers Sue. The challenges of reusing mining and mineral-processing wastes // Science. – 2012. – Vol. 337. – No. 6095. – P. 702-703.
 9. Packey D. J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization // Resour. Policy. – 2012. – T. 37. – No. 1. – P 104-108.
 10. Harris J. M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach. – M. E. Sharpe, Inc., Armonk, New York. – 2013. – P. 246.
 11. Рыльникова М.В. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России//Горный информационно-аналитический бюллетень. – Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2014. – Том 2. – С. 25-32.
 12. Ястребинский М.А. Разработка эколого-экономической классификации техногенных вторичных ресурсов, содержащих цветные, драгоценные металлы и редкоземельные элементы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №1. – С 78-84.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 4, pp. 3--8

Title:	ACTIVATION OF WASTE MINING PRODUCTION IN LEACHING OF METALS
Author 1	Name&Surname: Vladimir I. Golik Company: North Caucasian state technological university Adress: Russia, 62021, Republic of North Ossetia-Alania Vladikavkaz, Nikolaeva str., 44 Scientific Degree: Doctor of Technical Sciences Work Position: Professor of Department Mining Contacts: v.i.golik@mail.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2016-4-3-8
Abstract:	The certificate of activation of minerals in the high speed mechanisms is this. Process of change of an energy condition of minerals in the course of mechanochemical activation in a



	<p>disintegrator is described. Data on efficiency of handling of tails are provided in a supercritical drum mill with a reflector. It is shown that mechanoactivation of tails allows to increase significantly end-to-end extraction of zinc, lead and iron from substandard raw materials, thereby creating conditions for application it as construction materials. The model of an economic evaluation of technology of utilization of tails is offered.</p>
Keywords:	<p>Processing tails, disintegrator, mechanoactivation, metal, extraction, stowage material</p>
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Golik V.I. Komashhenko V. I., Drebenshtedt K. Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Desintegrators//Mine Planning and Equipment Selection. – Springer International Publishing, Switzerland. – 2014. – Pp. 56-61. 2. Franks, DM, Boger, DV, Côte, CM, Mulligan, DR. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes// Resources Policy. – 2011. –Vol. 36. – No. 2. – P. 114-122. 3. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use//Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №3. – P. 49-52. 4. Hint I.A. UDA- tehnologija: problemy i perspektivy. [<i>Removal technology: problems and prospects.</i>] – Tallinn, 1981 – 76 p. 5. Golik V.I., Stradanchenko S.G, Maslennikov S.A. Experimental Study Of Non-Waste Recycling Tailings Ferruginous Quartzite//Research India Publications. – №15 (2015). – Pp. 35410-35416. 6. Komashhenko V.I., Vasil'ev P.V., Maslennikov S.A. Tehnologijam podzemnoj razrabotki mestorozhdenij KMA – nadezhnuju syr'evuju osnovu [<i>Technology of underground mining KMA - reliable raw material base</i>] // Proceeding of the TSU. – Earth sciences. – 2016. – No. 2. – Pp. 101-114. 7. Komashhenko V.I. Jekologo-jekonomicheskaja celesoobraznost' utilizacii gornopromyshlennyh othodov s cel'ju ih pererabotki [<i>Ecological and economic feasibility of utilization of mining wastes for recycling</i>] // Proceeding of the TSU. – Науки о Земле. – 2015. – No. 4. – Pp. 23-30. 8. Bian Zhengfu, Miao Xiexing, Shaogang Lei, Chen Shen-en, Wang Wenfeng, Struthers Sue. The challenges of reusing mining and mineral-processing wastes // Science. – 2012. – Vol. 337. – No. 6095. – P. 702-703. 9. Packey D. J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization // Resour. Policy. – 2012. – T. 37. – No. 1. – P 104-108. 10. Harris J. M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach. –M. E. Sharpe, Inc., Armonk, New York. – 2013. – P. 246. 11. Rilnikova M.V. Uslovija ustojchivogo funkcionirovanija mineral'no-syr'evogo kompleksa Rossii [<i>Terms of stable functioning mineral feed complex of Russia</i>] // Mining informational and analytical bulletin – Individual articles (special issue). – 2014. – T. 2. – Pp. 25-32. 12. Jastrebinskij M.A. Razrabotka jekologo-jekonomicheskoy klassifikacii tehnogennyh vtorichnyh resursov, soderzhashhih cvetnye, dragocennye metally i redkozemel'nye jelementy [<i>Working out of ekologo-economic classification of the technogenic secondary resources containing color, precious metals and rare-earth elements</i>] // Mining informational and analytical bulletin. – 2013. – No. 1. – Pp. 78-84.



ХМЫРОВА Е.Н. (Карагандинский государственный технический университет (КарГТУ), г. Караганда, Казахстан)

БЕСИМБАЕВА О.Г. (Карагандинский государственный технический университет (КарГТУ), г. Караганда, Казахстан)

ОЛЕЙНИКОВА Е.А. (Карагандинский государственный технический университет (КарГТУ), г. Караганда, Казахстан)

ТОККУЖИН Е.А. (Акционерное общество Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное предприятие (АО ССГПО), г. Костанай, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА КАЧАРСКОГО КАРЬЕРА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Цель. Исследование устойчивости прибортовых массивов Качарского карьера, сложенных неоднородными, слоистыми, скальными и сильнотрещиноватыми горными породами путем разработки и совершенствования методики проведения инструментальных маркшейдерских наблюдений для предотвращения опасных деформаций и обеспечения безопасности при ведении горных работ.

Методика. Разработана система геотехнического мониторинга состояния горного массива на основе внедрения новых технологий с использованием спутниковых методов определения координат твердых точек, измерений величины деформаций высокоточным тахеометром по стационарным призмам в сочетании с лазерным геосканированием деформационного участка с созданием 3D модели массива.

Результаты. Установлено значительное снижение прочностных свойств горных пород, слагающих прибортовой массив, ослабление их структурных связей с увеличением влажности пород и их трещиноватости. Формирование оползневой призмы в этих условия обусловлено потерей устойчивости отдельных породных призм, оконтуренных с одной стороны поверхностью откоса, а с другой – одной или несколькими поверхностями ослабления (контактами пород). Проведенные комплексные наблюдения позволили определить скорость деформации и выявить контуры оползневой призмы. Скорость деформации оползня в зимнее время составила 12–14 мм в сутки, максимального значения достигло в весенний период и составило 19 мм в сутки.

Научная новизна. Научная новизна предложенного в работе метода – комплексные инструментальные наблюдения за состоянием горного массива с использованием высокоточных лазерных приборов и спутниковых систем с построением 3D модели массива.

Практическая значимость. Совершенствование методики инструментальных наблюдений за устойчивостью прибортовых и отвальных массивов на основе комплексного сочетания высокоточных измерений с использованием тахеометра TA1201 и лазерного сканера HDS 8800, которая позволяет определить скорость деформации, выявить границы оползневой призмы и создать модель деформируемого участка для разработки противооползневых мероприятий с целью повышения устойчивости горного массива.

Ключевые слова: деформация, прибортовой массив, горная порода, сканирование, тектоническое нарушение, трещиноватость, лазерное геосканирование, спутниковые технологии.

Постановка проблемы. Обеспечение безопасности при разработке рудных месторождений открытым способом в сложных геологических условиях на глубоких горизонтах требует рационального планирования ведения горных работ с учетом изменения физико-механических характеристик горных пород и проведения дополнительных гидрогеологических

изысканий [1–38]. Исследования показали, что для горных пород (метасоматитов), слагающих юго-западный борт Качарского месторождения, характерны процессы гипергенезиса. Температурные колебания поверхностных горизонтов горных пород, особенно сильное переохлаждение зимой, приводят к объемно-градиентному напряжению и образованию морозобойных



трещин, которые в дальнейшем разрабатываются замерзающей в них водой. В этих условиях выветривание связано главным образом с расклинивающим действием замерзающей воды в трещинах, и при выходе на поверхность метасамотиты оказываются малоустойчивыми и сильнотрещиноватыми.

Выделение нерешенной проблемы.

Устойчивость карьерных и отвальных откосов определяется двумя основными факторами: напряженным состоянием прибортового (отвального) массива и физико-механическими (прочностными) свойствами горных пород. При этом напряженное состояние определяет действующие нагрузки, а физико-механические свойства – прочность пород по потенциальной поверхности скольжения. Для предотвращения оползневых явлений на Качарском месторождении необходимо выполнить расчет устойчивости откосов с учетом измененных прочностных характеристик горных пород. Не допускается принимать в расчеты физико-механические свойства горных пород, в которых не учитывается временной фактор.

Анализ последних исследований.

Обеспечением устойчивости карьерных откосов занимаются ряд научно-исследовательских и проектных институтов в Республике Казахстан: ИГД им. Д.А. Кунаева, Головной проектный институт ТОО «Корпорация Казахмыс», ВНИИцветмет, научно-исследовательские лаборатории высших учебных заведений (КазНТУ им. К.И. Сатпаева, КарГТУ, ВКГТУ им. Д. Серикбаева); в Российской Федерации: ВИОГЕМ, Горный институт НИТУ «МИСиС», УГГУ, СПбГГУ на базе ВНИМИ, ИГД им. А.А. Скочинского и др.

Современный этап развития открытых разработок месторождений полезных ископаемых в Казахстане характеризуется увеличением их глубины до 500 м и выше, модернизацией технических средств и интенсификацией горного производства. В

этих условиях возникает острая необходимость в создании полномасштабного маркшейдерского геомеханического мониторинга состояния прибортовых массивов глубоких карьеров с корректировочной оценкой их устойчивости, учитывающей фактическое положение горных работ, уточненные значения прочностных характеристик горных пород и структурных особенностей прибортовых массивов.

Формулирование цели работы.

Проведенный анализ способов наблюдений и расчетов устойчивости техногенных сооружений показывает, что исследования в этой области позволили разработать и внедрить в практику надежные инженерные методы расчета устойчивости прибортовых массивов. Однако, несмотря на достаточно большой объем работ по оценке их устойчивости, не полностью рассмотрены вопросы учета изменяющихся во времени физико-механических свойств горных пород, геометрических параметров сооружения, неполный учет влияния их обводненности и тектонической нарушенности на устойчивость прибортовых массивов. В соответствии с вышеизложенным целью работы является прогнозирование состояния устойчивости прибортовых массивов путем совершенствования методики проведения инструментальных маркшейдерских наблюдений, выполнения расчетов устойчивости откосов с учетом изменившихся физико-механических свойств горных пород для предотвращения опасных деформаций и обеспечения их безопасной эксплуатации.

Изложение основного материала.

Наиболее опасными видами деформаций бортов карьеров и откосов уступов, нарушающими нормальный технологический процесс, приводящими к потерям готовых к выемке запасов полезного ископаемого и представляющих опасность для работающих в разрезе людей и техники, являются обрушения и оползни.



Возможные наличия в прибортовом массиве поверхностей ослабления в виде отдельных трещин большого протяжения, поверхностей сместителей тектонических нарушений, контактов слоистости пород, не выявленных при разведке месторождения, способны резко ухудшить устойчивое состояние откосов. Это связано с тем, что при значительной прочности куска породы сдвиговые характеристики трещиноватого массива всегда в несколько раз меньше и ещё ниже сопротивляемость сдвигу по поверхностям ослаблений. Поэтому управление устойчивостью карьерных откосов в трещиноватых массивах – задача, требующая своего решения в каждом конкретном случае. От ориентировки поверхностей ослабления в массиве относительно поверхности откоса зависят положение и форма поверхностей скольжения [42].

На деформируемом участке откосы уступов юго-западного борта Качарского карьера с горизонта –30 м сложены сильнотрещиноватыми и ослабленными процессами выветривания метасоматитами, которые к тому же находятся в зоне влияния водоносного горизонта. Характер процесса деформирования данного участка борта карьера показал, что в апреле 2012 г. появились первые деформации на транспортной берме горизонта –30 м, которые представляли собой оползень в районе разреза XXIII, охвативший два уступа.

После проведения противооползневых мероприятий процесс деформирования стабилизировался. В дальнейшем решении по развитию транспортных коммуникаций карьера были выполнены работы по строительству на горизонте –30 м на западном борту карьера дробильного комплекса и конвейерной линии для транспортировки горной массы на поверхность. Работы по возведению железобетонных конструкций привели к увеличению нагрузки на

оползневом участке, а также трещиноватость горного массива, процессов выветривания и увлажнения повлияли на снижение прочностных свойств горных пород и на сопротивляемость пород сдвигу по поверхностям ослаблений. Вследствие вышеуказанных причин, в октябре 2015 г. возобновился процесс деформирования на том же участке, что и в 2012 г., со скоростью смещения оползня более 10 мм в сутки. Для наблюдений за состоянием деформируемого участка еженедельно проводились инструментальные измерения по стационарным призмам, установленным по границам оползня на горизонтах: –30,0 м и –95,0 м с использованием высокоточной электронной съемки, а также были выполнены три цикла лазерного геосканирования исследуемого участка, последнее из которых было выполнено в мае 2016 г.

На геологическом разрезе XXIII и на локальных разрезах, построенных на оползневом участке, прослеживается наличие потенциальной поверхности скольжения, которая проходит по контакту метасоматитов и рудного тела (рис. 2, 3).

Установлено значительное снижение прочностных характеристик метасоматитов во времени и ослабление их структурных связей при увеличении влажности пород и их трещиноватости, что приводит к потере устойчивости пород в откосах и является существенным фактором развития оползней различных типов.

Инструментальные наблюдения, проведенные электронным тахеометром и лазерным сканером с апреля по сентябрь 2016 г., показали характер процесса деформирования и увеличение интенсивности процесса деформации горного массива на оползневом участке [39].

Результаты наблюдений электронным тахеометром представлены в табл. 1, 2.



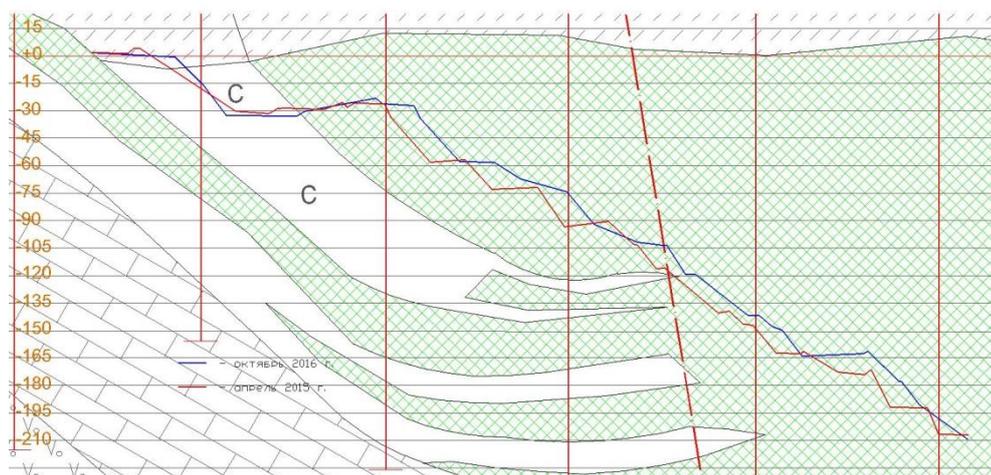


Рис. 2. Геологический разрез по линии XXIII

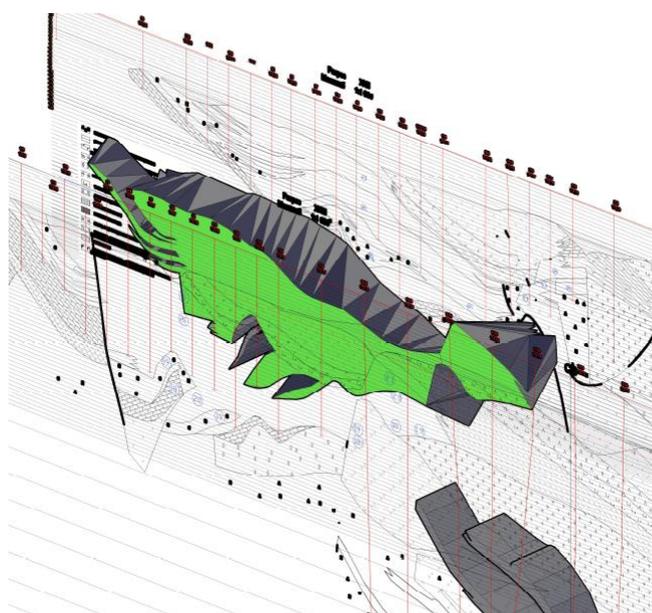


Рис. 3 Построение 3D модели для выделения горных пород с низкими прочностными характеристиками и рудного тела в пространственных координатах

Таблица 1

Результаты инструментальных наблюдений по границам оползневой блока Качарский карьер.
Юго-западный борт, гор -30м

№ стационарной призмы	Разность от предыдущего цикла измерений (м)						Разность от начального цикла измерений: 05.11.15 г–10.10.16 г. (м)			
	ΔX	ΔY	ΔH	$\Delta H/\text{сутк и}$	ΔL	$\Delta L/\text{сутки}$	ΔX	ΔY	ΔH	ΔL
1	-0,011	0,059	-0,003	-0,003	0,060	0,060	0,209	1,809	-1,733	1,821
2	-0,008	0,051	0,004	0,004	0,052	0,052	0,202	1,499	-1,115	1,513
3	-0,013	0,036	0,006	0,006	0,038	0,038	1,093	1,070	-1,949	1,530
4	0,002	0,048	0,000	0,000	0,048	0,048	0,778	0,329	-1,359	0,845
5	0,002	0,073	0,001	0,001	0,073	0,073	0,102	0,863	-0,861	0,869
6	0,001	0,054	-0,001	-0,001	0,054	0,054	-0,009	0,064	-0,028	0,065
7	0,004	0,056	-0,009	-0,009	0,056	0,056	0,737	0,564	-2,770	0,928
8	-0,001	0,044	0,006	0,006	0,044	0,044	0,008	0,054	-0,009	0,055
9	-0,009	0,061	0,005	0,005	0,062	0,062	-0,047	0,009	-0,083	0,048
10	-0,011	0,058	0,012	0,012	0,059	0,059	-0,065	0,099	-0,248	0,118
11	0,013	-0,040	-0,014	-0,014	0,042	0,042	-0,007	-0,050	-0,014	0,050

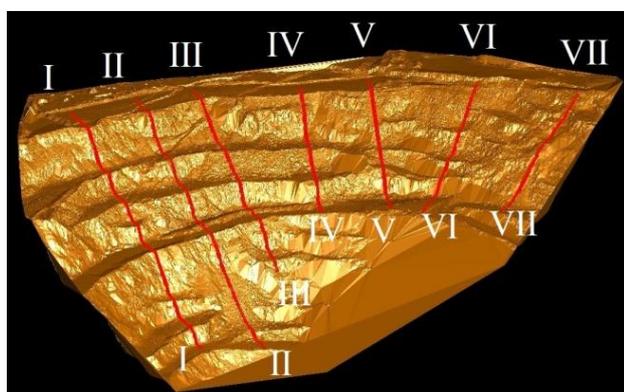
Результаты инструментальных наблюдений по границам оползневого блока Качарский карьер. Юго-западный борт, гор -95м

№ стационарной призмы	Разность от предыдущего цикла измерений (м)						Разность от начального цикла измерений: 05.11.15г-10.10.16г.(м)			
	ΔX	ΔY	ΔH	$\frac{\Delta H}{\text{сутки}}$	ΔL	$\frac{\Delta L}{\text{сутки}}$	ΔX	ΔY	ΔH	ΔL
1	-0,009	0,022	0,002	0,001	0,023	0,012	-0,199	3,225	0,221	3,231
2	0,003	0,036	-0,007	-0,003	0,036	0,018	0,126	3,483	-0,196	3,485
3	0,003	0,021	-0,015	-0,008	0,021	0,011	0,521	2,324	-1,274	2,382
4	-0,009	0,009	-0,010	-0,005	0,013	0,006	-0,058	2,594	-1,053	2,594
5	-0,008	0,007	-0,009	-0,004	0,010	0,005	0,321	2,674	-1,007	2,694
6	-0,003	0,007	0,004	0,002	0,008	0,004	0,709	2,858	0,025	2,945
7	0,002	0,026	-0,001	0,000	0,026	0,013	0,480	3,192	-0,006	3,228
8	0,011	0,025	-0,005	-0,003	0,028	0,014	0,246	0,616	-0,050	0,663
9	-0,002	-0,010	-0,009	-0,005	0,010	0,005	0,017	0,013	0,003	0,022
10	-0,004	0,025	-0,004	-0,002	0,026	0,013	0,004	1,130	-0,336	1,130
11	-0,004	-0,005	-0,003	-0,001	0,006	0,003	0,003	0,007	-0,010	0,008
12	-0,009	0,005	-0,012	-0,006	0,010	0,005	0,055	2,618	-1,287	2,619
13	-0,003	0,009	-0,002	-0,001	0,009	0,005	0,328	1,189	-0,031	1,233
14	-0,004	0,001	-0,006	-0,003	0,004	0,002	0,323	1,031	-0,147	1,081
15	-0,001	0,022	0,003	0,001	0,022	0,011	0,039	0,183	-0,009	0,188

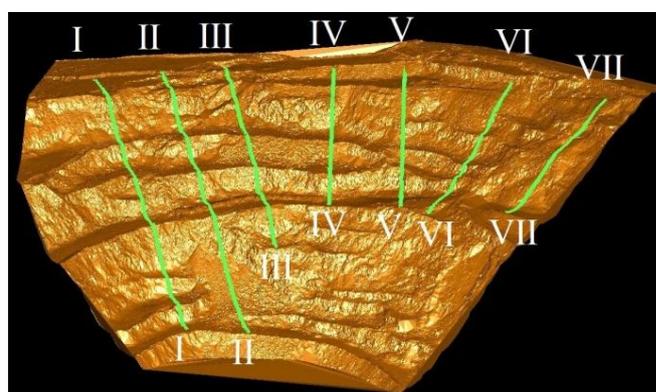
Для получения полной картины механизма деформирования оползня была внедрена технология лазерного геосканирования, которая позволяет отследить изменения и структуру целостности массива, с помощью программного обеспечения построить 3D модели массива.

Результаты лазерного геосканирования представлены в виде 3D модели исследуемого участка с VII сечениями в период с ноября 2015 г. по май 2016 г. (рис. 4) [40].

Наблюдения по поперечным сечениям показали, что значительные смещения происходят по второй, третьей и четвертой линиям (рис. 5).

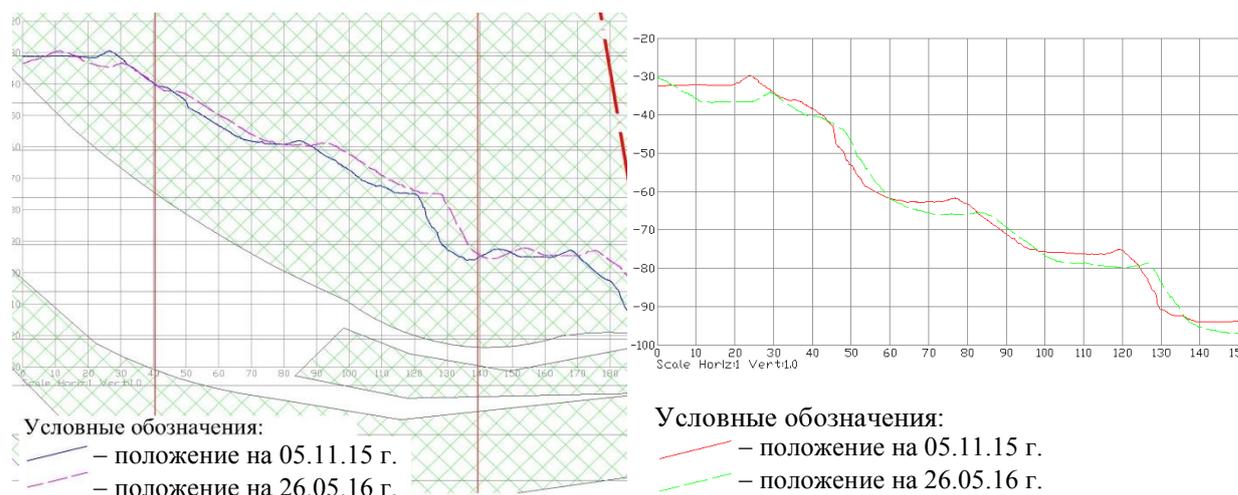


Результаты сканирования 05.11.15 г.



Результаты сканирования 26.05.16 г.

Рис. 4. 3D модель оползневого участка



Продольный профиль оползневого участка по сечению III-III

Продольный профиль оползневого участка по сечению IV-IV

Рис. 5. Сечения, построенные на оползневом участке по результатам обработки лазерного

Величина и направление вертикальных и горизонтальных смещений позволили сделать вывод о том, что образование трещин отрыва на транспортной берме горизонта -30 м привело к деформированию оползневой призмы и оползанию массива, например, оползневые процессы зафиксированы по линии II с горизонта -30 м по горизонт -141 м. На плане (рис. 6) юго-западного участка карьера показаны трещины, оконтуривающие оползневую призму по простираению красным цветом. Проведенные в дальнейшем исследования оползневой участка методом лазерного сканирования, анализа физико-механических свойств горных пород, наличия поверхностей ослабления позволили выявить наличие микротрещин отрыва на плане горных работ с корректировкой контура зоны деформирования горного массива, которая выделена зеленой линией (рис. 6).

При прогнозировании развития оползней откосов уступов во времени необходимо принимать во внимание, что при нарастании скорости смещений возможно также развитие оконтуривающей оползень трещины отрыва на флангах оползня (активная стадия оползня наступает при его полном оконтуривании трещиной отрыва на флангах).

По результатам систематических наблюдений с использованием высокоточных электронного тахеометра TA 1202 и горного сканера HDS 8800 фирмы Leica установлено увеличение скорости смещения до 17 мм в сутки в его центральной части и развитие трещин отрыва по флангам оползня. Формирование трещин отрыва зависит о наличия возможных контактов ослабления, структурных особенностей массива, физико-механических характеристик горных пород, инженерно-геологических и горнотехнических условий.

Инструментальные наблюдения, проведенные электронным тахеометром и лазерным сканером с апреля по сентябрь 2016 г., показали характер процессе деформирования и увеличение интенсивности процесса деформации горного массива на оползневом участке [39].

Анализ результатов исследований по инженерно-гидрогеологическим изысканиям и данных инструментальных наблюдений на основе внедрения инновационных технологий позволил спрогнозировать развитие деформаций и принять меры по предотвращению аварийной ситуации (рис. 7).



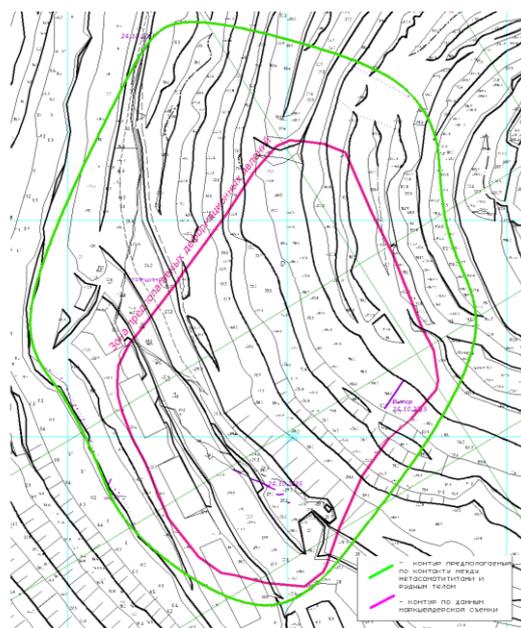


Рис. 6. План горных работ масштаба 1:500 с предполагаемыми контурами оползневой призмы



Рис. 7. Линия отрыва с оседанием площадки более 5 м на горизонте –30,0 м

Выводы и перспективы развития направления.

При разработке глубоких карьеров нередко возникают ситуации связанные с ошибками проектирования, не работает в полной мере дренажная система, не ведутся гидрогеологические изыскания в период эксплуатации, в то время как внедряется крупногабаритная и тяжелая техника с грузоподъемностью более 200 т,

не учитываются реологические свойства горных пород и напряженно-деформированное состояние массива. Все это приводит к неустойчивому положению бровок откоса, транспортных берм и рабочих площадок и способствует развитию оползней, обрушений и даже аварийной ситуации в карьере.

Одним из перспективных направлений в развитии горной геомеханики является



изучение механического поведения горных пород на больших глубинах на основе внедрения инновационных технологий с применением наземных, спутниковых и космических технологий с прогнозированием безопасности ведения горных работ.

Библиографический список

1. Akdag, S., Basarir, H., Karpuz, C., Ozyurt, M. Stability analysis and optimized slope angle for the iron ore open-pit mine (2015) Proceedings of the 24th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2015, pp. 606-611. Cited 1 time.
2. Allasia, P., Giordan, D., Lollino, G., Cravero, M., Iabichino, G., Bianchi, N.W., Monticelli, F. Monitoring and computations on a landslide in an open pit mine. 43rd U.S. Rock Mechanics Symposium and 4th U.S.-Canada Rock Mechanics Symposium, 2010.
3. Bednarczyk, Z. Slope instabilities in Polish open-pit mines (2016) Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice, 2, pp. 371-379.
4. Bieniawski, Z.T. Engineering classification of jointed rock masses. Civ Eng S Afr, 1973, № 15 (12), pp. 335-343.
5. Bieniawski, Z.T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. 1989 Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering, 1989. 264 p.
6. Bo, L., Peng, Z., Jianwei, Z. Analysis on slope stability of open pit coal mine based on grey support vector machine (2016) International Journal of Smart Home, 10 (9), pp. 169-178. DOI: 10.14257/ijsh.2016.10.9.16
7. Cammack, R. Developing an engineering geological model in the fractured and brecciated rocks of a copper porphyry deposit (2016) Geological Society Engineering Geology Special Publication, 27 (1), pp. 93-100. Cited 1 time. DOI: 10.1144/EGSP27.8
8. Cao, H., Hu, J.J., Wu, P. The analysis of slope stability and optimized slope angle for the open-pit mining of a porphyry copper mine. Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation - Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics, 2014, pp. 469-473.
9. Cao, L., Qi, L., Wang, D., Li, Y., Song, Z. Stability research of combination slope with fault in open-pit mine (2016) Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 35

- (8), pp. 804-809. DOI: 10.11956/j.issn.1008-0562.2016.08.004
10. Cao, L., Wang, M., Wang, D., Song, Z. Slip mode and stability of anti-dip stratified slope of open pit mine (2015) Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 34 (2), pp. 170-174. Cited 1 time. DOI: 10.11956/j.issn.1008-0562.2015.02.006
11. Capdeville-Pérez, F. Building a rock mass model for a large open pit. 49th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2015, 2015, №4, pp. 2556-2564.
12. Contreras, L.F. An economic risk evaluation approach for pit slope optimization (2015) Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 115 (7), pp. 607-622. DOI: 10.17159/2411-9717/2015/v115n7a7
13. Cui, T., Ma, Y., Wang, L. Simulation of earthquake stability for open-pit coal mine slope and treatment research (2016) Yingyong Lixue Xuebao/Chinese Journal of Applied Mechanics, 33 (2), pp. 339-344. DOI: 10.11776/cjam.33.02.B158
14. Ding, X.-P., Wang, Z.-W., Li, W. Dynamic process and typical deformation-failure mechanism of mining slope Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society, 2016, 41 (10), pp. 2606-2611. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2015.1991
15. Duran, F.I., Diederichs, M.S., Hutchinson, D.J. A numerical analysis of stress path and rock mass damage in open pit rock slopes. 48th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2014, 2014, № 3, pp. 1750-1758.
16. Eivazy, H., Esmaili, K., Jean, R., Albor, F. Application of 3D geotechnical block models in design of open pit mines - A case study at mont wright open pit mine. Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry - Proceedings of the 37th International Symposium, APCOM 2015, 2015, pp. 401-410.
17. Gadri, L., Hadji, R., Zahri, F., Benghazi, Z., Boumezbeur, A., Laid, B.M., Raïs, K. The quarries edges stability in opencast mines: a case study of the Jebel Onk phosphate mine, NE Algeria Arabian Journal of Geosciences, 2015, №8 (11), pp. 8987-8997. DOI: 10.1007/s12517-015-1887-3
18. González-Nicieza, C., Álvarez-Fernández, M.I., Mora, O., Amor-Herrera, E. Back analysis and radar interferometry monitoring in a large open pit slope. Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses - Proceedings of EUROCK 2014, 2014, ISRM European Regional Symposium, pp. 925-930.
19. Han, G., Cui, T., Ma, Y., Wang, L. Research on the phenomenon and failure process simulation of open-pit slope in coal spontaneous combustion (2016) Yingyong Lixue Xuebao/Chinese Journal of Applied



- Mechanics, 33 (3), pp. 535-540. DOI: 10.11776/cjam.33.03.B004
20. Hu, J.J., Yu, B., Zheng, L., Wu, P. Technology for reducing boulder yield of blasting in fracture developed rock of an open-pit mine. *Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation - Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics*, 2014, pp. 635-638.
21. Jhanwar, J.C. A classification system for the slope stability assessment of opencast coal mines in central India. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2012. № 45 (4), pp. 631-637. DOI: 10.1007/s00603-012-0223-4
22. Laubscher, D.H. Geomechanics classification of jointed rock masses - mining applications. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*, (1977), № 86, pp. a1-a8.
23. Li, W.-X., Qi, D.-L., Zheng, S.-F., Ren, J.-C., Li, J.-F., Yin, X. Fuzzy mathematics model and its numerical method of stability analysis on rock slope of opencast metal mine (2015) *Applied Mathematical Modelling*, 39 (7), pp. 1784-1793. Cited 4 times. DOI: 10.1016/j.apm.2014.10.006
24. Madowe, A. Design and implementation of steeper slope angles on a kimberlite open pit diamond operation-A practical approach (2016) *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116 (8), pp. 723-730. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n8a3
25. Maihemuti, B., Wang, E., Hudan, T., Xu, Q. Numerical simulation analysis of reservoir bank fractured rock-slope deformation and failure processes (2016) *International Journal of Geomechanics*, 16 (2), art. no. 04015058. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000533
26. Nie, L., Li, Z., Lv, Y., Wang, H. A new prediction model for rock slope failure time: a case study in West Open-Pit mine, Fushun, China (2016) *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, pp. 1-14. Article in Press. DOI: 10.1007/s10064-016-0900-8
27. Peng, C., Guo, Q.S., Zhang, Z.C., Zhao, L., Yan, Z.X. Study on ultimate slope angle optimization and stability analysis of slopes in an open-pit mine *Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation - Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics*, 2014, pp. 435-438.
28. Rakishev, B.R., Seituly, K., Kovrov, O.S. Physical modeling geomechanical stability of open-cast slopes and internal overburden dumps (2015) *Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation - Proceedings of the Beijing International Symposium Land Reclamation and Ecological Restoration, LRER* 2014, pp. 583-588.
29. Ren, G.-F., Fang, X.-K. Study on the law of mining damage with the combination of underground mining and open-pit mining. 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, iCBBE 2010, 2010, art. no. 5516877. DOI: 10.1109/ICBBE.2010.5516877
30. Salvoni, M., Dight, P.M. Rock damage assessment in a large unstable slope from microseismic monitoring - MMG Century mine (Queensland, Australia) case study (2016) *Engineering Geology*, 210, pp. 45-56. DOI: 10.1016/j.enggeo.2016.06.002
31. Sasaoka, T., Shimada, H., Matsui, K., Takamoto, H. Geotechnical considerations in highwall mining applications in Indonesia. *Proceedings - 29th International Conference on Ground Control in Mining, ICGCM*, 2010, pp. 312-317.
32. Stead, D. The Influence of Shales on Slope Instability (2016) *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49 (2), pp. 635-651. DOI: 10.1007/s00603-015-0865-0
33. Tamburini, A., Martelli, D.C.G., Alberto, W., Villa, F. Geomechanical rock mass characterization with Terrestrial Laser Scanning and UAV. 49th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2015, 2015, №3, pp. 1813-1819.
34. Tan, W., Kulatilake, P.H.S.W., Sun, H., Sun, Z. Effect of faults on in-situ stress state in an open-pit mine *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2014, №19 (Z1), pp. 9597-9629.
35. Wen, L., Li, X., Su, W. Study of physico-mechanical characteristics of slope hard rocks of metal mine influenced by freeze-thaw cycles (2015) *Caikuang yu Anquan Gongcheng Xuebao/Journal of Mining and Safety Engineering*, 32 (4), pp. 689-696. DOI: 10.13545/j.cnki.jmse.2015.04.027
36. Wines, D. A comparison of slope stability analyses in two and three dimensions (2016) *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116 (5), pp. 399-406. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n5a5
37. Xu, G., Xiong, D., Duan, Y., Cao, X. Open pit slope deformation monitoring by fiber Bragg grating sensors (2015) *Optical Engineering*, 54 (1), art. no. 011003. DOI: 10.1117/1.OE.54.1.011003
38. Zhong, W., Wang, X., Liu, L., Zhao, K., Tan, Z. Rock mass structures and weathering characterization of weathered slope in an open-pit mine (2015) *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20 (13), pp. 5223-5234.
39. Бесимбаева О.Г. Анализ точности инструментальных наблюдений / [Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Бесимбаев Н.Г.] // Журнал Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – Москва, 2014. – № 4. – С.15-20.
40. Бесимбаева О.Г. Решение горно-геометрических задач с использованием программ



3D моделирования на месторождениях Казахстана / [Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Олейникова Е.А. и др.] // XI Международный научный конгресс: «Интерэкспо Гео-Сибирь. – Новосибирск, 2015. – Сб. материалов Т2. – С.175-180.

41. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и

разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – СПб, ВНИМИ, 1998г.

42. Низаметдинов Ф.К. Состояние и перспективы развития геометрического обеспечения открытых горных работ / [Хмырова Е.Н., Ожигин С.Г., Низаметдинов Ф.К., и др.] // XV International ISM Congress (Deutscher Markscheider-Verein e.V.-DMV – Aachen, 2013. – Сб. материалов – С.338-349.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 4, pp. 10-20	
Title:	RESEARCH OF PROCESS OF DEFORMATION OF PREBOARD OF ARRAY OF KACHARSKIY QUARRY ON BASIS OF INTRODUCTION INNOVATIVE TECHNOLOGIES
Author 1	Name&Surname: Elena N. Khmyrova Company: Karaganda state technical University (KSTU) Adress: Republic of Kazakhstan, 100020, Karaganda city, Pavluchenko street, 26 Scientific Degree: Candidate of technical Sciences Work Position: associate Professor Contacts: hmyrovae@mail.ru
Author 2	Name&Surname: Olga G. Bessimbaeva Company: Karaganda state technical University (KSTU) Adress: Republic of Kazakhstan, 100024, Karaganda, Republic Ave 18, apt 155 Scientific Degree: Candidate of technical Sciences Work Position: associate Professor Contacts: bog250456@mail.ru
Author 3	Name&Surname: Elena A. Oleinikova Company: Karaganda state technical University (KSTU) Adress: Republic of Kazakhstan, 101201, Saran, St., 57 Scientific Degree: master of technical Sciences Work Position: Senior lecturer Contacts: panasenkoelena@mail.ru
Author 4	Name&Surname: Ermek N. Tokkujin Company: JSC Sokolov-Sarbai ore-dressing PREDPRIYATIE (AO SSGPO) Adress: Republic of Kazakhstan, 110001, Kostanay, Naberezhnaya St., building 143, room 12 Scientific Degree: Master of technical Sciences Work Position: senior specialist, mining engineer-surveyor Contacts: ermek_t@mail.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2016-4-10-20
Abstract:	<p>Purpose. Research of stability of preboard arrays of kacharskiy quarry, build heterogeneous, stratified, rocky and strongly cracked mountain breeds by development and perfection of methodology of realization of instrumental surveyor supervisions for prevention of dangerous deformations and providing of safety at the conduct of mountain works.</p> <p>Methodology. The system of the geotechnical monitoring of the state of mountain range is worked out on the basis of introduction of NT with the use of satellite methods of determination of coordinates of hard points, measuring of size of deformations high-fidelity тахеометром on stationary prisms in combination with laser geoscanner of deformation area with creation 3 D of model of array.</p> <p>Findigs. The considerable decline of durable properties of mountain breeds composing a preboard array is set, weakening of their structural connections with increase of humidity of breeds and their cracking. Forming of landslide prism in these the terms contingently the loss of stability of separate pedigree prisms contoured from one side the surface of slope, and from other - by one or a few surfaces of weakening (by the contacts of breeds). The conducted complex supervisions allowed to define speed of deformation and educe the contours of landslide prism. Speed of deformation of landslide in winter time was made by a</p>



	<p>12-14 mm in twenty-four hours, a maximal value attained in a spring period and made a 19 mm in twenty-four hours.</p> <p>Originality. A scientific novelty of an offer in-process method is the complex instrumental watching the state of mountain range with the use of high-fidelity laser devices and satellite systems with a construction 3 D of model of array.</p> <p>Practical value. Perfection of methodology of the instrumental watching stability of preboard and dump arrays on the basis of complex combination of the high-fidelity measuring with the use of tacheometer of TA1201 and laser scintiscanner of HDS 8800, that allows to define speed of deformation, educe the borders of landslide prism and create the model of the deformed area for development of antilandslide events with the purpose of increase of stability of mountain range.</p>
Keywords:	Deformation, preboard array, mountain breed, scan-out, tectonic violation, cracking, laser геосканирование, satellite technologies.
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Akdag, S., Basarir, H., Karpuz, C., Ozyurt, M. Stability analysis and optimized slope angle for the iron ore open-pit mine (2015) Proceedings of the 24th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2015, pp. 606-611. Cited 1 time. 2. Allasia, P., Giordan, D., Lollino, G., Cravero, M., Iabichino, G., Bianchi, N.W., Monticelli, F. Monitoring and computations on a landslide in an open pit mine. 43rd U.S. Rock Mechanics Symposium and 4th U.S.-Canada Rock Mechanics Symposium, 2010. 3. Bednarczyk, Z. Slope instabilities in Polish open-pit mines (2016) Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice, 2, pp. 371-379. 4. Bieniawski, Z.T. Engineering classification of jointed rock masses. Civ Eng S Afr, 1973, № 15 (12), pp. 335-343. 5. Bieniawski, Z.T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. 1989 Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering, 1989. 264 p. 6. Bo, L., Peng, Z., Jianwei, Z. Analysis on slope stability of open pit coal mine based on grey support vector machine (2016) International Journal of Smart Home, 10 (9), pp. 169-178. DOI: 10.14257/ijsh.2016.10.9.16 7. Cammack, R. Developing an engineering geological model in the fractured and brecciated rocks of a copper porphyry deposit (2016) Geological Society Engineering Geology Special Publication, 27 (1), pp. 93-100. Cited 1 time. DOI: 10.1144/EGSP27.8 8. Cao, H., Hu, J.J., Wu, P. The analysis of slope stability and optimized slope angle for the open-pit mining of a porphyry copper mine. Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation - Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics, 2014, pp. 469-473. 9. Cao, L., Qi, L., Wang, D., Li, Y., Song, Z. Stability research of combination slope with fault in open-pit mine (2016) Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 35 (8), pp. 804-809. DOI: 10.11956/j.issn.1008-0562.2016.08.004 10. Cao, L., Wang, M., Wang, D., Song, Z. Slip mode and stability of anti-dip stratified slope of open pit mine (2015) Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 34 (2), pp. 170-174. Cited 1 time. DOI: 10.11956/j.issn.1008-0562.2015.02.006 11. Capdeville-Pérez, F. Building a rock mass model for a large open pit. 49th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2015, 2015, №4, pp. 2556-2564. 12. Contreras, L.F. An economic risk evaluation approach for pit slope optimization (2015) Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 115 (7), pp. 607-622. DOI: 10.17159/2411-9717/2015/v115n7a7 13. Cui, T., Ma, Y., Wang, L. Simulation of earthquake stability for open-pit coal mine slope and treatment research (2016) Yingyong Lixue Xuebao/Chinese Journal of Applied Mechanics, 33 (2), pp. 339-344. DOI: 10.11776/cjam.33.02.B158 14. Ding, X.-P., Wang, Z.-W., Li, W. Dynamic process and typical deformation-failure mechanism of mining slope Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society, 2016, 41 (10), pp. 2606-2611. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2015.1991



15. Duran, F.I., Diederichs, M.S., Hutchinson, D.J. A numerical analysis of stress path and rock mass damage in open pit rock slopes. 48th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2014, 2014, № 3, pp. 1750-1758.
16. Eivazy, H., Esmaili, K., Jean, R., Albor, F. Application of 3D geotechnical block models in design of open pit mines - A case study at mont wright open pit mine. Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry - Proceedings of the 37th International Symposium, APCOM 2015, 2015, pp. 401-410.
17. Gadri, L., Hadji, R., Zahri, F., Benghazi, Z., Boumezbeur, A., Laid, B.M., Raïs, K. The quarries edges stability in opencast mines: a case study of the Jebel Onk phosphate mine, NE Algeria Arabian Journal of Geosciences, 2015, №8 (11), pp. 8987-8997. DOI: 10.1007/s12517-015-1887-3
18. González-Nicieza, C., Álvarez-Fernández, M.I., Mora, O., Amor-Herrera, E. Back analysis and radar interferometry monitoring in a large open pit slope. Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses - Proceedings of EUROCK 2014, 2014, ISRM European Regional Symposium, pp. 925-930.
19. Han, G., Cui, T., Ma, Y., Wang, L. Research on the phenomenon and failure process simulation of open-pit slope in coal spontaneous combustion (2016) Yingyong Lixue Xuebao/Chinese Journal of Applied Mechanics, 33 (3), pp. 535-540. DOI: 10.11776/cjam.33.03.B004
20. Hu, J.J., Yu, B., Zheng, L., Wu, P. Technology for reducing boulder yield of blasting in fracture developed rock of an open-pit mine. Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation - Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics, 2014, pp. 635-638.
21. Jhanwar, J.C. A classification system for the slope stability assessment of opencast coal mines in central India. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2012. № 45 (4), pp. 631-637. DOI: 10.1007/s00603-012-0223-4
22. Laubscher, D.H. Geomechanics classification of jointed rock masses - mining applications. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology, (1977), № 86, pp. a1-a8.
23. Li, W.-X., Qi, D.-L., Zheng, S.-F., Ren, J.-C., Li, J.-F., Yin, X. Fuzzy mathematics model and its numerical method of stability analysis on rock slope of opencast metal mine (2015) Applied Mathematical Modelling, 39 (7), pp. 1784-1793. Cited 4 times. DOI: 10.1016/j.apm.2014.10.006
24. Madowe, A. Design and implementation of steeper slope angles on a kimberlite open pit diamond operation-A practical approach (2016) Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 116 (8), pp. 723-730. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n8a3
25. Maihemuti, B., Wang, E., Hudan, T., Xu, Q. Numerical simulation analysis of reservoir bank fractured rock-slope deformation and failure processes (2016) International Journal of Geomechanics, 16 (2), art. no. 04015058. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000533
26. Nie, L., Li, Z., Lv, Y., Wang, H. A new prediction model for rock slope failure time: a case study in West Open-Pit mine, Fushun, China (2016) Bulletin of Engineering Geology and the Environment, pp. 1-14. Article in Press. DOI: 10.1007/s10064-016-0900-8
27. Peng, C., Guo, Q.S., Zhang, Z.C., Zhao, L., Yan, Z.X. Study on ultimate slope angle optimization and stability analysis of slopes in an open-pit mine Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation - Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics, 2014, pp. 435-438.
28. Rakishev, B.R., Seituly, K., Kovrov, O.S. Physical modeling geomechanical stability of open-cast slopes and internal overburden dumps (2015) Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation - Proceedings of the Beijing International Symposium Land Reclamation and Ecological Restoration, LRER 2014, pp. 583-588.
29. Ren, G.-F., Fang, X.-K. Study on the law of mining damage with the combination of underground mining and open-pit mining. 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, iCBBE 2010, 2010, art. no. 5516877. DOI: 10.1109/ICBBE.2010.5516877
30. Salvoni, M., Dight, P.M. Rock damage assessment in a large unstable slope from microseismic monitoring - MMG Century mine (Queensland, Australia) case study (2016) Engineering Geology, 210, pp. 45-56. DOI: 10.1016/j.enggeo.2016.06.002



31. Sasaoka, T., Shimada, H., Matsui, K., Takamoto, H. Geotechnical considerations in highwall mining applications in Indonesia. Proceedings - 29th International Conference on Ground Control in Mining, ICGCM, 2010, pp. 312-317.
32. Stead, D. The Influence of Shales on Slope Instability (2016) *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49 (2), pp. 635-651. DOI: 10.1007/s00603-015-0865-0
33. Tamburini, A., Martelli, D.C.G., Alberto, W., Villa, F. Geomechanical rock mass characterization with Terrestrial Laser Scanning and UAV. 49th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium 2015, 2015, №3, pp. 1813-1819.
34. Tan, W., Kulatilake, P.H.S.W., Sun, H., Sun, Z. Effect of faults on in-situ stress state in an open-pit mine *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2014, №19 (Z1), pp. 9597-9629.
35. Wen, L., Li, X., Su, W. Study of physico-mechanical characteristics of slope hard rocks of metal mine influenced by freeze-thaw cycles (2015) *Caikuang yu Anquan Gongcheng Xuebao/Journal of Mining and Safety Engineering*, 32 (4), pp. 689-696. DOI: 10.13545/j.cnki.jmse.2015.04.027
36. Wines, D. A comparison of slope stability analyses in two and three dimensions (2016) *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116 (5), pp. 399-406. DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n5a5
37. Xu, G., Xiong, D., Duan, Y., Cao, X. Open pit slope deformation monitoring by fiber Bragg grating sensors (2015) *Optical Engineering*, 54 (1), art. no. 011003. DOI: 10.1117/1.OE.54.1.011003
38. Zhong, W., Wang, X., Liu, L., Zhao, K., Tan, Z. Rock mass structures and weathering characterization of weathered slope in an open-pit mine (2015) *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20 (13), pp. 5223-5234.
39. Besimbaeva O.G. Analiz tochnosti instrumental'nyh nabljudenij [*Analysis of the accuracy of instrumental observations*] / [Besimbaeva O.G., Hmyrova E.N., Besimbaev N.G.] // *Journal Proceedings of the universities "Geodesy and aerial photography."* – Moskva, 2014. – No. 4. – Pp. 15-20.
40. Besimbaeva O.G. Reshenie gorno-geometricheskikh zadach s ispol'zovaniem programm 3D modelirovanija na mestorozhdenijah Kazahstana [*Solution mining and geometrical problems using 3D modeling programs in the fields of Kazakhstan*] / [Besimbaeva O.G., Hmyrova E.N., Olejnikova E.A., et al.] // XI Int. Scien.Congress: "Interexpo Geo-Siberia." – Novosibirsk, 2015. – Sat. materials T2. – Pp. 175-180.
41. Instrukcija po nabljudenijam za deformacijami bortov, otkosov ustupov i otvalov na kar'erah i razrabotke meroprijatij po obespečeniju ih ustojchivosti. [*Instructions on observations over deformations boards, benches and slopes of dumps in the quarries and the development of measures to ensure their sustainability.*] – St. Petersburg, VNIMI, 1998.
42. Nizametdinov F.K. Sostojanie i perspektivy razvitija geometricheskogo obespečenija otkrytyh gornyh rabot [*Status and prospects of development of geometric software open pit mining*] / [Hmyrova EN, Ozhigin SG Nizametdinov FK, et al.] // XV Int. ISM Congress (Deutscher Markscheider-Verein e.V.-DMV – Aachen, 2013. – Sat. materials – Pp.338-349.



РАТНИКОВ И.Б. (ООО «Нефтеком», г. Екатеринбург)

ШУЛЬГА Р.С. (АО «Сибирский научно-исследовательский институт нефтяной промышленности», г. Тюмень)

РОМАНОВ Е.А. (АО «Сибирский научно-исследовательский институт нефтяной промышленности», г. Тюмень)

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ КАПИЛЛЯРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Капиллярные силы вместе с гравитационными силами контролируют первоначальное распределение флюидов в пласте-коллекторе по вертикали, поэтому данные о кривых капиллярного давления могут использоваться для прогноза неподвижной и подвижной воды в гидрофобной системе по вертикали. Кривые капиллярного давления нужны для описания процесса заводнения в сложных, неоднородных пластах, применяются также для определения остаточной водонасыщенности и распределения пор по размерам. Стоит отметить, что капиллярные силы влияют на продвижение фронта заводнения и, соответственно, на конечную нефтеотдачу пласта.

Ключевые слова: кривые капиллярного давления, поверхностное натяжение, радиус поровых каналов, относительные фазовые проницаемости.

Введение

В петрофизике наиболее распространенным методом изучения капиллярных сил является исследование зависимости насыщенности пород от капиллярного давления $P_k = f K_v$ (кривая капиллярного давления). Существуют различные методы получения капиллярной кривой. Основными методами измерения капиллярного давления являются метод капилляриметрии (полупроницаемой мембраны) и метод центрифугирования.

Метод капилляриметрии является наиболее распространенным и широко применяемым. Он основан на измерении содержания воды в капилляриметре при вытеснении воды из образцов горной породы нефтью или воздухом при различных перепадах давления. Такой способ нередко называют способом восстановления начального состояния системы, так как в опыте моделируется процесс вытеснения воды при заполнении ловушки нефтью или газом. Данный метод требует довольно большого количества времени проведения опыта – от двух недель до нескольких месяцев, а также не подходит для образцов трещинного, кавернозного и кавернозно-трещинного типов.

Метод центрифугирования, который основан на вытеснении свободной воды из

образцов горной породы под действием центробежных сил, в отличие от метода капилляриметрии достаточно простой и быстрый. Он заключается в центрифугировании насыщенных водой образцов и взвешивании их до и после центрифугирования, где затем определяют объем воды, оставшейся в керне [16]. Стоит отметить, что метод центрифугирования не подходит для исследования слабосцементированных образцов, которые разрушаются в ходе эксперимента. В настоящее время всё чаще используют высокоскоростные ультрацентрифуги, которые позволяют проводить массовые лабораторные исследования и обеспечивают необходимую точность.

Существенным моментом, искажающим результаты истолкования данных капилляриметрии, является то, что зачастую величины капиллярного давления не приводятся к пластовым условиям (рис. 1). Вследствие этого значения капиллярного давления получаются завышенными и вносят значительные искажения в результаты интерпретации данных. Значения капиллярного давления, полученные в атмосферных условиях ($P_{к\text{атм}}$), к пластовым ($P_{к\text{пл}}$) приводятся по следующей формуле [2]:



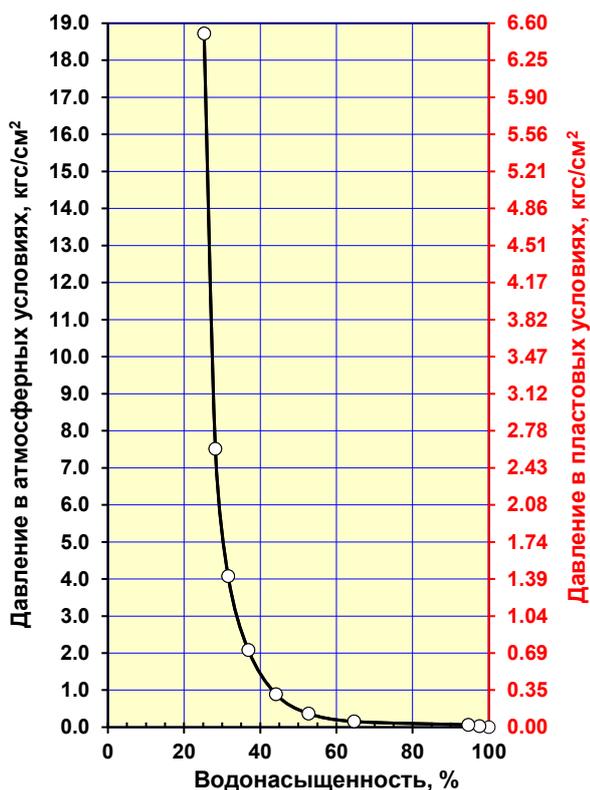


Рис. 1. Кривая капиллярного давления

$$P_{\text{кпл}} = P_{\text{катм}} \cdot \frac{\sigma_{\text{пл}}}{\sigma_{\text{атм}}},$$

где $\sigma_{\text{пл}}$ – поверхностное натяжение в пластовых условиях, зависит от насыщающего флюида, на границе вода–нефть в среднем составляет 25 дин/см; $\sigma_{\text{атм}}$ – поверхностное натяжение в атмосферных условиях, на границе вода–воздух составляет 72 дин/см [2].

Целью данной работы является иллюстрация интерпретации данных, полученных при изучении капиллярных характеристик на ультрацентрифуге.

Методика расчёта поровых каналов и их долевого участия в фильтрации жидкости

По результатам проведенных экспериментальных исследований методом капилляриметрии или центрифугирования получают зависимости насыщенности от капиллярного давления $P_{\text{к}} = f K_{\text{в}}$ для каждого образца породы. Связь между капиллярным давлением и структурой порового пространства является выражением

поведения флюида в породе и определяется с учетом свойств породы и флюида по формуле Лапласа:

$$P_{\text{к}} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos Q}{R_{\text{к}}},$$

где $P_{\text{к}}$ – капиллярное давление; σ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз; Q – угол увлажнения; $R_{\text{к}}$ – радиус капилляра (поры).

На основании экспериментально получаемых зависимостей $P_{\text{к}} = f S_{\text{в}}$ по вышеприведенной формуле рассчитываются функции распределения пор по размерам для каждого исследованного образца коллектора.

Для более наглядного представления рассмотрим расчёт размера поровых каналов и их долевого участия в фильтрации жидкости на образцах с различной проницаемостью. На первоначальном этапе определяем давление сдвига (давление, с которого начинается вытеснение жидкости). На рис. 2 приведён графический пример определения давления сдвига.



Для вычисления размера поровых каналов и их долевого участия в фильтрации жидкости расчёт удобно вести по представленной ниже схеме (табл. 1, 2).

В первые два столбца таблицы заносятся значения давлений (P_i) и водонасыщенности ($K_{вi}$). В первой ячейке указывается давление сдвига (отмечено синей заливкой в табл. 1, 2), которое необходимо для вычисления долевого участия поровых каналов в фильтрации жидкости. Далее вычисляются размеры поровых каналов (R_i) по формуле

$$R_i = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos Q}{P_i} = \frac{2 \cdot 72 \cdot 1}{0,024} = 58,94 \text{ мкм.}$$

Размер поровых каналов, соответствующий давлению сдвига является максимальным радиусом (отмечено желтой заливкой в табл. 1, 2).

При значениях давлений, меньших давления сдвига, коэффициент давления принимается равным нулю (отмечено зелёной заливкой в табл. 1), так как в данном случае

вытеснения жидкости не происходит, а уменьшение водонасыщенности связано с присутствием открытых пор на поверхности образца, откуда и происходит отток свободной воды.

Долевое участие поровых каналов в фильтрации жидкости находится по формуле $R_{\phi i} = 100 \cdot \frac{K_i \cdot V_i}{\sum K_i \cdot V_i} = 100 \cdot \frac{1942,511}{38094,130} = 5,099\%$.

На основании полученных данных строится распределение поровых каналов и их доленое участие в фильтрации жидкости (рис. 3).

Между давлением сдвига (P_0) и абсолютной проницаемостью по газу ($K_{прг}$) наблюдается довольно хорошая зависимость (рис. 4). Сопоставление P_0 с $K_{прг}$ выполнено для одного из месторождений Западной Сибири.

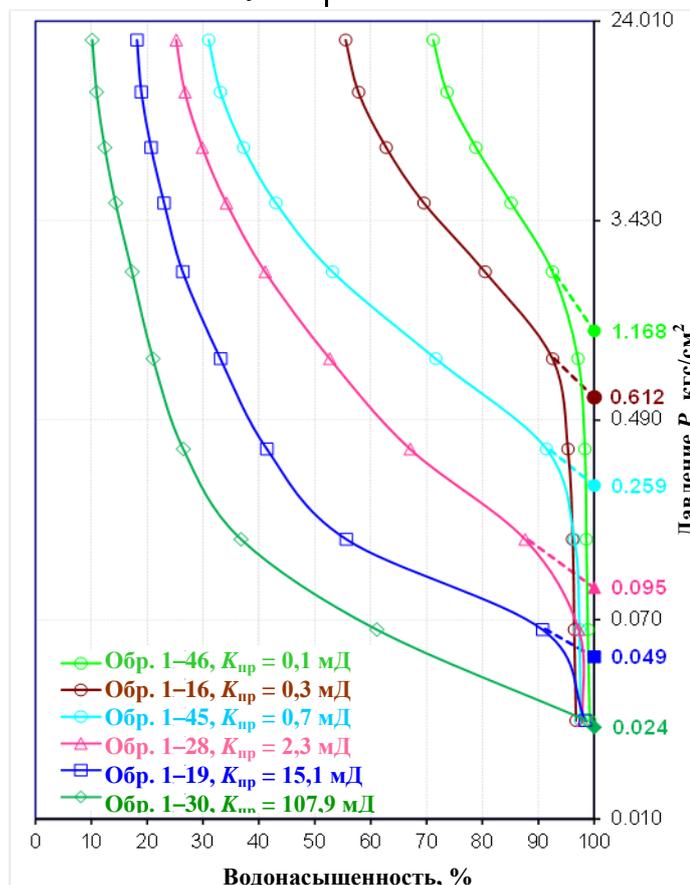


Рис. 2. Пример графического определения давления сдвига для образцов с различной проницаемостью



Пример вычисления размера поровых каналов и их долевого участия в фильтрации жидкости.

Образец 1-46, $K_{пр} = 0,1$ мД

Давление, кгс/см ²	Водонасыщенность $K_{в.}$ %	Размер поровых каналов R , мкм	Конечные размеры поровых каналов R , мкм		Объём поровых каналов V_i , %	Коэффициент давления K_i	$K_i \cdot V_i$	Поровые каналы, участвующие в фильтрации жидкости $R_{ф.}$ %
1,168	100,00	1,23	>55,18		0,83	0,000	0,000	0,000
0,026	99,17	55,18	55,18	22,70	0,33	0,000	0,000	0,000
0,063	98,84	22,70	22,70	9,41	0,25	0,000	0,000	0,000
0,153	98,59	9,41	9,41	3,90	0,27	0,000	0,000	0,000
0,369	98,32	3,90	3,90	1,62	1,23	0,000	0,000	0,000
0,890	97,09	1,62	1,62	0,69	4,57	0,746	3,412	70,6821
2,080	92,52	0,69	0,69	0,35	7,42	0,146	1,080	22,3781
4,078	85,10	0,35	0,35	0,21	6,27	0,040	0,253	5,2342
7,000	78,82	0,21	0,21	0,12	5,17	0,014	0,071	1,4646
12,000	73,65	0,12	0,12	0,07	2,46	0,005	0,012	0,2409
20,000	71,19	0,07	<0,07		71,19	0,000	0,000	0,0000
Сумма:					100,00		4,828	100,00

Таблица 2

Пример вычисления размера поровых каналов и их долевого участия в фильтрации жидкости. Образец 1-30, $K_{пр} = 107,9$ мД

Давление P_i , кгс/см ²	Водонасыщенность $K_{в.}$ %	Размер поровых каналов R_i , мкм.	Конечные размеры поровых каналов R , мкм		Объём поровых каналов V_i , %	Коэффициент давления K_i	$K_i \cdot V_i$	Поровые каналы, участвующие в фильтрации жидкости $R_{ф.}$ %
0,024	100,00	58,94	58,94	55,18	1,24	1571,828	1942,511	5,09924
0,026	98,76	55,18	55,18	22,70	37,66	858,467	32328,080	84,86368
0,063	61,11	22,70	22,70	9,41	24,29	145,660	3537,775	9,28693
0,153	36,82	9,41	9,41	3,90	10,35	25,026	259,083	0,68011
0,369	26,47	3,90	3,90	1,62	5,43	4,301	23,344	0,06128
0,890	21,04	1,62	1,62	0,69	3,76	0,746	2,807	0,00737
2,080	17,28	0,69	0,69	0,35	2,94	0,146	0,428	0,00112
4,078	14,33	0,35	0,35	0,21	1,94	0,040	0,078	0,00021
7,000	12,39	0,21	0,21	0,12	1,45	0,014	0,020	0,00005
12,000	10,94	0,12	0,12	0,07	0,78	0,005	0,004	0,00001
20,000	10,16	0,07	<0,07		10,16	0,000	0,000	0,00000
Сумма:					100,00		38 094,130	100,00





Рис. 3. Распределение поровых каналов по размерам и их участие в фильтрации жидкости

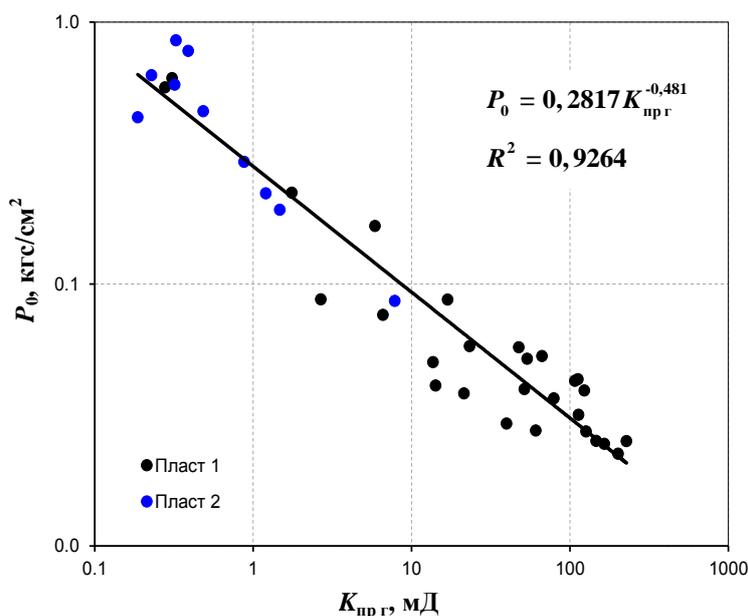


Рис. 4. Сопоставление давления сдвига (P_0) с абсолютной проницаемостью по газу ($K_{прг}$)

Расчёт радиусов поровых каналов

Одним из важных показателей в области петрофизики являются размеры пор и поровых каналов и характер их распределения по величинам (см. рис. 3). От этих показателей во многом зависит распределение фаз в коллекторе. Такие петрофизические параметры, как абсолютная проницаемость, фазовые проницаемости и остаточная нефтенасыщенность продуктивных пластов, зависят преимущественно от размера поровых каналов, из которых складывается поровое пространство. Поэтому изучению структуры, строения и размеров фильтрационных каналов уделяется большое внимание [17, 18, 20–23]. Известно, что чем более неоднородны

размеры поровых каналов коллектора, тем больше остаточная нефтенасыщенность и тем меньше коэффициент вытеснения. Это явление в глинизированных коллекторах обусловлено прежде всего эффектом Лапласа.

При применении различных кольматантов для создания непроницаемых фильтрационных корок, которые изолируют поровые каналы в пластах открытого ствола скважины, очень важно верное представление о средних радиусах фильтрующих каналов ($R_{ср\phi}$).

На сегодняшний день существует множество формул по определению среднего радиуса поровых каналов. Основные из них были предложены Ф.И. Котяховым и



Б.И. Тульбовичем, также их выводят из формул Дарси и Пуазейля.

Средний радиус пор реальных пористых сред, предложенный Ф.И. Котяховым, рассчитывается по следующей формуле [9]:

$$R_{cp} = \frac{20}{7} \cdot \sqrt{\frac{0,5035 \cdot K_{пр}}{K_n^{2,1}}}$$

где $K_{пр}$ – коэффициент газопроницаемости; K_n – коэффициент пористости.

Б.И. Тульбовичем для нахождения среднего (R_{cp}) и среднего эффективного ($R_{cp\text{эф}}$) радиусов поровых каналов, были предложены следующие уравнения [14]:

$$R_{cp} = 10^{\frac{\text{Log } K_{пр} + 2,34}{4,41}};$$

$$R_{cp\text{эф}} = 10^{\frac{8 \cdot K_{пр} \cdot 10^{-3T^2}}{K_n \cdot 1 - K_{ов}^{0,5}}},$$

где T – извилистость поровых каналов; $K_{ов}$ – остаточная водонасыщенность.

С учётом законов Дарси и Пуазейля средний радиус поровых каналов находится по формуле

$$R_{cp} = \frac{20}{7} \cdot \sqrt{\frac{K_{пр}}{K_n}}$$

Однако множественный анализ лабораторных данных показал, что эти

формулы недостаточно точны для практического применения, поскольку они не учитывают распределения поровых каналов по размерам [1].

Методика вычисления радиусов поровых каналов по методу кумулятивной кривой

Наиболее простым способом является метод кумулятивной кривой, где радиусы поровых каналов характеризуют с помощью медианы (M). Для получения медианы графическим методом строится кумулятивная кривая. Через ординату, соответствующую 50 %, проводят горизонтальную линию до пересечения с кумулятивной кривой. Абсцисса, отвечающая ординате 50 % называется медианой (M) (рис. 5).

Для вычисления среднего радиуса математическим способом расчет удобно вести по представленной ниже схеме (табл. 3).

Средние радиусы поровых каналов вычисляются по приведённым ниже формулам. Средний радиус поровых каналов, мкм:

$$R_{cp} = y_{i>50} + \frac{l_{i>50} - 50 \cdot h_{i>50}}{l_{i>50} - l_{i<50}} = 3,90 + \frac{58,57 - 50 \cdot 5,51}{58,57 - 44,36} = 7,22.$$

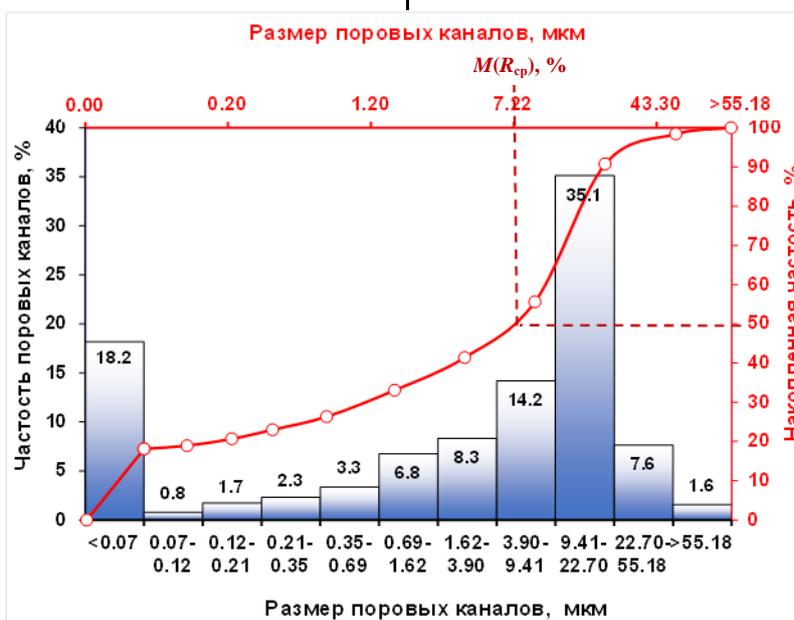


Рис. 5. Графический метод определения среднего радиуса поровых каналов



Пример вычисления средних радиусов поровых каналов по методу кумуляты (кумулятивной кривой). Образец 1-19, $K_{\text{пр}} = 15,1 \text{ мД}$

Конечные размеры поровых каналов R, мкм		Разность конечных размеров поровых каналов h_i , мкм	Объём поровых каналов V_i , %	Интегральная частота объёма поровых каналов I_i , %	Объём эффективных поровых каналов $V_{\text{эф}}$, %	Интегральная частота объёма эффективных поровых каналов $I_{\text{эф}}$, %	Долевое участие поровых каналов в фильтрации $R_{\text{сп} \phi}$, %	Интегральная частота долевого участия поровых каналов в фильтрации $I_{\text{ф}}$, %
55,18	55,18	0,00	1,58	1,58	1,94	1,94	0,00	0,00000
55,18	22,70	32,47	7,65	9,23	9,35	11,28	54,36	54,35597
22,70	9,41	13,29	35,12	44,36	42,92	54,20	42,36	96,71233
9,41	3,90	5,51	14,21	58,57	17,37	71,57	2,945	99,65709
3,90	1,62	2,28	8,32	66,89	10,16	81,74	0,296	99,95325
1,62	0,69	0,93	6,75	73,64	8,25	89,99	0,042	99,99497
0,69	0,35	0,34	3,34	76,98	4,08	94,07	0,0040	99,99899
0,35	0,21	0,15	2,33	79,31	2,85	96,92	0,0008	99,99977
0,21	0,12	0,09	1,74	81,05	2,13	99,05	0,00020	99,99997
0,12	0,07	0,05	0,78	81,83	0,95	100,00	0,00003	100,00000
0,07	0,04	0,04	18,17	100,00	0,00	100,00	0,00000	100,00000
Сумма			100,00		100,00		100,00	

Средний радиус эффективных поровых каналов, мкм:

$$R_{\text{сп} \text{ эф}} = y_{i>50} + \frac{l_{\text{эф} i>50} - 50 \cdot h_{i>50}}{l_{\text{эф} i>50} - l_{\text{эф} i<50}} = 9,41 + \frac{54,20 - 50 \cdot 13,29}{54,20 - 11,28} = 10,71.$$

Средний радиус поровых каналов по долевному участию в фильтрации жидкости, мкм:

$$R_{\text{сп}} = y_{i>50} + \frac{l_{\phi i>50} - 50 \cdot h_{i>50}}{l_{\phi i>50} - l_{\text{эф} i<50}} = 22,70 + \frac{54,36 - 50 \cdot 32,47}{54,36 - 0} = 25,31.$$

Метод квартилей не является универсальным. Он пригоден для наиболее грубой и приблизительной оценки радиусов поровых каналов.

Методика вычисления радиусов поровых каналов по методу статистических моментов

Математически более строгим, чем метод кумулятивной кривой, является

вычисление радиусов поровых каналов по методу статистических моментов. Метод моментов базируется на строгой вероятностной теории оценивания статистических характеристик.

Расчёт средних радиусов реализован по представленной ниже схеме (табл. 4).

Средние радиусы поровых каналов вычисляются по приведённым ниже формулам. Средний радиус поровых каналов, мкм:

$$R_{\text{сп}} = 2 \frac{\sum V_i \cdot l_i}{\sum V_i} = 2^{-1,516} = 2,86.$$

Средний радиус эффективных поровых каналов, мкм:

$$R_{\text{сп} \text{ эф}} = 2 \frac{\sum V_{\text{эф} i} \cdot l_i}{\sum V_{\text{эф} i}} = 2^{-2,787} = 6,90.$$

Средний радиус поровых каналов по долевному участию в фильтрации жидкости, мкм:

$$R_{\text{сп} \phi} = 2 \frac{\sum R_{\text{сп} \phi i} \cdot l_i}{\sum R_{\text{сп} \phi i}} = 2^{-4,653} = 25,16.$$



Пример вычисления средних радиусов поровых каналов по методу статистических моментов. Образец 1-19, $K_{пр} = 15,1$ мД

Конечные размеры поровых каналов R , мкм		Средние значения размеров границ в логарифмах I_i	Объём поровых каналов V_i , %	Объём эффективных поровых каналов $V_{эфф}$, %	Долевое участие поровых каналов в фильтрации $R_{ср\phi}$, %	$V_i \cdot I_i$	$V_{эфф} \cdot I_i$	$R_{ср\phi} \cdot I_i$
55,18	55,18	-5,79	1,58	1,94	0,00	-9,16	-11,20	0,0
55,18	22,70	-5,28	7,65	9,35	54,36	-40,41	-49,38	-287,2
22,70	9,41	-4,01	35,12	42,92	42,36	-140,68	-171,92	-169,6
9,41	3,90	-2,73	14,21	17,37	2,945	-38,87	-47,50	-8,05
3,90	1,62	-1,46	8,32	10,16	0,296	-12,18	-14,88	-0,43
1,62	0,69	-0,21	6,75	8,25	0,042	-1,40	-1,71	-0,009
0,69	0,35	0,94	3,34	4,08	0,0040	3,13	3,82	0,0038
0,35	0,21	1,84	2,33	2,85	0,0008	4,29	5,24	0,0014
0,21	0,12	2,62	1,74	2,13	0,00020	4,56	5,57	0,0005
0,12	0,07	3,38	0,78	0,95	0,00003	2,64	3,22	0,0001
0,07	0,04	4,21	18,17	0,00	0,00000	76,51	0,00	0,0000
Сумма			100,00	100,00	100,00	-151,58	-278,74	-465,31

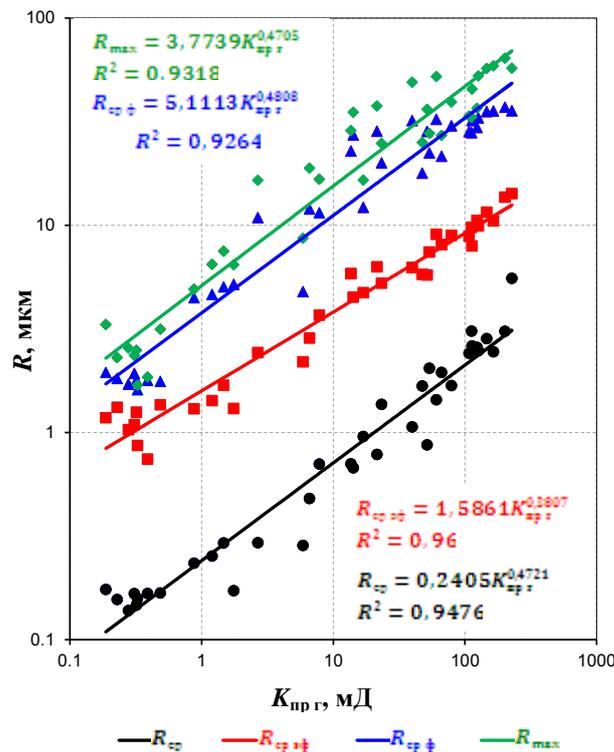


Рис. 6. Сопоставление среднего ($R_{ср}$), среднего эффективного ($R_{ср\phi}$), среднего по долевого участию в фильтрации ($R_{ср\phi}$) и максимального (R_{max}) радиусов поровых каналов с абсолютной проницаемостью по газу ($K_{прг}$)



Между радиусами поровых каналов (R) и $K_{\text{пр г}}$ существует степенная зависимость (рис. 6). Сопоставление R с $K_{\text{пр г}}$ выполнено для одного из месторождений Западной Сибири.

Расчёт относительных фазовых проницаемостей по данным капилляриметрии

Фазовые проницаемости являются важнейшими характеристиками фильтрации пластовых флюидов в пористой среде, они практически полностью определяют процесс течения пластовых флюидов в породах-коллекторах нефти и газа. Данные о фазовых проницаемостях необходимы при обосновании кондиционных пределов петрофизических свойств породы, при промышленной оценке переходных нефтегазовых зон пластов, в газогидродинамических расчетах технологических показателей разработки, при выборе методов воздействия на пласт с целью увеличения нефтеотдачи, при анализе и контроле за разработкой залежей. Учитывая огромную значимость этих функций, важно уделить особое внимание методам их получения.

Методы получения информации об относительных фазовых проницаемостях можно условно разделить на две категории: лабораторные (эмпирические) и аналитические.

К аналитическим относятся методы, использующие в качестве исходных данных результаты гидродинамических исследований скважин (ГДИС) или промысловые данные. Несмотря на общепринятое мнение о преимуществе аналитических методов [3–5, 7, 8, 10–13, 15], практический опыт показывает, что у них существуют недостатки: невозможность получения данных для всего диапазона возможных изменений флюидонасыщенности и термобарических условий пласта [4], влияние на результат

расчета различных геолого-технических мероприятий и методов увеличения нефтеотдачи, проводимых на объекте [5]. Следовательно, применять эти методы следует только в качестве первоначального приближения при макронастройке моделей на историю разработки.

В связи с отмеченным основным источником данных об ОФП являются лабораторные методы, основанные на исследованиях, которые проводятся на керне. Известны три основных метода получения кривых ОФП на керне:

- определение ОФП в режиме стационарной фильтрации;
- установление ОФП в режиме нестационарной фильтрации в процессе вытеснения одного флюида другим;
- расчёт ОФП по кривым капиллярного давления.

Уравнения для расчёта ОФП

Относительные фазовые проницаемости для смачивающей (воды) и несмачивающей фаз (нефть, газ), построенные на базе капиллярной модели Пурцелла, были предложены Бурдайнном и имеют следующий вид [2]:

$$K_{\text{пр отн}}^{\text{в}} = \left(\frac{K_{\text{в}} - K_{\text{ов}}}{1 - K_{\text{ов}}} \right)^2 \int_0^{K_{\text{в}}} \frac{dK}{P_{\text{к}}^2} / \int_0^1 \frac{dK}{P_{\text{к}}^2};$$

$$K_{\text{пр отн}}^{\text{н}} = \left(\frac{1 - K_{\text{в}} - K_{\text{он}}}{1 - K_{\text{ов}} - K_{\text{он}}} \right)^2 \int_{K_{\text{в}}}^1 \frac{dK}{P_{\text{к}}^2} / \int_0^1 \frac{dK}{P_{\text{к}}^2},$$

где $P_{\text{к}}$ – капиллярное давление; $K_{\text{в}}$ – текущая водонасыщенность; $K_{\text{ов}}$ – остаточная пластовая вода; $K_{\text{он}}$ – остаточная нефтенасыщенность.

Скобки перед отношением интегралов, по мнению автора, введены для учёта несоответствий между реальной средой и её капиллярной моделью. Между тем простой анализ выражений, содержащихся в скобках, позволяет сказать, что прежде всего они ограничивают существование проницаемости фаз в определённых объёмах порового



пространства. У смачивающей фазы проницаемость равна нулю при $K_v = K_{ов}$, а у несмачивающей при $K_v = 1 - K_{он}$.

Значения $K_{ов}$ и $K_{он}$ и дроби перед интегралами в значительной степени определяют форму кривых относительной проницаемости. Поэтому существует много инженерных формул, в которых отношением интегралов пренебрегают [6].

По данным фирмы Шлюмберже (1989 г.), экспериментальные кривые проницаемости определяются уравнениями [6]:

$$K_{пр\ отн}^B = \left[\frac{1 - K_v - K_{он}}{1 - K_{ов} - K_{он}} \right]^{2,1};$$

$$K_{пр\ отн}^H = \left[\frac{1 - K_v}{1 - K_{ов}} \right]^3.$$

В случае фильтрации газа и воды Ботменом были предложены следующие уравнения [19]:

$$K_{пр\ отн}^B = K_v^{1,5} \cdot \left(\frac{1}{P_n} \right)^{1,5};$$

$$K_{пр\ отн}^Г = 1 - K_v \left[1 - K_v^{0,25} \cdot \left(\frac{1}{P_n} \right)^{0,25} \right]^{0,5};$$

где P_n – параметр насыщения.

Следует отметить, что все вышеприведённые формулы не учитывают

показатель смачиваемости (M), и, как следствие, для гидрофобных пород будут наблюдаться существенные расхождения в относительной фазовой проницаемости по воде ($K_{пр\ отн}^B$), полученной экспериментально и по кривым капиллярного давления (рис. 7).

С целью учёта M в гидрофобном коллекторе, вышеуказанные уравнения $K_{пр\ отн}^B$ нами были умножены на M . Например, $K_{пр\ отн}^B$, по данным фирмы Шлюмберже, будет иметь следующий вид:

$$K_{пр\ отн}^B = \left[\frac{1 - K_v - K_{он}}{1 - K_{ов} - K_{он}} \right]^{2,1} \left(\frac{1}{M} \right)^{0,5}.$$

После учёта M в уравнении $K_{пр\ отн}^B$ наблюдается лучшая сходимость между $K_{пр\ отн}^B$, полученной экспериментально и по кривым капиллярного давления (рис. 8).

Из вышесказанного следует, что для гидрофобного коллектора уравнения $K_{пр\ отн}^B$ целесообразно дополнять M .

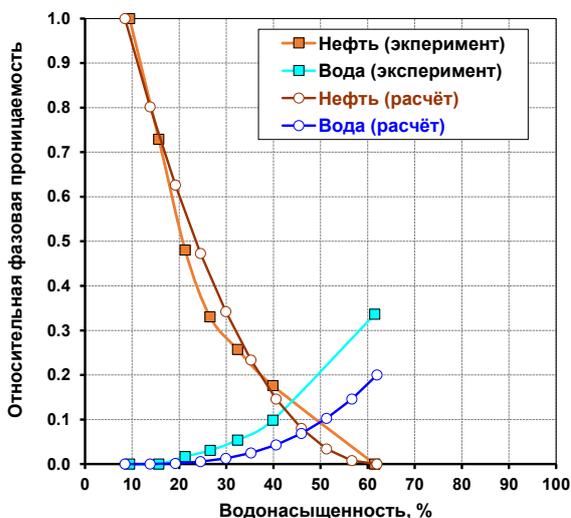


Рис. 7. Относительные фазовые проницаемости

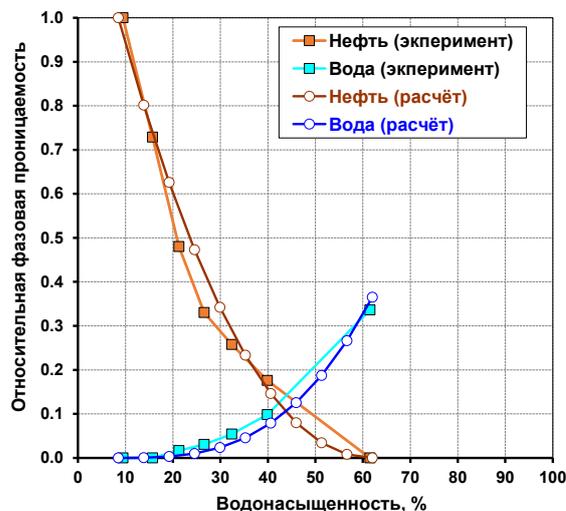


Рис. 8. Относительные фазовые проницаемости



Статистическая обработка результатов капилляриметрии

В петрофизике объяснить поведение многофазных систем без исследования капиллярного давления и смачиваемости пород не представляется возможным. Характер распределения пластовых флюидов всецело зависит от физико-химических свойств горных пород и насыщающих их флюидов. Как правило, образец, на котором изучают капиллярное давление, представляет собой лишь элементарный (очень маленький) объем пласта. Оценивать свойства пластов и выполнять необходимые расчеты по отдельным образцам невозможно. Поэтому все образцы пласта должны быть определенным образом разбиты на группы в соответствии с их величинами капиллярного давления, проницаемости и пористости. Для этих целей используют два метода корреляции данных капиллярного давления:

1) коррелирующую функцию $J(K_v)$, предложенную М.С. Левереттом [2]:

$$J(K_v) = \frac{P_k}{\sigma} \left(\frac{K_{пр}}{K_p} \right)^{1/2}$$

где P_k – капиллярное давление; σ – поверхностное натяжение; $K_{пр}$ – проницаемость пород; K_p – пористость в долях единицы.

Для построения модели месторождения необходимо проводить расчеты коэффициентов насыщенности пород на разных высотах над уровнем свободной воды. Такой расчет можно проводить, используя зависимость безразмерной J -функции Леверетта от коэффициента водонасыщенности (K_v). J -функция Леверетта позволяет обобщить значения капиллярного давления по образцам с различными значениями пористости и проницаемости.

Результаты обработки капиллярных давлений по первому методу были выполнены для группы пластов одного из месторождений Западной Сибири. Результаты представлены на рис. 9, где отчетливо выделяются три группы пород по форме капиллярных кривых: пласт БП12-1; пласты Ю1-1 и Ю1-2; пласты Ю2 и Ю4.

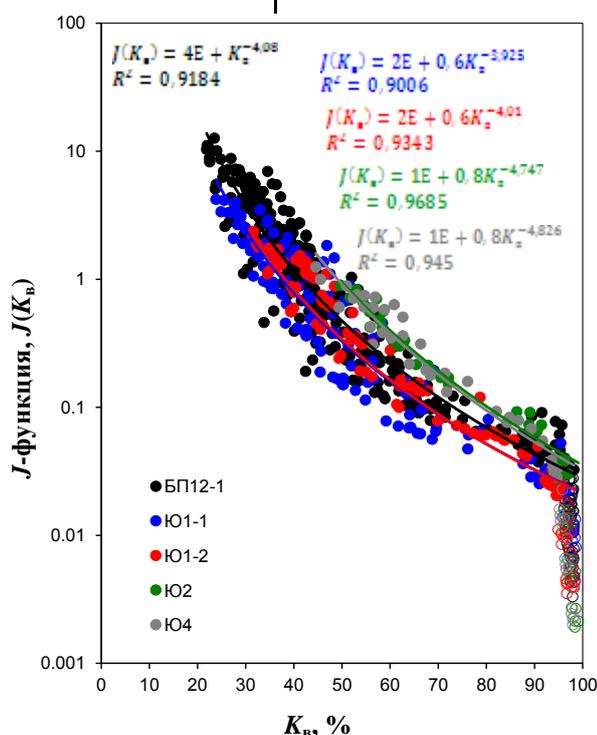


Рис. 9. Функция капиллярного давления для группы пластов



2) статистический метод, разработанный Р.К. Гутри [2]:

Второй метод оценки данных капиллярного давления используется для вычисления насыщенности пород всего пласта фазами в зависимости от их проницаемости для постоянных значений капиллярного давления. Результаты анализа представлены на рис. 10 и 11.

Графики на рис. 10 характеризуют зависимость величины коэффициента водонасыщенности (K_B) коллекторов пласта БП12-1 от логарифма абсолютной

проницаемости по газу ($\log K_{пр}$) при различных значениях капиллярного давления (P_K), а графики на рис. 11 – зависимость величины коэффициента абсолютной проницаемости по газу ($K_{пр}$) от коэффициента водонасыщенности (K_B). Расчёт K_B и $K_{пр}$ производится по полученным зависимостям, приведённым на рис. 10 и 11:

$$K_B = f \log K_{пр}, P_K ;$$

$$K_{пр} = f K_B, P_K .$$

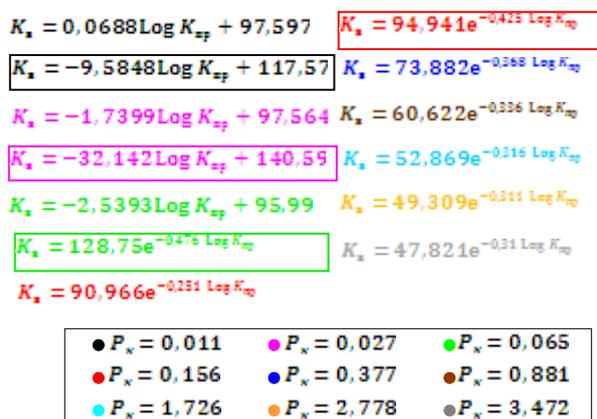
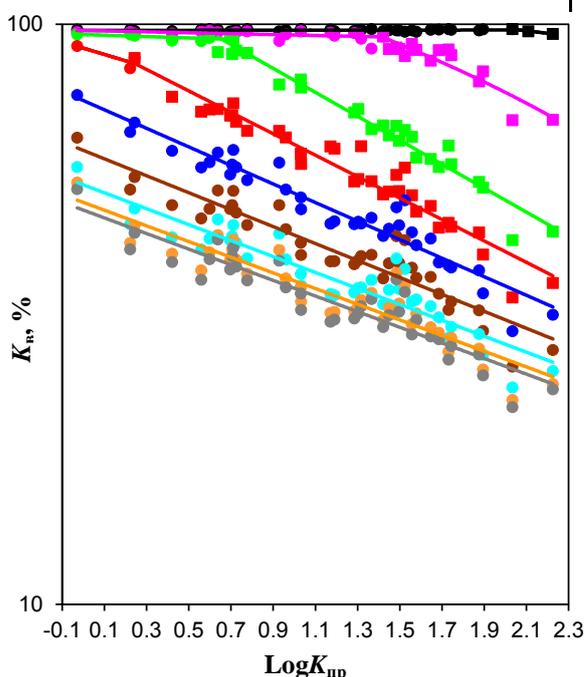


Рис. 10. Зависимость водонасыщенности (K_B) от логарифма газопроницаемости ($\log K_{пр}$) для различного капиллярного давления (P_K , кгс/см²) пород пласта БП12-1

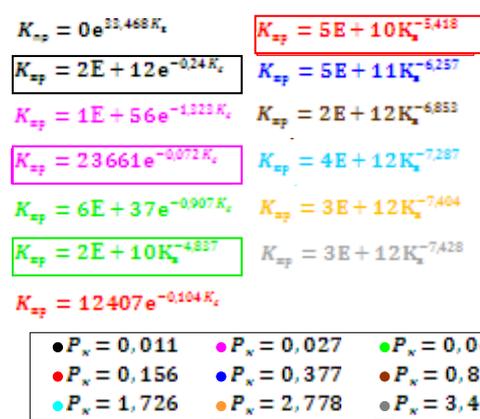
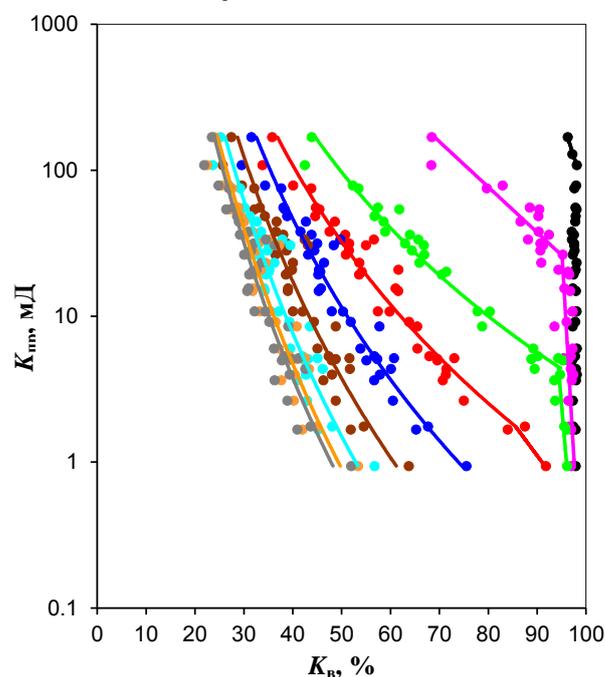


Рис. 11. Сопоставление газопроницаемости ($K_{пр}$) и водонасыщенности (K_B) для различного капиллярного давления (P_K , кгс/см²) пород пласта БП12-1



Зависимости на рис. 10 и 11, полученные для величин капиллярного давления 0,011, 0,027, 0,065 и 0,156 кгс/см², описываются двумя уравнениями (первое уравнение для точек в виде круга, а второе уравнение, помещенное в рамку, для точек в виде квадрата).

Зависимости на рис. 11, полученные для коллекторов пласта БП12-1, свидетельствуют о следующем:

1) при $P_k = 0,011$ кгс/см² вытеснение жидкости начинается с $K_{пр} > 110$ мД;

2) при $P_k = 0,027$ кгс/см² вытеснение жидкости начинается с $K_{пр} > 25$ мД;

3) при $P_k = 0,065$ кгс/см² вытеснение жидкости начинается с $K_{пр} > 5$ мД;

4) начиная с $P_k = 0,156$ кгс/см², вытеснение жидкости происходит во всем диапазоне $K_{пр}$.

Заключение

Данные порометрических исследований, которые получают в атмосферных условиях, необходимо приводить к пластовым с учетом поверхностного натяжения на границе раздела двух фаз.

Поровые каналы, фильтрующие жидкость, рассчитанные с использованием давления вытеснения повышают точность результатов, так как исключают открытые поры на поверхности образца, откуда происходит отток свободной воды.

Средние радиусы поровых каналов, полученные по данным порометрических исследований, учитывают распределение поровых каналов по размерам и, как следствие, повышают достоверность полученных данных.

При подборе кольматантов для создания непроницаемых фильтрационных корок средний радиус фильтрующих каналов окажет существенную помощь.

Для гидрофобного коллектора уравнения относительной фазовой проницаемости по воде целесообразно дополнять показателем смачиваемости пород.

Все полученные данные окажут неоспоримую помощь при построении различных моделей и технологических схем, а также способствуют уточнению расчетной модели пласта в процессе разработки.

Библиографический список

1. Актуальные проблемы нефтегазового дела: сб. науч. тр. / редкол.: Мухаметшин В.Ш. и др.: в 4 т. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2006. – Т.1. – 181 с.
2. Амикс Дж., Басс Д., Уайтинг Р. Физика нефтяного пласта: Пер. с англ. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 572 с.
3. Балобанова А.В., Рыков А.И. Обобщение результатов лабораторных исследований на керне и перспективы их применения при проектировании (в порядке обсуждения) // Оптимизация технологии разработки нефтяных месторождений: Сб. статей / Кол. авторов; Под общ. ред. Л.С. Бриллианта. – Тюмень: Печатный Дом «ЦЕССИЯ», 2008. – С. 206-210.
4. Бриллиант Л.С. [и др.] Методы расчета относительных фазовых характеристик при проектировании // Оптимизация технологии разработки нефтяных месторождений: Сб. статей / Кол. авторов; Под общ. ред. Л.С. Бриллианта. – Тюмень: Печатный Дом «ЦЕССИЯ», 2008. – С. 125-135.
5. Добрынин В.М. [и др.] Фазовые проницаемости коллекторов нефти и газа. – М.: ВНИОЭНГ, 1988. (Обзор. информ. Сер. «Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений»).
6. Дорогоницкая Л.М. [и др.] Количественная оценка добывных характеристик коллекторов нефти и газа по петрофизическим данным и материалам ГИС. – STT, 2007. – 278 с.
7. Душейко Д.П. Обеспечение постоянно действующих геолого-технологических моделей разрабатываемых залежей информацией о кривых относительных фазовых проницаемостей // Нефтяное хозяйство, 2005. – № 8. – С. 82-84.
8. Иктисанов В.А. Определение фильтрационных параметров пластов и реологических свойств дисперсных систем при разработке нефтяных месторождений. – М.: ВНИОЭНГ, 2001. – 212 с.



9. Котяхов Ф.И. Физика нефтяных и газовых коллекторов – М.: Недра, 1977. – 287 с.
10. Кучумов Р.Я., Перевозкин И.В. Системный анализ методов определения относительных фазовых проницаемостей при создании постояннодействующих геолого-технологических моделей // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2008. – № 4. – С. 42-46.
11. Пирсон С.Д. Учение о нефтяном пласте (пер. с англ.). – М., Гостоптехиздат, 1961. – 570 с.
12. Степанов С.В. Использование данных разработки месторождения нефти для получения кривых фазовых проницаемостей // Нефтяное хозяйство, 2006. – № 4. – С. 67-69.
13. Тимошенко А.А. Определение относительных фазовых проницаемостей при двухфазной фильтрации жидкости по промысловым данным // Оптимизация технологии разработки нефтяных месторождений: Сб. статей / Кол. авторов; Под общ. ред. Л.С. Бриллианта. – Тюмень: Печатный Дом «ЦЕССИЯ», 2008. – С. 145-154.
14. Тульбович Б.И. Методы изучения пород-коллекторов нефти и газа. – М.: Недра, 1979. – 199 с.
15. Утарбаев А.И., Караваев А.Д. Определение относительных фазовых проницаемостей воды и нефти по промысловым данным разработки // Проблемы развития нефтяной промышленности Западной Сибири (часть III), 2004. – С. 57-63.
16. Ханин А. А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. – М.: Недра, 1976. – 295 с.
17. Brown Harry W. Capillary pressure investigations//Trans of AMME. 1951. - V. 192-P. 67.
18. Burdine, N.T., Gournay, L.S., and Reichertz, P.P. Pore size distribution of petroleum reservoir rocks: Petroleum Transactions, AIME, 1950, v. 189, pp. 195-204.
19. Pirson S.J., Boatman E.M. and Nettle R.L. Prediction of Relative Permeability Characteristics of Intergranular Reservoir Rocks from Electrical Resistivity Measurements, Journal of Petroleum Technology (May 1964), pp. 561-570.
20. Leverett M.C. Capillary behavior in porous solids. Trans. AIME, 1941, pp. 152-169.
21. Purcell W.R. Capillary pressures their measurements using mercury and the calculation of permeability therefrom. — Trans. AIME, 1949, v. 186, TP2603, pp. 39-46.
22. Ritter H.L. and Drake L.C. Pore size Distribution in Porous Materials. Ind. Eng. Chem. Analyt. Ed., Vol. 17, 1945, pp. 782-786.
23. Slobod R. L., Chambers A., Prehn W. L. Use of centrifuge for determining connate water, residual oil and capillary curves of small core samples. Trans. Of AIME. 1951. V.192. P.127.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 4, pp. 24–37

Title:	Interpretation of research data curves capillary pressure
Author 1	Name&Surname: Ivan B. Ratnikov Company: LLC «Neftecom» Address: Russia, 620100, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, East street, 160a, room 17 Work Position: Deputy General Director on scientific work Contacts: IBRatnikov@mail.ru
Author 2	Name&Surname: Roman S. Shulga Company: JSC "Siberian Research Institute of Petroleum Industry" (PJSC «SibNIINP») Address: Russia, 625013, Tyumen, st. 50 years of October, 118 Work Position: Head of the Department of petrophysics Contacts: romshulga@mail.ru
Author 3	Name&Surname: Evgeniy A. Romanov Company: JSC "Siberian Research Institute of Petroleum Industry" (PJSC «SibNIINP») Address: Russia, 625013, Tyumen, st. 50 years of October, 118 Work Position: Director of petrophysics Department Scientific Degree: Ph.D Contacts: romanovea@list.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2016-4-24-37



Abstract:	Capillary forces together with the gravitational forces control the initial distribution of fluids in the reservoir-the reservoir vertically so the data on capillary pressure curves can be used to forecast the fixed and movable water in the hydrophobic system vertically. Capillary pressure curves are needed to describe the process of waterflooding in complex, heterogeneous formations, are used as well to determine the residual water saturation and the distribution of pore size. It should be noted that capillary forces affect the promotion of the front of the institution and consequently on the ultimate oil recovery.
Keywords:	curves of capillary pressure, surface tension, radius of the pore, relative permeability.
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aktual'nye problemy neftegazovogo dela: sb. nauch. tr. [Actual problems of oil and gas business: Sat. scientific. tr.] / redkolThe Editorial Mukhametshin .: VS etc .: 4 tons – Ufa. Publ. UGNTU, 2006. – T. 1. – 181 p. 2. Amiks Dzh., Bass D., Uajting R. Fizika neftjanogo plasta: Per. s angl. [Whiting oil reservoir Physics.: Trans. from English.] – M.: Gostoptehizdat, 1962. – 572 p. 3. Balobanova A.V., Rykov A.I. Obobshhenie rezul'tatov laboratornyh issledovanij na kerne i perspektivy ih primenenija pri proektirovanii (v porjadke obsuzhdenija) [Summary of results of laboratory tests on the cores and their application in the design of prospects (in order of discussion)] // Optimizacija tehnologii razrabotki neftjanyh mestorozhdenij: Sb. statej [Technology Optimization of oil field development: Coll. Articles] / Qty. authors; Under the total. Ed. LS Brilliant. – Tyumen Printing House "cession", 2008. – Pp. 206-210. 4. Brilliant L.S. [Et al.] Metody rascheta odnositel'nyh fazovyh charakteristik pri proektirovanii [Methods for calculating the relative phase characteristics in the design of technology] // Optimizacija tehnologii razrabotki neftjanyh mestorozhdenij: Sb. statej [Optimization of oil field development: Coll. Articles] / Qty. authors; Under the total. Ed. Brilliant. L .S. – Tyumen Printing House«CESSIJa», 2008. – Pp. 125-135. 5. Dobrynin V.M. [Et al.] Fazovye pronicaemosti kollektorov nefti i gaza. [Permeability oil and gas reservoirs.] – M.: VNIOENG, 1988. (Review Inform Ser "Geology, geophysics and development of oil fields"). 6. Dorogonickaja L.M. [Et al.]] Kolichestvennaja ocenka dobyvnyh charakteristik kollektorov nefti i gaza po petrofizicheskim dannym i materialam GIS. [Quantification of production characteristics of petrophysical data and GIS materials oil and gas reservoirs.] – STT, 2007. – 278 p. 7. Dushejko D.P. Obespechenie postojanno dejstvujushhijh geologo-tehnologicheskijh modelej razrabatyvaemyh zalezhej informaciej o krivyh odnositel'nyh fazovyh pronicaemostej [Providing permanent geological and technological models developed deposits information on relative permeability curves] // Oil Industry, 2005. – No. 8. – Pp. 82-84. 8. Iktisanov V.A. Opredelenie fil'tracionnyh parametrov plastov i reologicheskijh svojstv dispersnyh sistem pri razrabotke neftjanyh mestorozhdenij. [Determination of reservoir filtration parameters and rheological properties of dispersed systems in the development of oil fields.] – M.: VNIOENG, 2001. – 212 p. 9. Kotjahov F.I. Fizika neftjanyh i gazovyh kollektorov [The physics of oil and gas reservoirs] – M .: Nedra, 1977. – 287 p. 10. Kuchumov R.Ja., Perevozkin I.V. Sistemnyj analiz metodov opredelenija odnositel'nyh fazovyh pronicaemostej pri sozdanii postojannodejstvujushhijh geologo-tehnologicheskijh modelej [System analysis methods for determining the relative permeabilities to create A constantly geological and technological models] // Geology, geophysics and development of oil and gas deposits, 2008. – No. 4. – Pp. 42-46. 11. Pirson S.D. Uchenie o neftjanom plaste (per. s angl.). [The doctrine of the oil reservoir (trans. From English.).] – M., Gostoptekhizdat, 1961. – 570 p. 12. Stepanov S.V. Ispol'zovanie dannyh razrabotki mestorozhdenija nefti dlja poluchenija krivyh fazovyh pronicaemostej [Using data oilfield development curves for permeability] // Oil Industry, 2006. – No. 4. – Pp. 67-69. 13 Timoshenko A.A. Opredelenie odnositel'nyh fazovyh pronicaemostej pri dvuhfaznoj fil'tracii zhidkosti po promyslovym dannym [Determination of relative permeability at a two-phase fluid filtration Fishery Data] // Optimizacija tehnologii razrabotki neftjanyh mestorozhdenij: Sb. statej [Technology Optimization of oil field development: Coll. Articles]



- / Qty. authors; Under the total. Ed. LS Brilliant. – Tyumen Printing House «CESSIJa», 2008. – Pp. 145-154.
14. Tul'bovich B.I. Metody izuchenija porod-kollektorov nefti i gaza. [*Methods of study of reservoir rocks of oil and gas.*] – M.: Nedra, 1979. – 199 p.
15. Utarbaev A.I., Karavaev A.D. Opredelenie odnositel'nyh fazovyh pronicaemostej vody i nefti po promyslovym dannym razrabotki [*Determination of relative permeability of water and oil for production data development*] // Problems of development of the oil industry in Western Siberia (part III), 2004. – Pp. 57-63.
16. Hanin A. A. Porody-kollektory nefti i gaza i ih izuchenie. [*Reservoir rocks of oil and gas and their study.*] – M.: Nedra, 1976. – 295 p.
17. Brown Harry W. Capillary pressure investigations//Trans of AMME. 1951. - V. 192-P. 67.
18. Burdine, N.T., Gournay, L.S., and Reichertz, P.P. Pore size distribution of petroleum reservoir rocks: Petroleum Transactions, AIME, 1950, v. 189, pp. 195-204.
19. Pirson S.J., Boatman E.M. and Nettle R.L. Prediction of Relative Permeability Characteristics of Intergranular Reservoir Rocks from Electrical Resistivity Measurements, Journal of Petroleum Technology (May 1964), pp. 561-570.
20. Leverett M.C. Capillary behavior in porous solids. Trans. AIME, 1941, pp. 152-169.
21. Purcell W.R. Capillary pressures their measurements using mercury and the calculation of permeability therefrom. — Trans. AIME, 1949, v. 186, TP2603, pp. 39-46.
22. Ritter H.L. and Drake L.C. Pore size Distribution in Porous Materials. Ind. Eng. Chem. Analyt. Ed., Vol. 17, 1945, pp. 782-786.
23. Slobod R. L., Chambers A., Prehn W. L. Use of centrifuge for determining connate water, residual oil and capillary curves of small core samples. Trans. Of AIME. 1951. V.192. P.127.



ЛЯХОМСКИЙ А.В. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

ПЕТРОВ Г.М. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

КУТЕПОВ А.Г. (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва)

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ TN

Рассмотрены различные случаи прикосновения человека к аварийному оборудованию в электрической сети напряжением до 1 кВ при разных типах заземления в системе TN. При анализе различных случаев получены аналитические зависимости напряжения прикосновения от различных параметров электрической сети. Для различных случаев прикосновения человека в электрической сети с глухозаземленной нейтралью (система TN) рассмотрены переходные процессы.

Ключевые слова: условия электробезопасности, короткое замыкание, электрическая сеть с изолированной нейтралью, электрическая сеть с глухозаземленной нейтралью, системы заземления, переходный процесс.

Введение

В электрических сетях напряжением до 1 кВ промышленные предприятия горнодобывающей отрасли в основном используют две системы заземления: в местах проведения открытых и подземных горных работ – электрическую сеть с изолированной нейтралью (система IT), для питания электропотребителей поверхностного комплекса – электрическую сеть с глухозаземленной нейтралью (система TN) [1, 2].

В данных электрических сетях одной из основных мер защиты человека от поражения электрическим током является защитное заземление. Вопросам устройства заземления в электрических сетях промышленных предприятий посвящены работы многих авторов [3–10]. В данных работах выполнен анализ поражения электрическим током в различных электрических сетях, рассмотрены вопросы моделирования напряжения прикосновения и устройство защитного заземления в электрических сетях с разными системами заземления.

Однако в приведенных работах нет сравнительного анализа условий электробезопасности в электрических сетях напряжением до 1 кВ с различными типами систем заземления. Промышленные объекты

горнодобывающей отрасли согласно Федеральному закону № 116-ФЗ от 15.03.2013 г. [11] относятся к опасным производственным объектам. На таких объектах согласно [2] должна применяться электрическая сеть с изолированной нейтралью источника питания. Однако в действующих нормативных документах [12] нет достаточной четкости по условиям применения режима нейтрали на участках, находящихся на определенном расстоянии от места ведения горных работ, или на объектах обогатительной фабрики.

В данной статье ставится задача по выполнению анализа условий электробезопасности в электрических сетях напряжением до 1 кВ с системами заземления TN-C, TN-S и TT.

Основная часть

Аналізу была подвержена электрическая сеть напряжением до 1 кВ опытного участка обогатительной фабрики, однолинейная схема электроснабжения которой приведена на рис. 1. На рис. 1 представлена схема электроснабжения с системой заземления TN-S. При определенной корректировке для опытного участка можно получить электрическую сеть и с другими системами заземления: TN-C и TT.



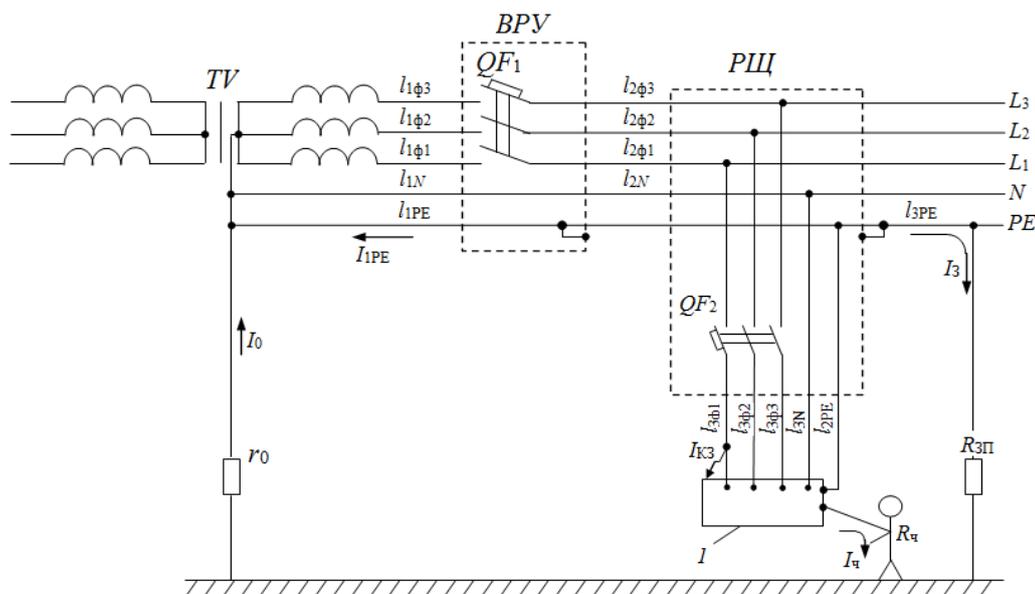


Рис. 1. Схема электроснабжения испытательного участка в системе TN-S:

I – аварийный электроприемник; TV – силовой трансформатор (источник питания); $ВРУ$ – вводно-распределительное устройство; $РЩ$ – распределительный щит; QF_1, QF_2 – автоматические выключатели; L_1, L_2, L_3 – фазы силовой питающей сети; N – нулевой рабочий проводник; PE – нулевой защитный проводник; $R_ч$ – сопротивление тела человека, Ом; r_0 – сопротивление заземляющего устройства нейтрали источника питания, Ом; $R_{3П}$ – сопротивление повторного заземлителя, Ом; $l_{1φ1}, l_{2φ1}, l_{3φ1}$ ($l_{1φ2}, l_{2φ2}, l_{3φ2}$ и $l_{1φ3}, l_{2φ3}, l_{3φ3}$) – соответственно протяженности линий № 1, № 2 и № 3 фазы № 1, фазы № 2 и фазы № 3, м; l_{1N}, l_{2N}, l_{3N} – соответственно протяженности линий № 1, № 2 и № 3 нулевого рабочего проводника, м; $l_{1PE}, l_{2PE}, l_{3PE}$ – протяженности линий № 1, № 2 и № 3 нулевого защитного проводника, м; $I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания, А; $I_ч$ – часть тока КЗ, проходящего через тело человека, А; $I_{1PE}, I_{2PE}, I_{3PE}$ – части тока КЗ, проходящие соответственно через защитные проводники, А; I_0 – часть тока КЗ, проходящая через заземление нейтрали, А

В работах [13, 14] рассматривается замыкание фазы на корпус без участия человека, в работе [15] – при наличии человека в системе TN-C.

В рассматриваемой статье проанализированы различные случаи прикосновения человека к оборудованию, оказавшемуся под напряжением при различных системах заземления: TN-C, TN-S и TT, являющихся разновидностью системы TN.

Для анализа различных случаев системы TN рассматривался типовой участок обогатительной фабрики со следующими данными:

1. Трансформатор ТМ-1600/6-0,4.
2. Линия № 1 (от ТМ до ВРУ): шина АДЗ1 80×10 (3 шт.), $l_1 = 10$ м.
3. Линия № 2 (от ВРУ до РЩ № 1): кабель АНРГ 4×185 (2 шт.), $l_2 = 200$ м.
4. Линия № 3 (от РЩ № 1 до ЭД: шаровая мельница – ШМ): $P_n = 25$ кВт, $l_3 = 50$ м.

5. Магистральная стальная шина 40×4, $l = 270$ м (PE_1).

6. Стальная шина от ШМ до магистральной стальной шины 40×4, $l = 10$ м (PE_2).

7. Стальная шина от ШМ до повторного заземлителя 40×4, $l = 50$ м (PE_3).

На рис. 2 представлена модель электрической сети при замыкании фазы на корпус электрооборудования с системой заземления TN-S при пятипроводной схеме электроснабжения.

При анализе в качестве пола был принят бетон повышенной влажности ($R_n = 300$ Ом), а в качестве обуви была принята кожа влажная ($R_{об} = 500$ Ом) и резиновая обувь влажная ($R_{об} = 1500$ Ом). Сопротивления пола и обуви были приняты по материалам М.Р. Найфельда [16].



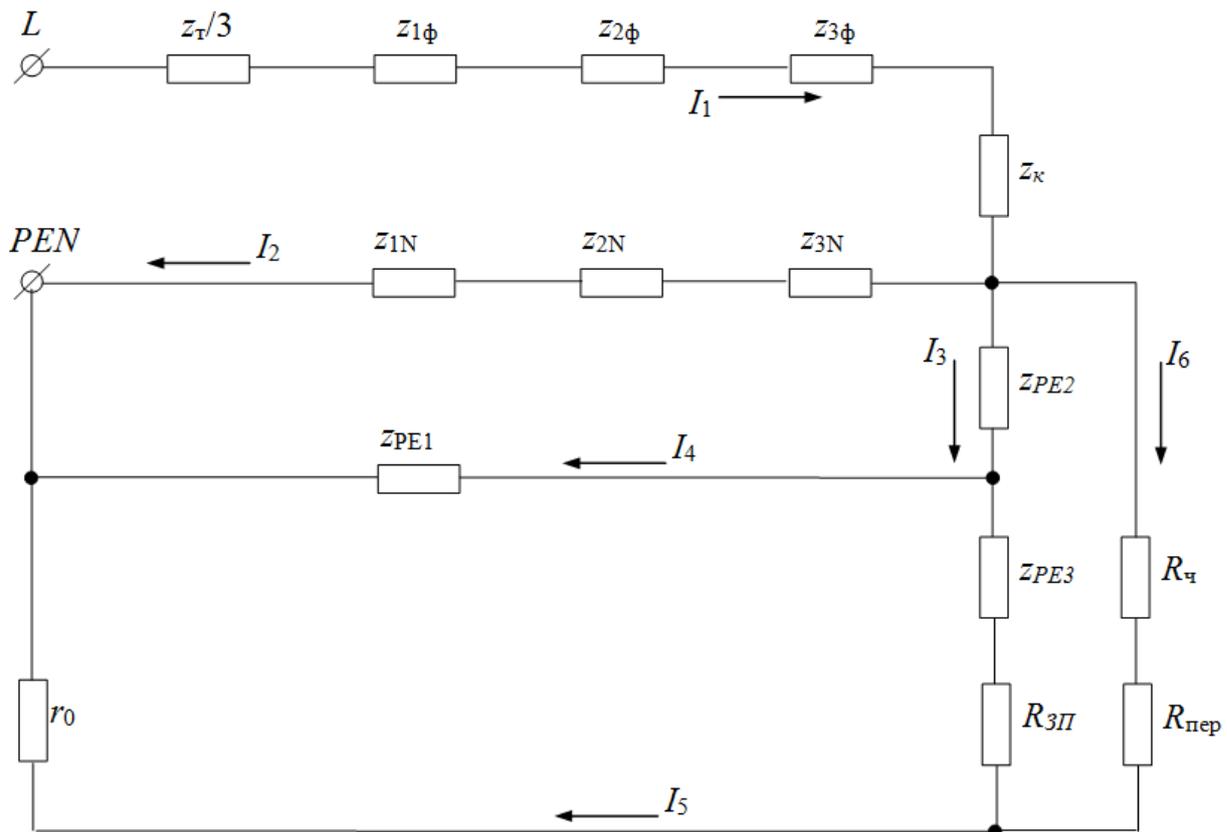


Рис. 2. Общая схема замещения:

z_T – полное сопротивление трансформатора, Ом; z_k – сопротивление контакта в месте замыкания, Ом; $R_{пер} = R_n + R_{об}$ – переходное сопротивление между полом и человеком, Ом; R_n – сопротивление пола, Ом; $R_{об}$ – сопротивление обуви, Ом

При анализе данной схемы были рассмотрены три случая:

- прикосновение к аварийному оборудованию в случае отсутствия повторного заземлителя;
- прикосновение к аварийному оборудованию, расположенному от повторного заземлителя на определенном расстоянии;
- прикосновение к аварийному оборудованию, расположенному непосредственно у повторного заземлителя.

Для всех случаев были получены аналитические выражения токов и напряжения прикосновения. Для электрической сети напряжением до 1 кВ с системой заземления TN-S они выглядят следующим образом:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_\phi \cdot Z_{10} + Z_{11}}{Z_1 + R_k \cdot Z_{10} + Z_{11} + Z_{10} \cdot Z_{11}};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_\phi \cdot Z_{10}}{Z_1 + R_k \cdot Z_{10} + Z_{11} + Z_{10} \cdot Z_{11}};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_\phi \cdot Z_{11}}{Z_1 + R_k \cdot Z_{10} + Z_{11} + Z_{10} \cdot Z_{11}};$$

$$\dot{U}_{пр} = \dot{U}_\phi \times \frac{R_k \cdot Z_4 + Z_7 \cdot Z_{10} + Z_{11} + Z_7 \cdot Z_{11} \cdot R_ч + R_{пер}}{Z_4 + Z_7 \cdot [Z_1 + R_k \cdot Z_{10} + Z_{11} + Z_{10} \cdot Z_{11}]}$$

При анализе были получены зависимости напряжения прикосновения от следующих параметров электрической сети:

- R_k – контактное сопротивление в месте контакта;
- $R_{пер}$ – переходное сопротивление;
- $R_{3П}$ – сопротивление повторного заземлителя;



• соотношения цепи фазного проводника и цепи заземления;

• соотношения цепи заземления нейтрали и цепи сопротивления человека.

В табл. 1 и на рис. 3 приведена зависимость напряжения прикосновения от соотношения $r_0/R_{зп}$, в табл. 2 и на рис. 4 – зависимость напряжения прикосновения от соотношения сопротивлений цепи фазного

проводника и цепи заземления, в табл. 3 и на рис. 5 – зависимость напряжения прикосновения от сопротивления повторного заземлителя $R_{зп}$, в табл. 4 и на рис. 6 – зависимость напряжения прикосновения от соотношения $r_0/R_ч$ электрической сети напряжением до 1 кВ в системах заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT*.

Таблица 1

Зависимость $U_{пр}=f(r_0/R_{зп})$ в системах заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT*

Система заземления <i>TN-C</i>						
$r_0/R_{зп}$	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0
$U_{пр}$, В	94,74	82,12	66,25	50,29	37,46	31,94
Система заземления <i>TN-S</i>						
$r_0/R_{зп}$	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0
$U_{пр}$, В	74,31	63,01	48,60	33,86	21,83	16,6
Система заземления <i>TT</i>						
$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$	$r_0/R_{зп}$
$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В	$U_{пр}$, В

Таблица 2

Зависимость $U_{пр}$ от соотношения сопротивлений цепи фазного проводника и цепи заземления в системах *TN-C*, *TN-S* и *TT*

Система заземления <i>TN-C</i>						
$r_{ф}/r_{заземл.}$	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$U_{пр}$, В	72,67	58,26	41,71	32,56	26,22	22,52
Система заземления <i>TN-S</i>						
$r_{ф}/r_{заземл.}$	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$U_{пр}$, В	89,63	62,05	38,51	28,56	21,89	18,01
Система заземления <i>TT</i>						
$r_{ф}/r_{заземл.}$	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$U_{пр}$, В	77,21	66,34	51,76	42,42	35,95	31,19

Таблица 3

Зависимость $U_{пр}=f(R_{зп})$ в системах заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT*

Система заземления <i>TN-C</i>				
$R_{зп}$, Ом	0,5	2,0	4,0	10,0
$U_{пр}$, В	30,78	51,03	66,46	86,63
Система заземления <i>TN-S</i>				
$R_{зп}$, Ом	0,5	2,0	4,0	10,0
$U_{пр}$, В	29,72	66,41	90,90	131,42
Система заземления <i>TT</i>				
$R_{зп}$, Ом	0,5	2,0	4,0	10,0
$U_{пр}$, В	11,76	30,82	43,43	57,88

Таблица 4

Зависимость $U_{пр}=f(r_0/R_ч)$ в системах заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT*

Система заземления <i>TN-C</i>						
$r_0/R_ч$	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,02	0,04
$U_{пр}$, В	114,07	114,04	113,78	113,47	112,85	111,62
Система заземления <i>TN-S</i>						
$r_0/R_ч$	0,002	0,004	0,01	0,02	0,04	0,1
$U_{пр}$, В	92,51	92,41	92,10	91,59	90,60	87,74
Система заземления <i>TT</i>						
$r_0/R_ч$	0,002	0,004	0,01	0,02	0,04	0,1
$U_{пр}$, В	95,62	95,51	95,20	94,67	93,64	90,69



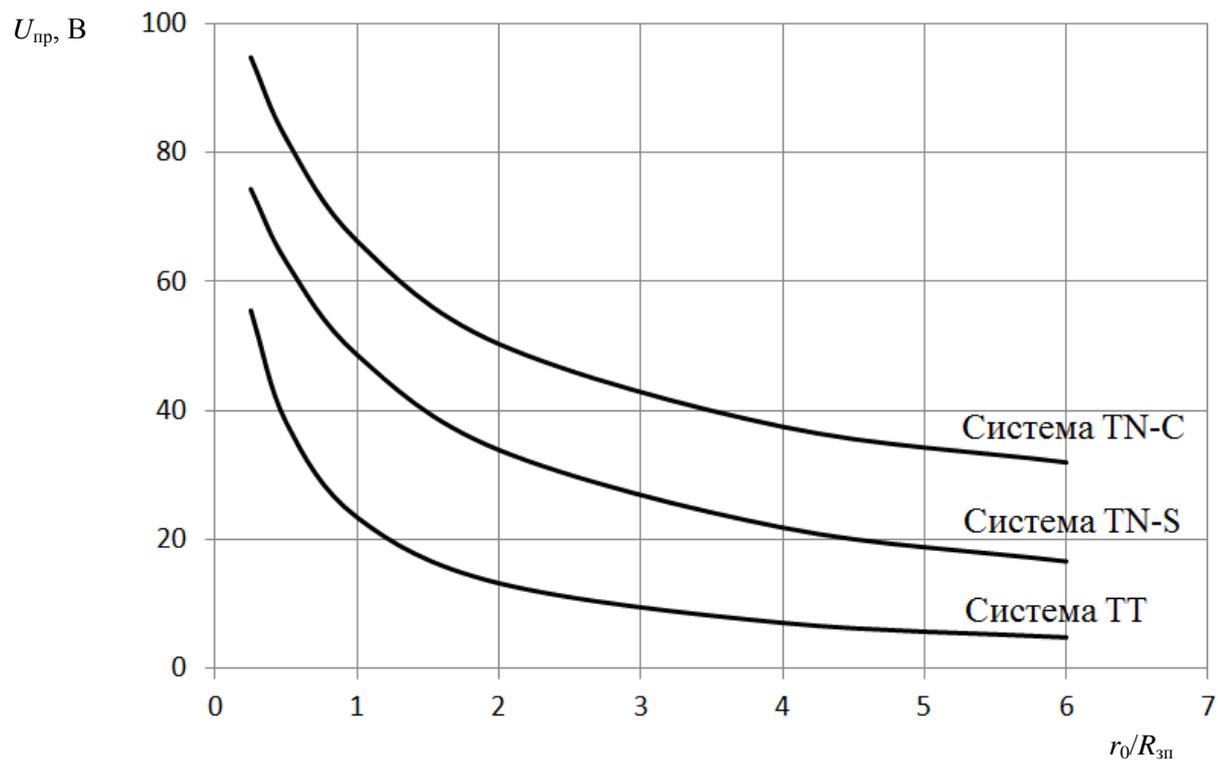


Рис. 3. Зависимость напряжения прикосновения от соотношения $r_0/R_{зп}$

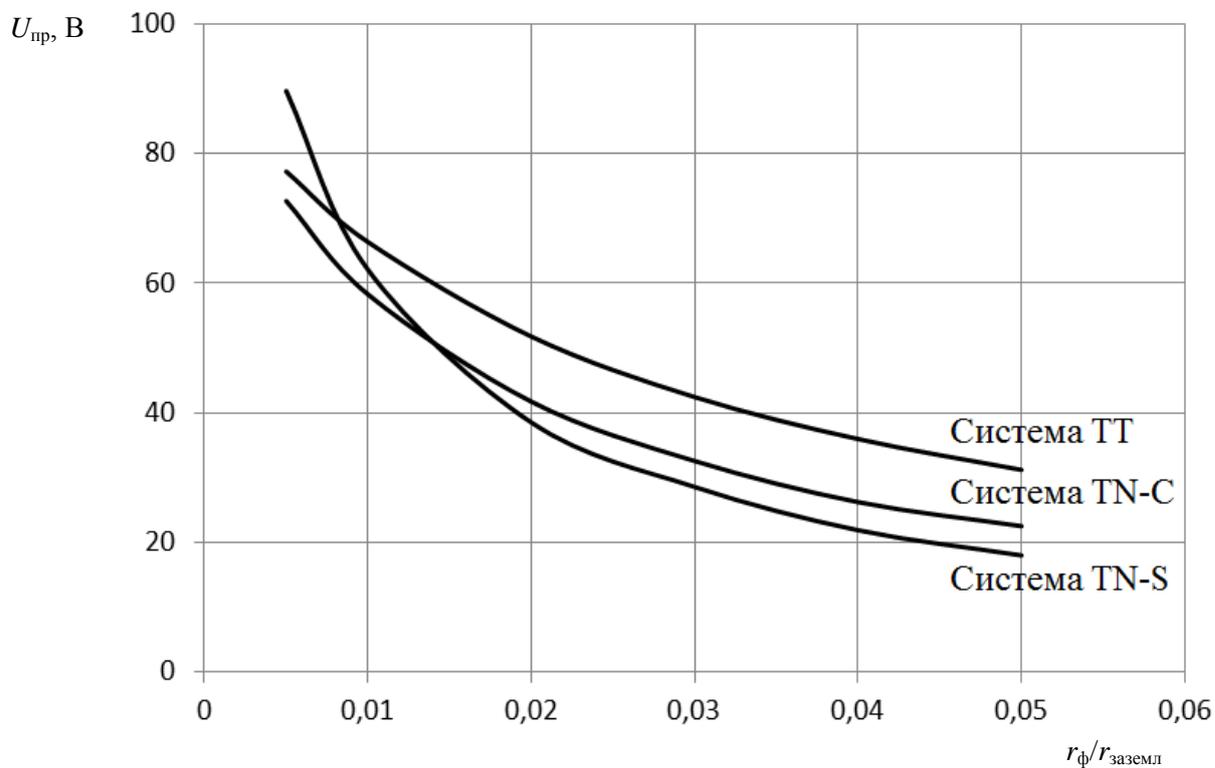


Рис. 4. Зависимость напряжения прикосновения от соотношения сопротивлений цепи фазного проводника и цепи заземления

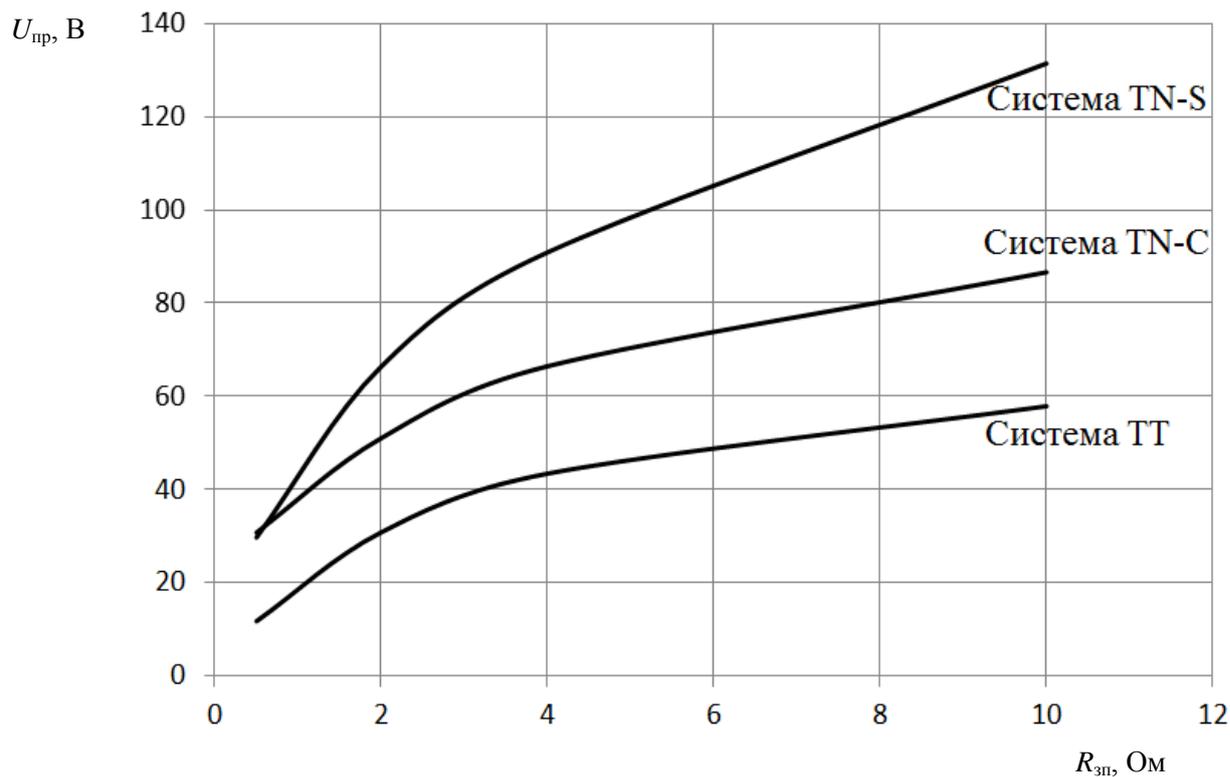


Рис. 5. Зависимость напряжения прикосновения от сопротивления повторного заземлителя

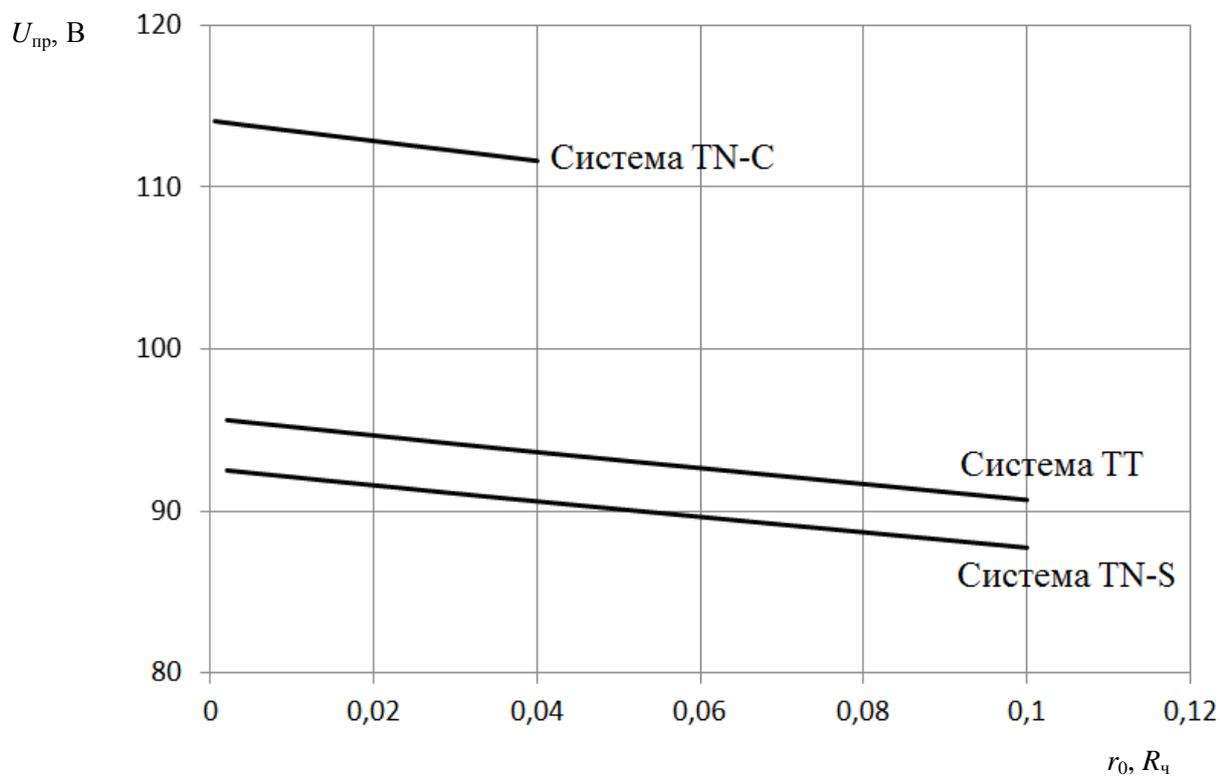


Рис. 6. Зависимость напряжения прикосновения от соотношения $r_0/R_{ч}$

При анализе данных табл. 1–4 и рис. 3–6 можно сделать вывод, что наиболее безопасной является электрическая сеть с системой заземления *TN-S*. В некоторых случаях более безопасной является система *TT*, но согласно п. 1.7.59 ПУЭ (7-е издание) [1] питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система *TT*), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе *TN* не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО. При этом должно быть соблюдено условие

$$R_a \cdot I_a \leq 50 \text{ В,}$$

где I_a – ток срабатывания защитного устройства; R_a – суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, при применении УЗО для защиты нескольких электроприемников – заземляющего проводника наиболее удаленного электроприемника.

В электрических сетях промышленных предприятий поражения электрическим током в большинстве случаев возникают в момент повреждения изоляции [3], т. е. при переходном режиме. Вследствие чего выполним анализ величины напряжения прикосновения в электрических сетях напряжением до 1 кВ с разными системами заземления при данном режиме. Параметры напряжения прикосновения в электрических сетях с системами заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT* приведены в табл. 5.

Таблица 5

Параметры напряжения прикосновения при переходном режиме

Система заземления <i>TN-C</i>	
Параметры	Значения
Принужденная составляющая, $u_{пр\ прик}(t)$	$88,77 \cdot \sin(\omega t + 91,8^\circ)$
Свободная составляющая, $u_{св\ прик}(t)$	$90,84 \cdot e^{-1165t} - 2,11 \cdot e^{-50190t}$
Напряжение прикосновения в переходном режиме, $u_{прик}(t)$	$88,77 \cdot \sin(\omega t + 91,8^\circ) + 90,84 \cdot e^{-1165t} - 2,11 \cdot e^{-50190t}$
Напряжение прикосновения при $t = 0$	$u_{прик}(t) = 88,73 \text{ В}$
Система заземления <i>TN-S</i>	
Принужденная составляющая, $u_{пр\ прик}(t)$	$73,226 \cdot \sin(\omega t + 88,05^\circ)$
Свободная составляющая, $u_{св\ прик}(t)$	$73,195 \cdot e^{-1262t} - 0,0153 \cdot e^{-6022765t}$
Напряжение прикосновения в переходном режиме, $u_{прик}(t)$	$73,226 \cdot \sin(\omega t + 88,05^\circ) + 73,195 \cdot e^{-1262t} - 0,0153 \cdot e^{-6022765t}$
Напряжение прикосновения при $t = 0$	$u_{прик}(t) = 73,18 \text{ В}$
Система заземления <i>TT</i>	
Принужденная составляющая, $u_{пр\ прик}(t)$	$113,96 \cdot \sin(\omega t + 62,6^\circ)$
Свободная составляющая, $u_{св\ прик}(t)$	$101,19 \cdot e^{-1218t} - 0,0063 \cdot e^{-19469426t}$
Напряжение прикосновения в переходном режиме, $u_{прик}(t)$	$113,96 \cdot \sin(\omega t + 62,6^\circ) + 101,19 \cdot e^{-1218t} - 0,0063 \cdot e^{-19469426t}$
Напряжение прикосновения при $t = 0$	$u_{прик}(t) = 101,18 \text{ В}$



Заключение

1. Рассмотренные системы не обеспечивают надлежащую электробезопасность. Напряжение прикосновения данных сетей превышает 50 В.

2. Для повышения электробезопасности в данных сетях дополнительно следует применить и другие меры защиты от поражения электрическим током: уравнивание потенциалов и автоматическое отключение питания.

3. Анализ данных табл. 5 позволяет сделать вывод, что из рассмотренных систем заземления *TN-C*, *TN-S* и *TT* более безопасной является система *TN-S*.

Библиографический список

1. *Правила устройства электроустановок. 7-е издание.* – М.: ЗАО «Энергосервис», 2002.
 2. *Электрификация горного производства: Учеб. для вузов: В 2 т. / Под ред. Л.А. Пучкова и Г.Г. Пивняка.* – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 1105 с.
 3. Манойлов В.Е. *Основы электробезопасности.* – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 480 с.
 4. Долин П.А. *Основы техники безопасности в электроустановках.* – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
 5. Rappaport, E. Does grounding make a system safe?: analyzing the factors that contribute to electrical safety. *IEEE Industry Applications Magazine.* Volume 21, Issue 3, 1 May 2015, Article number 7047742, pp. 48-57.
 6. Freshi, F., Mitolo, M., Tommasini, R. Electrical model of building structures under ground-fault conditions. Part I. *IEEE Transactions on Industry Applications.* Volume 2015, 2015, Article number 07283608.

7. Barrett, M., O'Connell, K., Sung, C. Electrical safety and touch voltage design. *Building Services Engineering Research and Technology.* Volume 31, Issue 4, November 2010, pp. 325-340.
 8. Oslon, A.B., Kostruba, S.I. A model of the grounding device of an electrical installations in nonuniform ground. *Elektrichestvo.* Issue 1, 2005, pp. 15-18.
 9. Yong, J., Li, L., Wang, X., Zeng, L., Xu, X. Theoretical analysis on the protections properties against electric shock of low voltage DC distribution system with different grounding types. *Chongqing Daxue Xuebao/Journal of Chongqing University.* Volume 36, Issue 11, November 2013, pp. 21-26.
 10. Parise, G., Mitolo, M. A novel approach to the electrical safety of low-voltage installations: The TN-Island grounding system. *European Transactions on Electrical Power.* Volume 22, Issue 5, July 2012, pp. 616-626.
 11. Федеральный закон № 116-ФЗ от 15.03.2013 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», 2013.
 12. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработки твердых полезных ископаемых», 2014.
 13. Петров Г.М., Кутепов А.Г., Саркисян Р.М. *Анализ заземляющей системы в электрической сети с глухозаземленной нейтралью источника питания // Горный информационный аналитический бюллетень.* – 2012. – № 6. – С. 270–275.
 14. Кутепов А.Г., Петров Г.М. *Исследование заземляющей сети машин и оборудования горной промышленности // Научный вестник МГГУ.* – № 5. – 2012. – С. 50-58.
 15. Петров Г.М., Кутепов А.Г. Анализ системы заземления TN при эксплуатации электрических сетей обогатительных фабрик // Горный информационный аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 272-281.
 16. Найфельд М.Р. *Заземление, защитные меры электробезопасности.* – М.: Энергия, 1971. – 312 с.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 4, pp. 40-47

Title:	Analysis of electrical safety conditions in system TN
Author 1	Name&Surname: Alexander V. Lyahomsky Company: The National University of Science and Technology MISiS Adress: Russia, 119049, Moscow, Leninsky Prospect, 6, office 331 Scientific Degree: Doctor of Technical Sciences Work Position: Head of Department of "Power engineering and energy efficiency of the mining industry" Contacts: mggu.eegp@mail.ru



Author 2	Name&Surname: Gennady M. Petrov Company: The National University of Science and Technology MISiS Adress: Russia, 115408, Moscow, Borisov ponds st., 48, k. 1, Apt. 158 Scientific Degree: Candidate of Technical Sciences Work Position: Professor of Department of "Power engineering and energy efficiency of the mining industry" Contacts: petrovgm@mail.ru.
Author 3	Name&Surname: Anton G. Kutepov Company: The National University of Science and Technology MISiS Adress: Russia, 117312, Moscow, Prospekt 60-letiya Oktyabrya st., 11, Apt. 717 Work Position: Senior Lecturer of Department of "Power engineering and energy efficiency of the mining industry" Contacts: antkut@mail.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2016-4-40-47
Abstract:	Examined various cases of human touch to emergency equipment in the mains voltage up to 1 kV at different types of grounding system TN. In analyzing the various cases derived the analytical contact voltage relations depending on various parameters of the electrical network. For different cases of human touch in the TN system are reviewed transitional processes.
Keywords:	electrical safety conditions, short circuit, electrical network with insulated neutral, electric network with earthed neutral, grounding systems, transitional process.
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pravila ustroystva elektroustanovok. Sed'moye izdaniye [<i>Rules for Electrical Installations. Seventh Edition</i>]. – M.: ZAO "Energoservis", 2002. 2. Elektrifikatsiya gornogo proizvodstva: Uchebnik dlya vuzov: V 2 t. [<i>Electrification of mining: A Textbook for universities: In 2 t.</i>] / Ed. Puchkov L. A. and Pivnyak G. G. – M.: Publishing house of the Moscow State Mining University, 2007. – 1105 p. 3. Manoylov V.E. Osnovy elektrobezopasnosti [<i>Fundamentals of electrical safety</i>]. – L.: Energoatomizdat, 1991. – 480 p. 4. Dolin P.A. Osnovy tekhniki bezopasnosti v elektroustanovkakh [<i>Basics of safety in electrical installations</i>]. - M.: Energoatomizdat, 1984. - 448 p. 5. Rappaport, E. Does grounding make a system safe?: analyzing the factors that contribute to electrical safety. IEEE Industry Applications Magazine. Volume 21, Issue 3, 1 May 2015, Article number 7047742, pp. 48-57. 6. Freshi, F., Mitolo, M., Tommasini, R. Electrical model of building structures under ground-fault conditions. Part I. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 2015, 2015, Article number 07283608. 7. Barrett, M., O'Connell, K., Sung, C. Electrical safety and touch voltage de-sign. Building Services Engineering Research and Technology. Volume 31, Issue 4, November 2010, pp. 325-340. 8. Oslon, A.B., Kostruba, S.I. A model of the grounding device of an electrical installations in nonuniform ground. Elektrichestvo. Issue 1, 2005, pp. 15-18. 9. Yong, J., Li, L., Wang, X., Zeng, L., Xu, X. Theoretical analysis on the protections properties against electric shock of low voltage DC distribution system with different grounding types. Chongqing Daxue Xuebao/Journal of Chongqing University. Volume 36, Issue 11, November 2013, pp. 21-26. 10. Parise, G., Mitolo, M. A novel approach to the electrical safety of low-voltage installations: The TN-Island grounding system. European Transactions on Electrical Power. Volume 22, Issue 5, July 2012, pp. 616-626. 11. Federal'nyy zakon № 116-FZ ot 15.03.2013 g. "O promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"yektov" [<i>Federal Law No. 116-FZ of 03.15.2013 "On industrial safety of hazardous production facilities"</i>], 2013. 12. Federal'nyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti "Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopayemykh" [<i>The federal rules and regulations in the field of industrial safety "Rules of safety at mining and processing of solid minerals"</i>], 2014. 13. Petrov G.M., Kutepov A.G., Sarkisyan R.M. Analiz zazemlyayushchey sistemy v



elektricheskoy seti s glukhozazemlennoy neytral'yu istochnika pitaniya [*Analysis of the grounding system in an electric network with earthed neutral power supply*]. // Mining informational and analytical bulletin, No. 6. - M.: Publishing House "Book Mountain", 2012. pp. 270 - 275.

14. Kutepov A.G., Petrov G.M. Issledovaniye zzemlyayushchey seti mashin i oborudovaniya gornoy promyshlennosti [*Research grounding network of machines and equipment in mining*]. // Scientific Herald of Moscow State Mining University, № 5, 2012. pp. 50-58.

15. Petrov G.M., Kutepov A.G. Analiz sistemy zazemleniya TN pri ekspluatatsii elektricheskikh setey obogatitel'nykh fabric [*Analysis of the earthing system TN when operating of electric networks of processing plants*] // Mining informational and analytical bulletin, № 6. - M.: Publishing House "Book Mountain", 2015, pp. 272-281.

16. Nayfel'd M.R. Zazemleniye, zashchitnyye mery elektrobezopasnosti [*Grounding, electrical safety protective measures*]. – M.: Energia, 1971. – 312 p.



КУЗНЕЦОВ Н.М. (Центр физико-технических проблем энергетики Севера Федерального государственного бюджетного учреждения науки Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты)

МОРОЗОВ И.Н. (Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Рассмотрена возможность прогнозирования электропотребления для шаровой мельницы обогатительной фабрики при внедрении интеллектуальной системы прогнозирования. Составлена модель для определения потребляемой мощности электроприводом шаровой мельницы. Выполнено моделирование работы мельницы без нагрузки и при измельчении руды. Результаты моделирования подтверждены инструментальными замерами мощности электродвигателя при различных режимах работы мельницы. Предложенная модель определения потребляемой мощности шаровой мельницы позволяет произвести оценку эффективности потребления электрической энергии электроприводом мельницы и определить качественные показатели систем регулирования при внедрении интеллектуальной системы прогнозирования электропотребления на обогатительной фабрике, контролировать график нагрузки; прогнозировать производственные циклы и пиковые значения энергопотребления; перераспределять нагрузки и анализировать изменения режима работы мельницы.

Ключевые слова: горные машины, электропотребление, анализ энергопотребления, горнотехнические условия, измельчение, электропривод, электродвигатель, структурная схема, преобразователь частоты, потребляемая мощность, математическое моделирование, статистические методы.

В современных условиях эффективное использование энергоресурсов в горной промышленности является важной задачей. Особенно остро стоит проблема оптимизации электропотребления, которая включает в себя задачи нормирования, планирования и регулирования электропотребления, организации учета электроэнергии. Решение этой проблемы рассматривается практически на всех уровнях: корпоративный; отраслевой; национальной экономики; экономического союза; мировой экономики [1–12, 14, 15, 17–33, 35–41, 45, 52]. Горная отрасль не стала исключением, и экспертам приходится учитывать специфику горных предприятий в разработке и адаптации новых технологий энергосбережения к условиям отрасли.

Специфические показатели энергетических характеристик для машинного оборудования горнодобывающей промышленности требуют специальной методики нормирования и анализа электропотребления с использованием математической статистики и теории вероятностей. В более ранних исследованиях определены энергетические

характеристики энергоемких механизмов горной промышленности, выполнен анализ факторов, которые влияют на расход электрической энергии, и произведена оценка степени их влияния на электропотребление [43, 44, 50].

Потребление электроэнергии в горной промышленности зависит от множества горно-технологических факторов, большинство из которых в настоящее время не учитывается при анализе и планировании на всех уровнях. В связи с этим необходимо установление взаимосвязей между технологическими и энергетическими режимами производственных процессов. При этом во многих случаях оптимальным режимам электропотребления соответствует максимальная производительность технологического оборудования с минимальными удельными расходами электроэнергии. Поэтому интенсификация производственных процессов и улучшение их организации почти всегда обуславливают экономию электроэнергии. В этом смысле удельный расход электроэнергии представляет собой обобщающий показатель



технико-экономического уровня производства в целом. Основным фактором, влияющим на электропотребление, является производительность. Характер изменения электрической нагрузки потребителей предприятий определяется технологическими режимами работы установок и представляется графиками нагрузок. Режимы работы потребителей на предприятиях зависят от многих факторов, определяющих технологический процесс производства, что, в свою очередь, оказывает решающее влияние на потребление электроэнергии электроприемниками.

Установление закономерностей электропотребления для энергоемких установок и технологических переделов от производственных факторов является первоочередной задачей при анализе, нормировании и планировании расхода электроэнергии, а также для оптимизации режима потребления энергии. При этом достоверность и точность результатов, полученных на этом этапе, в значительной мере определяют обоснованность плановых расчетов и экономических показателей производства в целом. Для создания методического инструмента при обосновании управленческих решений и автоматизации процесса их подготовки на горных предприятиях необходимо внедрение информационно-моделирующих систем анализа электропотребления.

Построение информационно-моделирующей системы, возможности которой позволяют решить намеченный круг задач, должно осуществляться на основе концепции единства методического, программного, информационного, технического и организационного обеспечения.

Информационно-моделирующая система электропотребления должна включать в себя обширный банк данных энерготехнологических и производственных показателей предприятия, в ней должны быть

предусмотрены возможности агрегирования и разверстки информации, а также аппарат заполнения отсутствующей информации ее экспертно-оценочными значениями, должен быть адаптируемым к технологической системе любой структуры (энергоустановка, технологический передел, предприятие).

Для объективного обоснования принимаемых решений необходимы заблаговременные оценки их возможных и наиболее вероятных результатов, поэтому одной из главных задач при формировании планов и их нормативной базы является подготовка прогнозов. При перспективном планировании электропотребления в составе информации непременно используются прогнозные значения производственных показателей, поэтому основным методом для определения будущих значений расхода электроэнергии является метод многофакторного регрессионного моделирования. Обычно он дает хорошие результаты, если изменения расхода электроэнергии и механизм формирования ее значения устойчивы и сохраняются в планируемом периоде.

Анализ энергопотребления предприятия, проводимый системой, дает возможность прогнозировать электропотребление, разрабатывать рекомендации по формированию политики технического перевооружения, рассчитывать как плановые, так и фактические удельные расходы электроэнергии при отклонении технологических параметров от плановых, указывая при этом, какие факторы повлияли на изменение удельных расходов.

Измельчение полезных ископаемых – это один из наиболее важных процессов в обогащении и перерабатывающей промышленности. Обогащительное производство является самым энергоемким. Анализ энерготехнологических данных показал, что для обогащительных фабрик наблюдается постоянное увеличение



удельных расходов электроэнергии, что связано с уменьшением содержания полезного компонента в руде [48–50].

Мощность, потребляемая электродвигателем мельницы, зависит от производительности, шаровой загрузки, крупности исходного и конечного продукта, типа и состояния футеровки и других факторов руде [49].

В данной работе для определения мощности привода мельниц используется математическое моделирование в среде MatLab.

Структурная схема электропривода мельницы с преобразователем частоты и возбудителем представлена на рис. 1 [51].

Данная структурная схема фактически является моделью электропривода для программы MatLab. Таким образом, зная параметры преобразователя частоты, тиристорного возбудителя и синхронного двигателя, можно смоделировать процессы пуска и втягивания в синхронизм синхронного

электродвигателя, а также исследовать работу электропривода при различных режимах загрузки. В момент времени $t = 0$ с тиристорный возбудитель отключен от двигателя. Двигатель запитан от преобразователя. В момент времени $t = 20$ с (уставка реле времени реальной системы) осуществляется подключение электродвигателя к сети и подается возбуждение на ротор двигателя. Нарастание тока возбуждения осуществляется в функции скольжения двигателя. Двигатель втягивается в синхронизм [13, 16, 34].

При математическом описании синхронной машины используются общепринятые допущения и ограничения, а именно:

- магнитная система машины не насыщена; потери в стали отсутствуют;
- фазные обмотки машины симметричны и сдвинуты строго на 120° (для трехфазных машин);

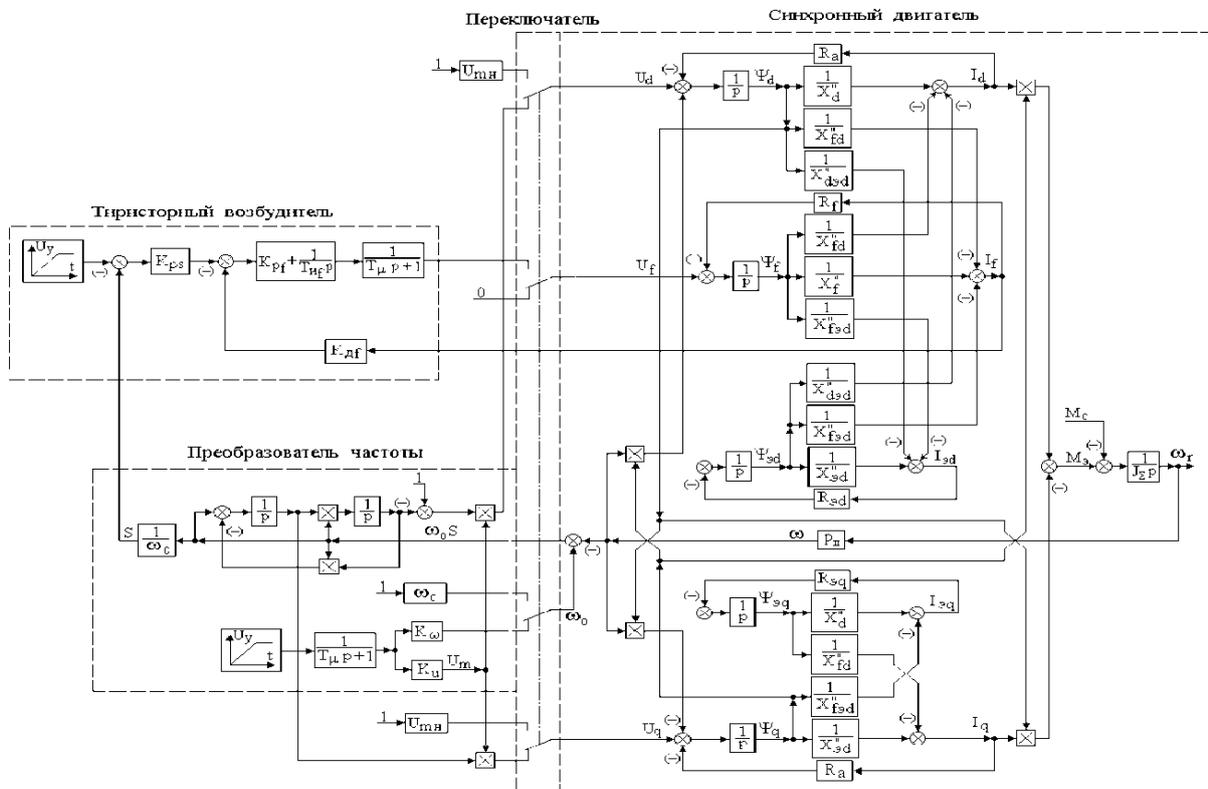


Рис. 1. Структурная схема электропривода



– магнитодвижущие силы обмоток и магнитные поля распределены вдоль окружности воздушного зазора по синусоидальному закону;

– величина воздушного зазора постоянна;

– ротор машины симметричен;

– реальная распределенная обмотка заменена эквивалентной сосредоточенной, создающей ту же магнитодвижущую силу.

Преобразователь частоты, реализующий закон управления

$$U_m / \omega_c = \text{const},$$

может быть представлен в виде двух консервативных звеньев с переменными коэффициентами, на выходе которых получаются гармонические сигналы с переменной частотой и с единичной амплитудой. Передаточные функции этих звеньев имеют вид:

$$W_1(p) = \frac{(\omega_c - \omega)^2}{p^2 + (\omega_c - p_n \omega)^2};$$

$$W_2(p) = \frac{(\omega_c - \omega)p}{p^2 + (\omega_c - p_n \omega)^2},$$

где p – оператор Лапласа.

На выходе этих звеньев включаются два усилительных звена с переменным коэффициентом усиления, пропорциональным амплитудному значению выходного

напряжения преобразователя частоты U_m . Переменные коэффициенты реализуются с помощью блоков умножения. Задающее воздействие преобразователя частоты может быть представлено в виде задатчика интенсивности, представляющего собой интегрирующее звено, на входе которого присутствует единичный входной сигнал, а на выходе – единичное ограничение. Такая математическая модель реализует идеальный преобразователь частоты, то есть преобразователь частоты с гармоническим выходом без учета высших гармонических составляющих. Поскольку выбранный преобразователь частоты оснащен системой широтно-импульсной модуляции выходного напряжения такое допущение можно считать оправданным. Структурная схема, реализующая идеальный преобразователь частоты с гармоническим выходом, приведена на рис. 2.

Тиристорный возбудитель может реализовывать различные алгоритмы управления. В данной схеме выбран алгоритм управления по току возбуждения и по скольжению синхронного двигателя. Контур регулирования тока возбуждения синхронного двигателя выполнен с ПИ-регулятором. Структурная схема контура регулирования тока возбуждения представлена на рис. 3.

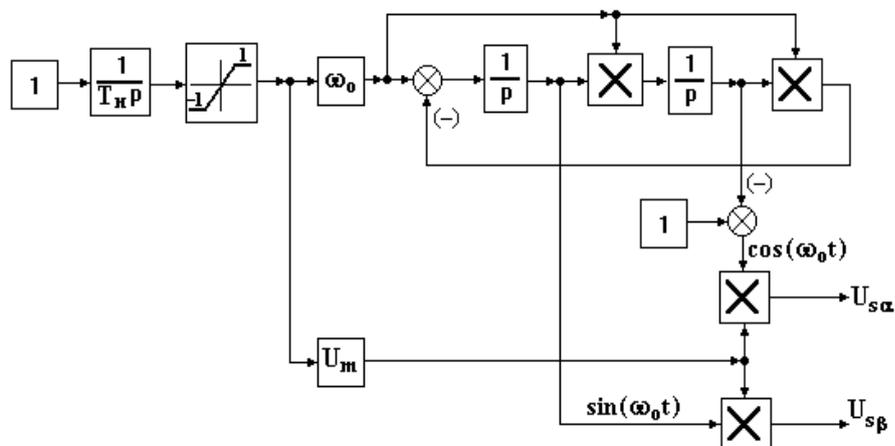


Рис. 2. Структурная схема преобразователя частоты



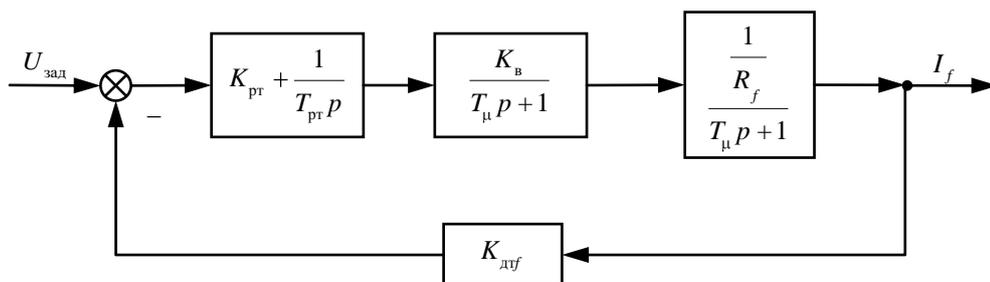


Рис. 3. Структурная схема контура регулирования тока возбуждения

Коэффициент усиления ПИ-регулятора тока возбуждения при настройке контура регулирования тока по критерию технического (модульного) оптимума должен быть равен

$$k_{пр} = \frac{X_f}{2T_\mu k_в k_{дтф} \omega_c},$$

где $T_\mu = 0,01$ с – постоянная времени тиристорного возбудителя;

$k_в$ – коэффициент усиления тиристорного возбудителя;

$k_{дтф}$ – коэффициент усиления датчика тока возбуждения синхронного двигателя.

Постоянная времени интегрирования ПИ-регулятора тока возбуждения должна быть равна

$$T_{пр} = \frac{2T_\mu k_в k_{дтф}}{R_f}.$$

В этом случае обеспечивается полная компенсация электромагнитной инерционности цепи возбуждения синхронного двигателя, поскольку соблюдается условие

$$k_{пр} T_{пр} = \frac{X_f}{\omega_c R_f} = T_f,$$

где T_f – электромагнитная постоянная времени обмотки возбуждения синхронного двигателя.

При такой настройке в контуре действует только малая эквивалентная постоянная времени тиристорного возбудителя T_μ , определяемая запаздыванием системы импульсно-фазового управления СИФУ.

Передаточная функция контура регулирования тока возбуждения синхронного двигателя, настроенного по критерию технического оптимума, имеет вид

$$W_{пртф}(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}.$$

Контур регулирования скольжения синхронного двигателя выполнен с П-регулятором и также настраивается по критерию технического оптимума. Структурная схема контура регулирования скольжения представлена на рис. 4.

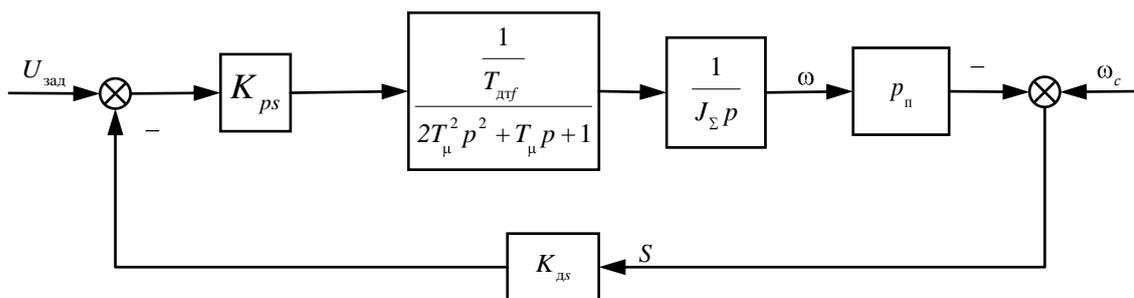


Рис. 4. Структурная схема контура регулирования скольжения



Коэффициент усиления П-регулятора скорости при настройке контура регулирования тока по критерию технического оптимума должен быть равен:

$$k_{ps} = \frac{k_{дтг} J_{\Sigma}}{4T_{\mu} k_{дс}}$$

При такой настройке в системе действует только малая эквивалентная постоянная времени тиристорного возбудителя T_{μ} .

Передаточная функция контура регулирования скольжения синхронного двигателя, настроенного по критерию технического оптимума, имеет вид:

$$W_{ps}(p) = \frac{1}{8T_{\mu}^3 p^3 + 8T_{\mu}^2 p^2 + 4T_{\mu} p + 1} k_{дс}$$

Поскольку при частотном пуске синхронного двигателя частота питающего

напряжения изменяется, в структурную схему подставлялись числовые значения не индуктивных сопротивлений, а индуктивностей обмоток в соответствии с выражением

$$L = \frac{X}{2\pi f_c}$$

В программе MatLab (среда Simulink) составлена схема на основе структурной схемы системы ПЧ-СД и представлен график изменения потребляемой мощности синхронного электродвигателя шаровой мельницы при различных режимах работы (рис. 5).

Результаты математического моделирования были сопоставлены с экспериментальными данными, снятыми прибором AR-5 (рис. 6), и показали адекватность разработанной модели.

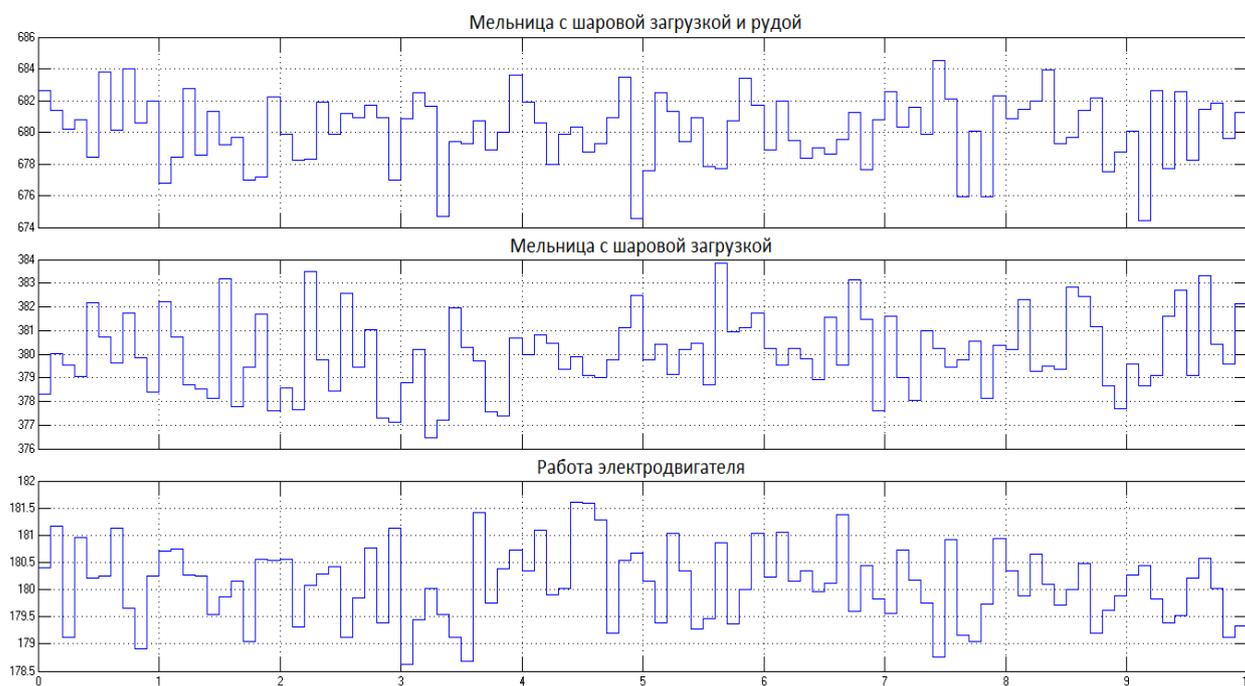


Рис. 5. Мощность электродвигателя шаровой мельницы, кВт

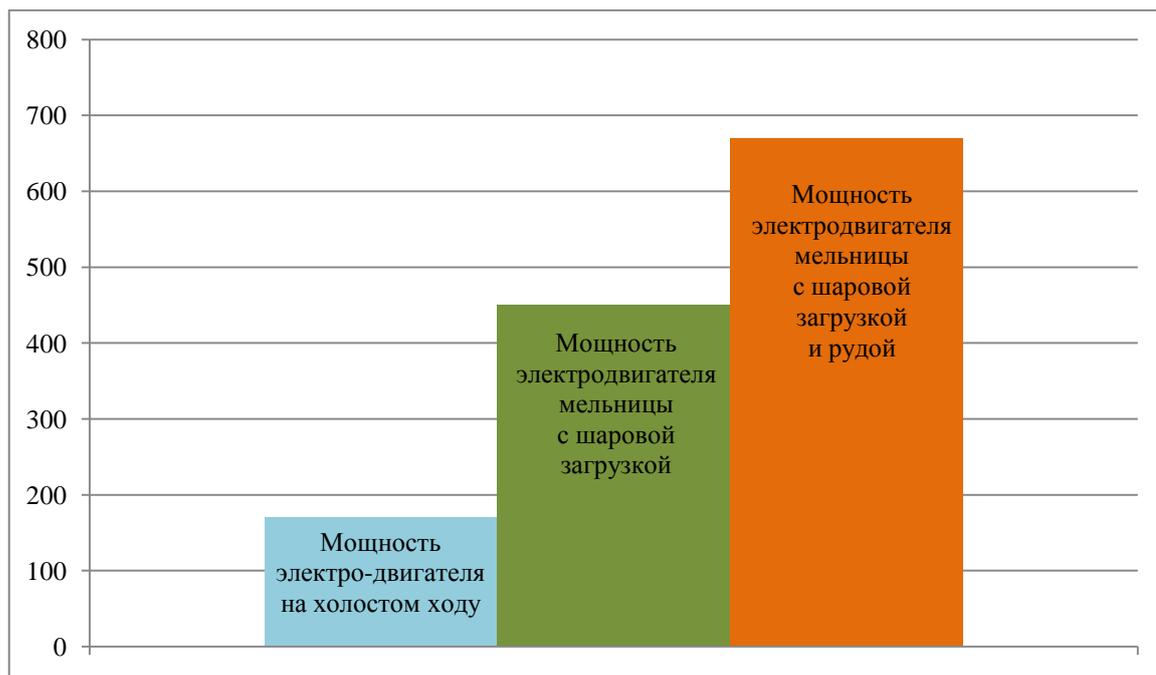


Рис. 6. Мощность электродвигателя мельницы по экспериментальным данным, кВт

Заключение

Предложенная модель определения потребляемой мощности шаровой мельницы позволяет произвести оценку эффективности потребления электрической энергии электроприводом мельницы и определить качественные показатели систем регулирования при внедрении интеллектуальной системы прогнозирования [42, 46] электропотребления на обогатительной фабрике, контролировать график нагрузки; прогнозировать производственные циклы и пиковые значения энергопотребления; перераспределять нагрузки и анализировать изменения режима работы мельницы.

Библиографический список

1. Austin L. G. Klimpel R. R., Luckie P. T. and Rogers R. S. C., (1982), Simulation of grinding circuits for design, Design and Installation of Comminution Circuits, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc, New Jersey, 1982, Editor; Mular, A. L., Jergensen, G. V., Chapter 19, pp. 301-324.
2. Austin L. G., Klimpel, R. R. and Luckie, P. T. (1984), Process engineering of size reduction: ball milling, American Institute of Mining, Metallurgical

- and Petroleum Engineers Inc, New Jersey, 1984, pp. 1-556.
3. Bbosa LS, Govender I, Mainza AN, et al. Power draw estimations in experimental tumbling mills using PEPT. Miner Eng 2011; 24: 319–324
4. Bbosa, L., Mainza, A., Govender, I. A probability based model for the power draw of a tumbling mill (2014) IMPC 2014 - 27th International Mineral Processing Congress.
5. Bbosa, L.S., Govender, I., Mainza, A. Development of a novel methodology to determine mill power draw (2016) International Journal of Mineral Processing, 149, pp. 94-103. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.02.009
6. BCS, Inc. 2002. Mining industry of the future, Energy and environmental profile of the U.S mining industry, U.S Department of Energy.
7. Cawley, J.C. Electrical accidents in the mining industry, 1990-1999 (2003) IEEE Transactions on Industry Applications, 39 (6), pp. 1570-1577. DOI: 10.1109/TIA.2003.818963
8. Cawley, J.C. Electrical accidents in the mining industry, 1990-1999 (2001) Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society), 2, pp. 1361-1368.
9. Cawley, J.C., Homce, G.T. Protecting miners from electrical arcing injury (2007) Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society), art. no. 4347962, pp. 1373-1380. DOI: 10.1109/IAS.2007.213
10. China ERI Analysis of Ministry of Industry and Information, industrial associations and China Statistical Yearbook 2015, China Energy Research



- Institute of the National Development and Reform Commission, (2016). Beijing.
11. Cleary PW and Morrison RD. Particle methods for modelling in mineral processing. *Int J Comput Fluid D* 2009; 23: 137–146.
12. Diao, J., Zhang, G., Hu, H., Zou, Z., Zhang, B. Design and application of electrical fire monitoring system in mining industry (2015) *International Journal of Mining Science and Technology*, 25 (2), art. no. 484, pp. 305–310. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.021
13. Driss Yousfi. Efficient Sensorless PMSM Drive for Electric Vehicle Traction Systems / Driss Yousfi, Elbacha Abdelhadi, Abdellah Ait Ouahman // *Electric Vehicles – Modelling and Simulations* / Dr. Seref Soylu (Ed.). – 2011. – <http://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-modelling-and-simulations/efficient-sensorless-pmsm-drive-for-electric-vehicle-traction-systems>.
14. Erdem A. S. 2002, Modelleme yardımıyla kamaralı bilyalı değirmen tasarımı ve tane boyu dağılımlarının belirlenmesi, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Mühendislik Tezi, 2002.
15. Fawkes, S. *Energy Efficiency*. Farnham. Gower Publishing. 2013.
16. Gieras J.F., Piech Z.J. *Linear Synchronous Motors*. CRS Press. 2000.
17. Govender I and Powell MS. An empirical power model derived from 3D particle tracking experiments. *Miner Eng* 2006; 19: 1005–1012.
18. Govender I, McBride AT and Powell MS. Improved experimental tracking techniques for validating discrete element method simulations of tumbling mills. *Exp Mech* 2004; 44: 593–607.
19. Govender I, Powell MS and Nurick GN. Automated imaging to track the 3D motion of particles. *Exp Mech* 2002; 42: 153–160.
20. Hu G, Otaki H and Watanuki K. Motion analysis of a tumbling ball mill based on non-linear optimization. *Miner Eng* 2000; 13: 933–947
21. IEA (2015), *World Energy Outlook 2015*, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/weo-2015-en>
22. IEA (International Energy Agency) (2016a), “World energy balances”, IEA World Energy Statistics and Balances (database), IEA/OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/data-00512-en>.
23. *Japan Guide for Energy Saving for Industrial Factory*. The Energy Saving Center. 2003.
24. Mishra BK and Rajamai RK. Simulation of charge motion in ball mills. Part 2: numerical simulations. *Int J Miner Process* 1994; 40: 187–197.
25. Mishra BK. A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method: part I—contact mechanics. *Int J Miner Process* 2003; 71: 73–93.
26. Morrell S. (1996), Power draw of wet tumbling mills and its relationship to charge dynamics, part 1: A continuum approach to mathematical modelling of mill power draw, *Transaction of Institute of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 105, January–April 1996, pp. 43–53.
27. Morrell S., Man Y. T. (1997), Using modelling and simulation for the design of full scale ball mill circuits, *Minerals Engineering*, 1997, Volume 10, No. 12, pp. 1311–1327.
28. Nakatani, F. Technologies for energy saving in industrial field (2008) *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 3 (2), pp. 190–198. DOI: 10.1002/tee.20255.
29. Napier-Munn T. J., Morrell S., Morrison R. D., Kojovic T., (1996), *Mineral comminution circuits their operation and optimisation*, Editor; Napier-Munn, T. J, pp. 1–413.
30. Oung, K. *Energy Management in Business*. Farnham. Gower Publishing. 2013.
31. Rajamani RK, Songfack P and Mishra BK. Impact energy spectra of tumbling mills. *Powder Technol* 2000; 108: 116–121.
32. Rezaeizadeh M, Fooladi M, Powell MS, et al. Experimental observations of lifter parameters and mill operation on power draw and liner impact loading. *Miner Eng* 2010; 23: 1182–1191.
33. Rhodes, A., Skea, J. & Hannon, M. 2014. The Global Surge in Energy Innovation. In *Energies* 2014, 7, pp. 5601–5623.
34. Sensorless PMSM Vector Control with a Sliding Mode Observer for Compressors Using MC56F8013 / Document Number: DRM099, Rev.:2-09/2008 // Freescale Semiconductor web site. – http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/DRM099.
35. Study on Energy Efficiency and Energy Saving Potential in Industry from possible Policy Mechanisms. A report submitted by ICF Consulting Limited Date: 1 December 2015. (https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/151201%20DG%20ENER%20Industrial%20EE%20study%20-%20final%20report_clean_stc.pdf – 1.12.2015).
36. Tchorzewski, J. Development of electric power system from the point of view of safety (2008) *IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Proceedings*, art. no. 4736615, pp. 659–663. DOI: 10.1109/EEEL.2008.4736615
37. Thorpe, D. *Earthscan Expert Guide to Energy Management in Buildings*, Abingdon, Routledge. 2014.
38. Thumann. A., Paul Mehta, D. *Handbook of Energy Engineering*. Lilburn, GA. Fairmont. 2013.



39. Weber, L. Some reflections on barriers to the efficient use of energy. *Energy Policy*. 25(10). pp.833-935. 1997.
40. Zhang, J., Ma, H.-W. Online monitoring and protection system for the arc fault of the mining high-voltage switchgear (2013) *Dianli Xitong Baohu yu Kongzhi/Power System Protection and Control*, 41 (11), pp. 141-145.
41. Zou SY. Types of wear in mining equipment. Report, CITIC Heavy Industries Co., Ltd., Luoyang, China, August 2015.
42. Абрамович Б.Н., Бабанова И.С. Система прогнозирования энергопотребления с применением искусственной нейронной сети. *Горные науки и технологии*. 2016;(2):66-77. DOI:10.17073/2500-0632-2016-2-66-77.
43. Авилов-Карнаухов Б.Н., Зюбровский Л.Г. Метод определения экономических режимов потребления электроэнергии на рудообогатительных фабриках // *Промышленная энергетика*. – 1979. – № 5. – С. 3-4.
44. Белых Б.П., Свердель И.С., Олейников В.К. Электрические нагрузки и электропотребление на горнорудных предприятиях. – М.: Недра, 1971. – 399 с.
45. Закиров Д.К., Кукушкин В.М. Энергопотребление и энергосбережение на предприятиях западного Урала. – Пермь: Изд-во ИПК «Звезда», 1997. – 447 с.
46. Кириллов И.Е., Морозов И.Н. Подход к созданию адаптивной модели технологического процесса с целью осуществления оперативно-предупреждающего управления. // *Труды Кольского научного центра РАН*. – 2014. – № 5 (24). – С. 221-225.
47. Кузнецов Н.М. Анализ электропотребления на горных и обогатительных предприятиях «ОАО Апатит», Горное оборудование и электромеханика», 2007, № 1, С. 44-47.
48. Кузнецов Н.М., Аввакумов В.Н. Прогнозирование электропотребления при производстве апатитового концентрата, *Горный журнал*, 1999, № 9, С.51-52.
49. Кузнецов Н.М., Щуцкий В.И. Рациональное электропотребление на горнодобывающих и горно-обогатительных предприятиях. – Апатиты, 1997. – 211 с.
50. Олейников В.К. Анализ и планирование электропотребления на горных предприятиях. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
51. Терехов В.М., Осипов О.И. «Системы управления электроприводов» – М.: Академия, 2005. – 300 с.
52. Фокин В.М. Ф75 Основы энергосбережения и энергоаудита. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 256 с.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 4, pp. 50-58

Title:	Modeling of power consumption of ball mill
Author 2	Name&Surname: Nikolai M. Kuznetsov Company: Centre for Physical and Technological Problems of Energy in Northern Areas of Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences Adress: Russia, 184209, Apatity, Murmansk region, md. Akademgorodok, 21A, Scientific Degree: Candidate of Engineering Science Work Position: Leading Researcher Contacts: kuzn55@mail.ru
Author 2	Name&Surname: Ivan N. Morozov Company: Murmansk Arctic State University Adress: Russia, 183038, Murmansk, Kapitan Egorov Str., 15 Scientific Degree: Candidate of Engineering Science Work Position: Associate Professor Contacts: moroz84@mail.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2016-4-50-58
Abstract:	The possibility of predicting energy consumption for ball mill concentrator when implementing intelligent forecasting system. Compiled model to determine the power consumption of the electric drive of a ball mill. The modeling work mill with no load and during grinding the ore. The simulation results are confirmed by instrumental measurements motor power at various modes of operation of the mill. The proposed model for determining the power consumption of a ball mill allows an assessment of the efficiency of electric energy consumption and electric mills identify qualitative indicators of regulatory systems in the implementation of intellectual electricity forecasting system at the processing plant, to



	control the schedule of load; forecast production cycles and peak power values; redistribute the load and analyze changes in the mill operation.
Keywords:	mining machinery, power consumption, analysis of power consumption, mining conditions, electric drive, grinding, electric motor, block diagram, frequency converter, power consumption, mathematical modeling, statistical methods.
References:	<p>1. Austin L. G. Klimpel R. R., Luckie P. T. and Rogers R. S. C., (1982), Simulation of grinding circuits for design, Design and Installation of Comminution Circuits, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc, New Jersey, 1982, Editor; Mular, A. L., Jergensen, G. V., Chapter 19, pp. 301-324.</p> <p>2. Austin L. G., Klimpel, R. R. and Luckie, P. T. (1984), Process engineering of size reduction: ball milling, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc, New Jersey, 1984, pp. 1-556.</p> <p>3. Bbosa LS, Govender I, Mainza AN, et al. Power draw estimations in experimental tumbling mills using PEPT. Miner Eng 2011; 24: 319–324</p> <p>4. Bbosa, L., Mainza, A., Govender, I. A probability based model for the power draw of a tumbling mill (2014) IMPC 2014 - 27th International Mineral Processing Congress.</p> <p>5. Bbosa, L.S., Govender, I., Mainza, A. Development of a novel methodology to determine mill power draw (2016) International Journal of Mineral Processing, 149, pp. 94-103. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.02.009</p> <p>6. BCS, Inc. 2002. Mining industry of the future, Energy and environmental profile of the U.S mining industry, U.S Department of Energy.</p> <p>7. Cawley, J.C. Electrical accidents in the mining industry, 1990-1999 (2003) IEEE Transactions on Industry Applications, 39 (6), pp. 1570-1577. DOI: 10.1109/TIA.2003.818963</p> <p>8. Cawley, J.C. Electrical accidents in the mining industry, 1990-1999 (2001) Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society), 2, pp. 1361-1368.</p> <p>9. Cawley, J.C., Homce, G.T. Protecting miners from electrical arcing injury (2007) Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society), art. no. 4347962, pp. 1373-1380. DOI: 10.1109/IAS.2007.213</p> <p>10. China ERI Analysis of Ministry of Industry and Information, industrial associations and China Statistical Yearbook 2015, China Energy Research Institute of the National Development and Reform Commission, (2016). Beijing.</p> <p>11. Cleary PW and Morrison RD. Particle methods for modelling in mineral processing. Int J Comput Fluid D 2009; 23: 137–146.</p> <p>12. Diao, J., Zhang, G., Hu, H., Zou, Z., Zhang, B. Design and application of electrical fire monitoring system in mining industry (2015) International Journal of Mining Science and Technology, 25 (2), art. no. 484, pp. 305-310. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.021</p> <p>13. Driss Yousfi. Efficient Sensorless PMSM Drive for Electric Vehicle Traction Systems / Driss Yousfi, Elbacha Abdelhadi, Abdellah Ait Ouahman // Electric Vehicles – Modelling and Simulations / Dr. Seref Soylu (Ed.). – 2011. – http://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-modelling-and-simulations/efficient-sensorless-pmsm-drive-for-electric-vehicle-tractionsystems.</p> <p>14. Erdem A. S. 2002, Modelleme yardımıyla kamaralı bilyalı değirmen tasarımı ve tane boyu dağılımlarının belirlenmesi, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Mühendislik Tezi, 2002.</p> <p>15. Fawkes, S. Energy Efficiency. Farnham. Gower Publishing. 2013.</p> <p>16. Gieras J.F., Piech Z.J. Linear Synchronous Motors. CRS Press. 2000.</p> <p>17. Govender I and Powell MS. An empirical power model derived from 3D particle tracking experiments. Miner Eng 2006; 19: 1005–1012.</p> <p>18. Govender I, McBride AT and Powell MS. Improved experimental tracking techniques for validating discrete element method simulations of tumbling mills. Exp Mech 2004; 44: 593–607.</p> <p>19. Govender I, Powell MS and Nurick GN. Automated imaging to track the 3D motion of particles. Exp Mech 2002; 42: 153–160.</p> <p>20. Hu G, Otaki H and Watanuki K. Motion analysis of a tumbling ball mill based on non-linear optimization. Miner Eng 2000; 13: 933–947</p>



21. IEA (2015), World Energy Outlook 2015, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/weo-2015en>
22. IEA (International Energy Agency) (2016a), “World energy balances”, IEA World Energy Statistics and Balances (database), IEA/OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/data-00512-en>.
23. Japan Guide for Energy Saving for Industrial Factory. The Energy Saving Center. 2003.
24. Mishra BK and Rajamai RK. Simulation of charge motion in ball mills. Part 2: numerical simulations. Int J Miner Process 1994; 40: 187–197.
25. Mishra BK. A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method: part I—contact mechanics. Int J Miner Process 2003; 71: 73–93.
26. Morrell S. (1996), Power draw of wet tumbling mills and its relationship to charge dynamics, part 1: A continuum approach to mathematical modelling of mill power draw, Transaction of Institute of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 105, January-April 1996, pp. 43-53.
27. Morrell S., Man Y. T. (1997), Using modelling and simulation for the design of full scale ball mill circuits, Minerals Engineering, 1997, Volume 10, No. 12, pp. 1311-1327.
28. Nakatani, F. Technologies for energy saving in industrial field (2008) IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 3 (2), pp. 190-198. DOI: 10.1002/tee.20255.
29. Napier-Munn T. J., Morrell S., Morrison R. D., Kojovic T., (1996), Mineral comminution circuits their operation and optimisation, Editor; Napier-Munn, T. J, pp. 1-413.
30. Oung, K. Energy Management in Business. Farnham. Gower Publishing. 2013.
31. Rajamani RK, Songfack P and Mishra BK. Impact energy spectra of tumbling mills. Powder Technol 2000; 108: 116–121.
32. Rezaeizadeh M, Fooladi M, Powell MS, et al. Experimental observations of lifter parameters and mill operation on power draw and liner impact loading. Miner Eng 2010; 23: 1182–1191.
33. Rhodes, A., Skea, J. & Hannon, M. 2014. The Global Surge in Energy Innovation. In Energies 2014, 7, pp. 5601-5623.
34. Sensorless PMSM Vector Control with a Sliding Mode Observer for Compressors Using MC56F8013 / Document Number: DRM099, Rev.:2-09/2008 // Freescale Semiconductor web site. – http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/DRM099.
35. Study on Energy Efficiency and Energy Saving Potential in Industry from possible Policy Mechanisms. A report submitted by ICF Consulting Limited Date: 1 December 2015. (https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/151201%20DG%20ENER%20Industrial%20EE%20study%20-%20final%20report_clean_stc.pdf – 1.12.2015).
36. Tchorzewski, J. Development of electric power system from the point of view of safety (2008) IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Proceedings, art. no. 4736615, pp. 659-663. DOI: 10.1109/EEEL.2008.4736615
37. Thorpe, D. Earthscan Expert Guide to Energy Management in Buildings, Abingdon, Routledge. 2014.
38. Thumann. A., Paul Mehta, D. Handbook of Energy Engineering. Lilburn, GA. Fairmont. 2013.
39. Weber, L. Some reflections on barriers to the efficient use of energy. Energy Policy. 25(10). pp.833-935. 1997.
40. Zhang, J., Ma, H.-W. Online monitoring and protection system for the arc fault of the mining high-voltage switchgear (2013) Dianli Xitong Baohu yu Kongzhi/Power System Protection and Control, 41 (11), pp. 141-145.
41. Zou SY. Types of wear in mining equipment. Report, CITIC Heavy Industries Co., Ltd., Luoyang, China, August 2015.
42. Abramovich B.N., Babanova I.S. Sistema prognozirovanija jenergopotreblenija s primeneniem iskusstvennoj nejronnoj seti [*System for forecasting energy consumption using the artificial neural network*]. Mining science and technology. 2016;(2):66-77. DOI:10.17073/2500-0632-2016-2-66-77.
43. Avilov-Karnauhov B.N., Zjubrovskij L.G. Metod opredelenija jekonomichnyh rezhimov potreblenija jelektrojenergii na rudoobogatitel'nyh fabrikah [*Method for determination of economical modes of energy consumption in the ore-dressing plants*] Industrial power. – 1979. – No. 5. – Pp. 3–4.



44. Belyh B.P., Sverdel' I.S., Olejnikov V.K. Jelektricheskie nagruzki i jelektropotreblenie na gornorudnyh predpriyatijah. [*The electrical load and power consumption at the mining enterprises.*] – M.: Nedra, 1971. – 399 p.
45. Zakirov D.K., Kukushkin V.M. JenerGOPotreblenie i jenerGosberezhenie na predpriyatijah zapadnogo Urala. [*Energy consumption and energy saving at the enterprises of the Western Urals.*] – Perm: Publishing house of the IPK "Zvezda", 1997. – 447 p.
46. Kirillov I.E., Morozov I.N. Podhod k sozdaniju adaptivnoj modeli tehnologicheskogo processa s cel'ju osushhestvlenija operativno-preduprezhdajushhego upravlenija. [*The approach to the creation of adaptive model of the process for the implementation of operational and proactive management*] Proceedings of the Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences. – 2014. – No. 5 (24). – Pp. 221-225.
47. Kuznecov N.M. Analiz jelektropotreblenija na gornyh i obogatitel'nyh predpriyatijah «ОАО Апатит». [*Analysis of energy consumption in the mining and processing enterprise "Apatite OJSC"*] Gornoe Mining Machinery and Electromechanics, 2007, No. 1, Pp. 44-47.
48. Kuznecov N.M., Avvakumov V.N. Prognozirovanie jelektropotreblenija pri proizvodstve apatitovogo koncentrata. [*Prediction of electricity consumption in the production of apatite concentrate*] Mining Journal, 1999, No. 9, pp.51-52.
49. Kuznecov N.M., Shhuckij V.I. Racional'noe jelektropotreblenie na gornodobyvajushhih i gorno-obogatitel'nyh predpriyatijah. [*Efficient power consumption in the mining and ore-dressing plants.*] – Apatity, 1997. – 211 p.
50. Olejnikov V.K. Analiz i planirovanie jelektropotreblenija na gornyh predpriyatijah. [*Analysis and planning of electricity in mining enterprises*] – M.: Nedra, 1983. – 192 p.
51. Terehov V.M., Osipov O.I. Sistemy upravlenija jelektroprivodov [*Systems management drives*] – M.: Akademiya, 2005. – 300 p.
52. Fokin V.M. F75 Osnovy jenerGosberezhenija i jenerGoaudita. [*Fundamentals of energy saving and energy audit.*] – M.: "Publisher Engineering 1", 2006. – 256 p.



ЕЖОВ А.И. (НТЦ «Минстандарт», г. Москва)

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ)**

Техногенные образования в сфере твердых полезных ископаемых представляют собой отходы горно-металлургического производства. Их утилизация имеет важнейшее экономическое значение и обеспечивает более полное использование невозобновляемых природных ресурсов, снижение темпов истощения минерального сырья в недрах, повышение производительности и улучшение условий труда, производство дешевых стройматериалов и удобрений для сельского хозяйства, сокращение и ликвидацию источников загрязнения окружающей среды, рекультивацию занимаемых отходами земель.

Техногенные минеральные образования при условии положительной оценки эколого-экономической эффективности их освоения представляют собой техногенные месторождения (ТМ).

По морфологическим признакам ТМ подразделяются на несколько промышленных типов. Специфика разведки ТМ определяется их источниками, механизмами формирования, формой, составом и учетом воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: техногенные образования, горно-металлургическое производство, невозобновляемые природные ресурсы, загрязнение окружающей среды.

Введение

Техногенные образования в сфере твердых полезных ископаемых представляют собой отходы горно-металлургического производства, накопленные на земной поверхности в виде отвалов некондиционных руд и вскрышных пород, хвостохранилищ обогатительных фабрик, шлакозольных отвалов топливно-энергетического комплекса, шлаков и шламов металлургического производства, отвалов химической отрасли и т.д. [1–33, 41, 53] В оценке техногенного сырья важны два аспекта: правовой (требуется законодательное определение понятия техногенного месторождения) и методический (на оценку оказывает влияние специфика механизмов образования).

Потенциал техногенного сырья

Уникальное экономическое значение минерального техногенного сырья очевидно. Россия, будучи богатейшей в минерально-сырьевом отношении страной, по отдельным видам твердых полезных ископаемых является импортозависимой (это касается бокситов, марганца, титана, хрома и др.), тогда как в отходах и отвалах отработанных и разрабатываемых месторождений сосредоточено большое количество запасов

драгоценных, цветных, черных металлов и редкоземельных элементов [49, 36, 48]. Ежегодно накапливаемые отходы горно-металлургического производства составляют более 5 млрд т. Отрицательный эффект такой промышленной политики усугубляется изъятием из хозяйственного оборота обширных площадей, занятых отходами (вскрышными породами, забалансовыми рудами, хвостохранилищами, шлаконакопителями и т.д.). Содержание ценных компонентов в отходах нередко близко их содержанию в добываемых рудах. При этом очевидно, что вовлечение техногенного сырья в переработку может заметно укрепить экономический потенциал страны и обеспечить решение многих актуальных задач недропользования, включая:

– более полное использование невозобновляемых природных ресурсов и сохранение истощающегося минерального сырья в недрах;

– повышение производительности труда за счет рентабельной переработки добытого сырья – готового полупродукта, находящегося вблизи действующих предприятий, для которых важно восполнение истощающейся



сырьевой базы и обеспечение занятости высвобождающейся рабочей силы;

– улучшение условий труда, так как техногенные месторождения расположены на земной поверхности, в отличие от подземных природных месторождений;

– возможное производство дешевых стройматериалов (песка, щебня, гравия и др.), а из шлаков – шлаковаты, шлакового литья, минеральных добавок для улучшения структуры почв, удобрений для сельского хозяйства и др.;

– сокращение или ликвидацию источников загрязнения окружающей среды, рекультивацию занимаемых отходами земель.

Показательна рациональная политика зарубежных стран, которые утилизируют отходы производства и разрабатывают технологии их переработки: в США доля вторичного сырья в производстве цветных металлов составляет 25–55 %. Подобная тенденция наблюдается и в Канаде, Великобритании, ЮАР, Испании. В развитых странах из вскрышных пород производится до 80 % строительных материалов; кроме того, как пример, из отвалов окисленных медных руд и хвостов обогащения бактериальным и кислотным выщелачиванием производится до 20 % меди.

Правовой аспект

В действующем законодательстве РФ [48] нормативными правовыми актами регламентированы отношения по использованию отходов горно-металлургического и связанных с ним перерабатывающих производств [45] и отношения по обращению с отходами производства и потребления в целях предотвращения их вредного воздействия на здоровье человека и окружающую природную среду [46]. При этом нормы законодательства об отходах (например, о праве собственности) расходятся с нормами законодательства о недрах. В целях упорядочения правового

регулирования в сфере использования техногенного минерального сырья необходима корректировка отдельных положений действующего законодательства.

В Законе «О недрах» [45] отсутствует правовое понятие «техногенного месторождения», что затрудняет разграничение отношений по использованию отходов горно-металлургического производства. В отличие от России в законодательстве о недрах ряда стран СНГ это понятие имеет правовое определение [40]. Оно присутствует в региональных правовых актах некоторых субъектов Российской Федерации (Татарстана [44], Ростовской области). Обращает на себя внимание то, что при перманентном дефиците бюджета Российской Федерации государственные органы не проявляют активности по его частичному восполнению – законодательному решению вопросов освоения отходов горно-металлургического производства, о чем свидетельствует, например, отклонение обращения Магаданской областной Думы в Госдуму и Правительство РФ в мае 2010 г. с предложением по упрощению доступа к техногенным россыпям.

Тем не менее основа для правового решения проблемы освоения техногенного минерального сырья существует – в Распоряжении МПР России №37-р от 05.06.2007 «Об утверждении методических рекомендаций по применению классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых» дано определение техногенных россыпей. Кроме того, в практике ГКЗ фактически происходит наполнение Государственного баланса запасами техногенных месторождений – на конец 2015 г. балансом учтены запасы более 440 месторождений техногенного происхождения [49]. Вместе с тем техногенный минерально-сырьевой потенциал остается практически нереализованным промышленностью из-за



необходимости определения правил использования и обращения отходов и необходимости капиталоемкой модернизации горнодобывающей промышленности, включая реконструкцию и строительство производств, реализующих современные разработки и инновационные технологии по освоению техногенного сырья.

В настоящее время в планах очередных изменений закона «О недрах» Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации намечаются шаги по определению правового статуса техногенных месторождений – предполагается отходы первичной переработки минерального сырья относить к государственному фонду недр с введением обязательности их использования только на основании технических проектов разработки месторождений и предоставления данных о полезных ископаемых, содержащихся в отходах, в органы государственной статистики.

Внесению согласованных изменений подлежит закон «Об отходах производства и потребления» [46] – в нем предполагается сохранить только экологические аспекты и полностью вывести из него регулирование и использование техногенных образований.

Кроме того, система государственного учета и экспертизы техногенных образований будет строиться на основе единого фонда геологической информации, создаваемого в соответствии с изменениями в Законе «О недрах» [43].

Промышленные характеристики месторождений техногенного сырья

Техногенные минеральные образования при условии положительной оценки эколого-экономической эффективности их освоения представляют собой техногенные месторождения (ТМ), которые должны отвечать следующим требованиям: 1) представлять коммерческий интерес – как непосредственный источник вторичного

сырья, либо с учетом последующей переработки и получения различных видов товарной продукции; 2) окупать инвестиционные затраты; 3) опираться на экологически чистые технологии при необходимости вовлечения во вторичную переработку; 4) отвечать требованиям, установленным нормативными правовыми актами к качеству минерального сырья и получаемой товарной продукции; 5) иметь рынок для прямой или опосредованной продажи содержащихся в них полезных ископаемых.

Возможное использование техногенных минеральных образований подразделяется на два направления: 1) доизвлечение основных полезных компонентов (металлов и неметаллов), которые не могли быть извлечены ранее при существовавшем уровне развития техники и технологии; 2) нетрадиционное использование сырья, которое не предполагалось ранее при утверждении запасов «первичных» месторождений (например, в качестве стройматериалов и др.).

Запасы минерального сырья ТМ подлежат Государственному учету на основе заключений государственной экспертизы, подтверждающих их количество, качество и экономическую значимость и удостоверяющих горнотехнические, технологические, гидрогеологические и экологические условия разработки.

По морфологическим признакам ТМ подразделяются на: 1) насыпные, представленные терриконами угольных шахт и разрезов, отвалами рудников и карьеров месторождений цветных, черных и редких металлов, техногенными россыпями, образующимися при разработке россыпных месторождений, отходами золотоизвлекательных фабрик, шлакоотвалами цветной и черной металлургии; 2) наливные, образующиеся при заполнении впадин земной поверхности техногенными отходами обогащения руд



(шламо- и хвостохранилищами горнообогатительных фабрик), шламоотвалами цветной и черной металлургии, золо- и шлакоотвалами энергетического комплекса, шламоотвалами химических производств.

В приповерхностной зоне техногенных отложений под воздействием кислорода, воды, фильтрационных электрических полей и других факторов происходят интенсивное растворение и миграция металлов и их соединений. При этом образуются обогащенные и обедненные участки с восстановительными и окислительными формами нахождения, требующими при утилизации применения специальных технологий извлечения. Особенно это явление характерно для отходов добычи и обогащения сульфидных руд, в процессе хранения которых происходит быстрое окисление, в результате чего первичные руды и породы разрушаются, а в воду и почву выносятся тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, висмут, мышьяк, сурьма и др.). Это заставляет, в первую очередь, оценивать техногенные скопления как источники повышенной экологической опасности и лишь затем – как объекты экономически выгодной утилизации.

В результате гравитационной дифференциации в лежалых отходах со временем образуются достаточно крупные обогащенные металлами залежи, в нижней части которых могут формироваться тела, подобные зонам вторичного обогащения. Кроме того, пространственное размещение богатых участков хвостохранилищ в плане контролируется расположением пульпопроводов, а в разрезе – качеством перерабатываемого минерального сырья, изменяющегося во времени по мере отработки первичного месторождения и изменения технологической схемы переработки руд. На объективную оценку хвостохранилищ по вещественному составу, по концентрационной и гранулометрической зональности и

ожидаемым запасам влияет также соотношение жидкой и твердой фаз сбрасываемой в хвостохранилище пульпы, ее вещественный состав, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства, временной режим сброса, направление и места сброса, рельеф дна хранилищ, физико-химические характеристики подстилающих хранилище пород.

Промышленные типы месторождений техногенного сырья

По составу и механизму образования ТМ, возникающие при добыче и переработке продуктов обогащения руд коренных месторождений цветных (Cu, Zn, Pb, Al и Mg), редких (Ni, Sn, Mo, W, Bi, V, Co, As, Sb и Hg) и благородных (Au, Ag, Pt, Pd) металлов, как правило, являются месторождениями смешанного типа, т.е. пригодными как для доизвлечения металлов, так и для получения стройматериалов. ТМ, возникающие при обогащении руд, представлены хвостохранилищами, сложенными измельченным материалом с водонасыщением до 20–50 %, плотностью 1,5–2,5 т/м³ и содержанием глинистых частиц до 50 %. При флотационном обогащении основная масса отходов хвостохранилищ представлена пылевидным материалом, а при гравитационном – мелкозернистым. В пылевидном материале более 25 % частиц имеют диаметр менее 0,1 мм, а в мелкозернистом – менее 25 % – диаметр меньше 0,1 мм. Полезные компоненты распределены в хвостохранилищах неравномерно. Металлоносные участки представлены системой разобщенных пластообразных, линзовидных, изометрических и неправильной формы тел. Их размером предопределяется система отработки месторождения.

Шлаки металлургического производства подразделяются на литые, поступающие в шлакоотвалы в горячем состоянии, и гранулированные, являющиеся исходными



после предварительной грануляции. Распределение полезных компонентов в шлаках зависит от изменения состава исходного сырья и показателей их извлечения в зависимости от состава перерабатываемых концентратов и интенсивности процессов вторичного перераспределения металлов в них, которые для литых шлаков проявляются лишь в приповерхностной части, а для гранулированных – на большую глубину и более интенсивно.

ТМ, сложенные вскрышными и вмещающими породами и некондиционными рудами, представлены рыхлыми, полускальными и скальными породами и рудами различного состава, соответствующего коренным месторождениям. В этом типе ТМ обычно не наблюдается закономерностей в распределении наиболее богатых металлами участков. ТМ цветных и редких металлов, помимо доизвлечения основных полезных компонентов и получения стройматериалов (щебня, песка, гравия, закладочного материала и т.д.), могут являться ценным источником попутных элементов, которые в начальный период добычи руд по тем или иным причинам не извлекались. Например, отвалы и хвосты медно-никелевых руд Норильска содержат промышленные по современному уровню технологий переработки концентрации платиноидов, золота и серебра, которые ранее извлекались лишь частично. Практически все полиметаллические и медно-цинковые месторождения содержат Ag, Cd, барит, редкие и рассеянные элементы, потребность в которых растет в последнее время, что приводит к снижению промышленных кондиций на них.

ТМ черных металлов, как и цветных и редких, формируются при добыче, обогащении и переработке коренных руд Fe, Ti, Mn, Cr. Они также, как правило, относятся к месторождениям смешанного типа. Основное перспективное направление их

переработки – это использование в качестве строительного материала с предварительным извлечением металлических фаз. Характерными стройматериалами, которые могут быть получены из шлаков черной металлургии, являются: гранулированные шлаки, шлаковая пемза как заполнитель бетона, шлаковата, литой шлаковый щебень, шлаковое литье (брусчатка, плитки, бордюрный камень и пр.), стеклокерамические изделия, вяжущие добавки в цемент, минеральные добавки для улучшения почв.

ТМ угольной отрасли являются отходами разработки месторождений, состоящими из пустой породы и значительного количества угля. Первую группу отходов составляют вскрышные (при открытой добыче) и шахтные породы. Это – ТМ, возникающие при добыче углей. Представительная информация о накоплении в отвалах этих отходов отсутствует. Наиболее изучен вопрос в Кузбассе, где ориентировочно образуются 12–15 млн т/год вскрышных пород с зольностью 72–86 %. Вторую группу составляют отходы углеобогажительных фабрик; их количество – 5–40 % от перерабатываемой массы угля. В зависимости от способов обогащения образуются кусковые и мелкодисперсные отходы соответственно при гравитационном и флотационном обогащении. Отходы углей образуют минеральное сырье следующих потребительских групп: строительной, теплоизоляционной, петролургической, огнеупорной, технологической, адсорбционной, красяще-пигментарной, керамической, энергетической, агрохимической – и в зависимости от их литологического состава и степени термопереработки могут быть использованы для производства в промышленных масштабах десятков видов продукции для местных нужд. По большинству направлений использования



имеются технологии производства, например, технология производства тонкого и супертонкого минерального волокна типа базальтового из горелых пород шахтных отвалов.

ТМ топливно-энергетического комплекса, представленные золами-уносами и шлаками, образуются в результате сжигания углей на энергетических установках. Одной из важных проблем, связанных с шлакозольными отвалами теплоэлектростанций, является изучение их состава и количества содержащихся в них микропримесей, которые могут представлять экономическую ценность. Использование золы и шлака в основном связано с производством строительных материалов, перспективы – с возможным извлечением глинозема, а также железа, редких (галлий, германий) и благородных (золото) металлов. Складирование шлакозольных отходов сопряжено с широкомасштабным воздействием на окружающую среду, что ведет к отчуждению земель и загрязнению атмосферы, подземных и поверхностных вод. Проблема использования шлакозольных отвалов до настоящего времени ждет своего решения.

Особую группу составляют ТМ, возникающие в результате разработки россыпных месторождений золота, платиноидов, алмазов, касситерита, вольфрамита. В настоящее время наибольший интерес представляют техногенные россыпи золота. Отвальные техногенные россыпи включают отвалы торфов вскрыши, хвостов промывки дражной и гидромеханизированной разработки. Металл содержится также в оставленных целиках и блоках забалансовых песков. Содержание металла в техногенных россыпях зависит от величины бортового содержания, установленного во время производства вскрышных работ. После извлечения металла материал отвалов можно

использовать в качестве песчано-гравийных смесей.

Разведка месторождений техногенного сырья

Разведка ТМ осуществляется в соответствии с действующими требованиями к разведке месторождений твердых полезных ископаемых [39, 52, 50, 37, 38] с учетом специфики образования отходов горно-металлургического производства, их физического состояния и необходимости технико-экономической оценки эффективности их промышленной утилизации и разработки хозяйственных решений по реконструкции предприятий-источников отходов. Задачи разведки ТМ заключаются в оценке фактического количества и качества минеральных веществ и в определении возможности их вовлечения в переработку, а также – в оценке возможности сокращения источников загрязнения окружающей среды или их ликвидации и возможности рекультивации и освобождения занимаемых отходами земель.

С точки зрения методики разведки ТМ подразделяются на две группы. Одну из них представляют насыпные и наливные хвостохранилища обогатительных фабрик, скопления шлаков и шламов металлургического производства, шлакозольные отвалы топливно-энергетического комплекса, отвалы химической отрасли и т.д. Вторую составляют отвальные техногенные россыпи, возникающие в результате разработки россыпных месторождений.

Наиболее сложны для разведки отвалы конической и гребневидной формы удельной вместимостью более $10 \text{ м}^3/\text{м}^2$ с крутыми значительно деформированными уступами и бортами, материал которых характеризуется наличием крупных глыб. Наличие пустот выгорания в теле отвалов угольного ряда, рыхлый, несцементированный характер слагающей их породной массы, а также



значительная высота и крутизна склонов также практически полностью исключают возможность их разведки горными и буровыми работами; при этом первостепенное значение приобретает изучение качества и технологических свойств материала этих отвалов.

В условиях плоской поверхности хвостохранилищ основными видами разведочных выработок являются шурфы, траншеи и ударно-канатные и пневмоударные скважины. Главная сложность бурения – необходимость крепления ствола скважин. Возможный осложняющий фактор – повышенная влажность или значительная обводненность хранилищ. При разведке новообразованных отвалов используются закопушки и мелкие шурфы. Ориентировочные параметры разведочной сети для оценки запасов категории C_1 – $(50-100) \times (50-200)$ м.

Четкие геометрические контуры хранилищ позволяют достаточно определенно решать методические вопросы их разведки, тогда как остаточные ресурсы отработанных россыпных месторождений характеризуются весьма сложным пространственным распределением материала: эфельные отвалы могут быть перекрыты породами вскрыши, галечные отвалы вперемешку с самородками оказываются распределенными в виде дорог, а сами вскрышные породы могут содержать достаточно высокие концентрации полезных компонентов в связи с тенденцией ужесточения кондиций. Распределение золота в техногенных отвалах россыпей кардинально отличается от распределения в самих россыпях. Кроме того, многие техногенные отвалы становятся объектами изучения после многократной переработки, а какие-либо сведения по этим работам практически отсутствуют.

Для опробования ТМ применяются известные способы и виды, в том числе

геологическое – для определения содержаний полезных ископаемых, а совместно с минералогическим, технологическим и техническим – для уточнения или изучения технологических свойств сырья с целью определения или уточнения и корректировки технологического режима разработки месторождений и технико-экономических показателей их освоения.

Наряду со стандартными способами опробования (поинтервальное в выработках и т.д.) используются специфические приемы. К ним относится горстьевой на поверхности новообразованных отвалов. Кроме того, учитывая, что техногенные отвалы часто представлены кусковатым материалом, глубокие шурфы и канавы опробуются прерывистой бороздой или точечным способом. Мелкие шурфы, копуши и скважины опробуются путем сокращения извлекаемого при проходке материала.

Способ опробования и масса проб определяются экспериментально. Масса зависит от величины (крупности) кусков, характера распределения полезных компонентов и количества необходимых анализов и испытаний, включая формирование групповых и малообъемных технологических проб. Длина интервала опробования скважин зависит от мощности техногенных образований, характера распределения в них полезных компонентов, крупности кусков и длины рейсов. В связи с высокой изменчивостью состава отвалов под влиянием окислительных процессов длина интервала опробования не должна превышать 1–2 м.

Надежность принятого способа опробования оценивается отбором и анализом валовых проб, а при установленной достоверности геофизического опробования – геофизическими методами. Данные опробования скважин заверяются результатами крупно-объемного опробования



контрольных шурфов или скважин большого диаметра (500 мм и более); при невозможности их проходки допускается бурение кустов скважин вблизи контролируемых.

Спецификой ТМ является крайне низкое содержание полезных компонентов. В связи с этим при их оценке необходимо определять возможность применения методов предварительного обогащения (радиометрического и др.) в соответствии с действующими методическими рекомендациями [51].

Механизмом формирования ТМ обусловлено специфическое значение их минералогического опробования. Для количественной оценки содержания редких и рассеянных элементов анализируются мономинеральные пробы (с содержанием исследуемого минерала не менее 90 %) или лабораторные концентраты (в случаях тесного взаимного прорастания кристаллов), в которых минерал-носитель исследуемых элементов содержится в количестве не менее 50 %.

Начальным технологическим изучением (на основе геолого-технологического картирования по сети, учитывающей частоту перемежаемости природных разновидностей сырья) предусматривается определение возможности и целесообразности выделения технологических типов и сортов. В процессе исследования минералого-технологических проб уточняются свойства, определяющие обогатимость сырья и/или условия металлургического передела.

Вследствие низких содержаний полезных компонентов для рентабельной переработки техногенного сырья необходимо применение прогрессивных технологий с использованием высокопроизводительного оборудования, обеспечивающих наиболее полную его утилизацию с минимальным ущербом для окружающей среды.

Для оценки возможности применения геотехнологических методов переработки техногенных отвалов (выщелачивание, гидродобыча) при анализе минералогических проб изучаются состав, комплексность сырья, соотношение минеральных видов, состояние и размеры зерен, их морфология. Кроме того, определяются параметры техногенных залежей и подстилающих пород, влияющие на показатели отработки: коэффициенты фильтрации, пористость, водоотдача и др.

Экологическое воздействие освоения ТМ на окружающую среду (ОС) оценивается сравнением с соответствующими нормами [47]; при их отсутствии – с технологическими или проектными допусками. Воздействие техногенных образований на ОС зависит от агрегатного состояния (твердое, жидкое, газовое, аэрозольное), концентрации опасных компонентов, их общего количества и особенностей размещения в пространстве. С технологическими отходами горного производства связаны следующие источники воздействия на ОС: отвалы пород вскрыши, забалансовых руд и хвостохранилищ как источники деформации ландшафта, отчуждения земель и перемещения хвостового материала; подотвальные воды как источник гидрохимического воздействия на поверхностные водотоки и подземные воды; фильтрационные потери жидкой фазы хвостохранилищ как источник гидрохимического и гидродинамического воздействия на почву, поверхностные водотоки и подземные воды; ветровой перенос аэрозольного вещества как фактор формирования воздушных и наземных ореолов рассеяния. Экологическое и радиационно-гигиеническое воздействие разработки ТМ на ОС оценивается в соответствии с отраслевыми нормативными документами [34, 35, 42].

При обосновании комплекса экологических исследований необходимо



учитывать следующие возможные случаи: 1) ТМ служит сырьевой базой действующего предприятия и его сырье намечается перерабатывать по существующей схеме (или с незначительными изменениями); в этом случае факторы воздействия на ОС от переработки техногенного сырья будут те же, что и при использовании сырья природного месторождения; 2) техногенное сырье будет использоваться по иному назначению или перерабатываться по схеме, отличающейся от действующей; в этом случае оценку воздействия освоения техногенного сырья на ОС необходимо проводить в полном объеме.

Выводы

1. Отходы объектов горно-металлургического производства Российской Федерации являются важнейшим минерально-сырьевым потенциалом и источником восполнения дефицита ряда ведущих твердых полезных ископаемых.

2. Эффективное освоение техногенных образований в Российской Федерации сдерживается несовершенством необходимой законодательной среды.

3. Специфика разведки техногенных месторождений определяется их источниками, механизмами формирования, морфологией, составом промышленных скоплений и учетом воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. Babich, A. I., H. W. Gudenau, and D. G. Senk, "Optimization of energy consumption in ironmaking processes by combined use of coal, dust, and waste," *3rd International Conference on Science and Technology of Ironmaking. Proc.*, Dusseldorf, June 16–20, 2003, pp. 89–94.
2. Belkin, A. S., Yu. S. Yusfin, I. F. Kurunov, et al., "Use of iron-coke briquets with a cement binder in blast-furnace smelting," *Metallurg*, No. 4, 39–41 (2003).
3. Birman, Yu. A. and N. G. Vurdova, *Engineering Measures to Protect the Environment*, Izd-vo Assotsiatsii Stroitel'nykh Vuzov, Moscow (2002).

4. Bragin, V.V., A. A. Solodukhin, V. S. Shvydkii, and Yu. G. Yaroshenko, "New generation of pelletizing machine for producing pellets with excellent metallurgical properties," *Conf. Report*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004.
5. Colangelo, F., M. Marroccoli and R. Cioffi, 2004. Properties of self-levelling concrete made with industrial wastes. *International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures*, Barcelona (Spain), pp: 580–589.
6. Delyagin, G. N., S. F. Erokhin, Yu. S. Karabasov, et al., "Study of the properties of ÉKOVUT with additions of artillery powder," *Chern. Metall.: Byull. In-ta Chermetinformatiya*, No. 6, 29–36 (2003).
7. Dobroskok, V. A., Yu. V. Lipukhin, I. F. Kurunov, et al., "Development of a charging regime and experimental use of fine coke in a large blast furnace," *ibid.*, No. 9, 7–13 (1998).
8. Dzyuba, O. I. and V. F. Kublik, "Technology for concentrating manganese-bearing oxide sludge by a combination method," *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 594–598.
9. Fechet, R., M. Zlagnean, A. Moanta and L. Ciobanu, 2010. Mining Wastes – sampling, processing and using in anufacture portland cement. *Romanian Journal of Mineral Deposits*, 84: 67–70.
10. Gladkov, N. A., Yu. S. Karabasov, Yu. S. Yusfin, and I. F. Kurunov, *Blast-Furnace Smelting Method. Russian Patent No. 2001110, Byul.*, 37–38 (1993).
11. Karabanov, Yu. S., I. F. Kurunov, Yu. S. Yusfin, et al., *Liquid Fuel*, Russian Patent No. 2150488, *Byull. Izobr.*, No. 16 (2000).
12. Karabasov, Y. S., V. S. Lisin, I. F. Kurunov, et al., "Used motor oil–source of environmental contamination or fuel for blast furnaces?" *Internationaal Technology Conference Proceedings. The 62nd Ironmaking Conference*, Indiannapolis, Indiana (U.S.), April 27–30, 2003, pp. 799–804.
13. Karabasov, Yu. S., A. I. Agaryshev, Yu. S. Yusfin, et al., "Method of operation of a sintering/blast-furnace-smelting complex," *Author's Certificate No. 1778192 USSR, Byul. Izobr.*, No. 14 (1992).
14. Karabasov, Yu. S., V. M. Chizhikova, and M. B. Plushchevskii, *Ecology and Management (Terms and Definitions)*, Izd-vo MISiS, Moscow (2001).
15. Kekukh, A. V., B. M. Linetskii, S. N. Kripak, et al., "Technology for recycling oil-bearing scale in coke production," *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 587–590.
16. Kekukh, A. V., V. I. Naboka, A. N. Sav'yuk, et al., "Study of the process of obtaining metallized agglomerate from iron-bearing wastes," *Proc.*



- International Scientific-Technical Conference, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 584–587.*
17. Klyagin, G. S., V. I. Rostovskii, A. V. Kravchenko, and M. V. Ushakova, "Recovery of zinc from the sinter-plant/blast-furnace cycle and recycling zinc-bearing sludge," *Proc. International Scientific-Technical Conference, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 576–580.*
18. Kurunov, I. F., *Developing Low-Waste Technologies for Blast-Furnace Smelting: Engineering Sciences Doctoral Dissertation, MISiS, Moscow (2003).*
19. Kurunov, I. F., S. F. Erokhin, and D. N. Tikhonov, "Features of a technology for the environmentally safe recycling of oil-bearing mill scale and evaluation of its effectiveness," *Proc. International Scientific-Technical Conference, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 580–583.*
20. Kurunov, I. F., V. M. Chihikova, A. V. Ganchev, et al., "Environmentally clean technology for sinter production," *Stal'*, No. 9, 22 (1992).
21. Kurunov, I. F., V. M. Kukartsev, I. S. Yarikov, et al., "Commercial recycling of iron-bearing sludge by its agglomeration and blast-furnace smelting," *Stal'*, No. 10, 15–19 (2003).
22. Kurunov, I. F., V. M. Kukartsev, I. S. Yarikov, et al., "Experience in the production and blast-furnace smelting of briquets based on iron-and zinc-bearing sludge," *ibid.*, No. 10, 38–42 (2003).
23. Lisin, V. S. and Yu. S. Yusfin, *Environmental-Resource Problems in the Twenty-First Century and Metallurgy, Vysshaya Shkola, Moscow (1998).*
24. Lisin, V. S., V. N. Skorokhodov, I. F. Kurunov, and V. M. Chizhikova, "Current status and prospects of recycling zinc-bearing wastes from metallurgical production," *Byull. In-ta Chernetinformatsiya (Supplement 6), No. 10 (2001).*
25. Lisin, V. S., V. N. Skorokhodov, I. F. Kurunov, et al., "Environmental-resource initiatives for recycling metallurgical wastes," *ibid.*, pp. 64–71.
26. Moore, C. M., R. Deike, and C. Hillman, "Minimization of dioxin emission during sintering of iron residues," *3rd International Conference on Science and Technology of Ironmaking. Proc., Dusseldorf, June 16–20, 2003, pp. 578–581.*
27. Moore, C. M., R. Deike, and C. Hillman, "The recycling of complex-containing waste oxides," *4th European Coke and Ironmaking Congress. Proc., Paris La Dafanse, France, June 19–22, 2000, Vol. 1, pp. 408–412.*
28. Moosberg, H., B. Lagerblad and E. Forssberg, 2003. The use of by-products from metallurgical and mineral industries as filler in cement-based materials. *Waste Management & Research*, 21: 29–37.
29. Noskov, V. A. "The role of briquetting in the problem of recycling metallurgical wastes," *Proceedings of a Scientific-Technical Conference, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 591–594.*
30. Petrushov, S. N., I. F. Rusanov, R. I. Rusanov, and V. M. Shulika, "Propects for the use of sludge and open-hearth slag in sinter production," *Proc. International Scientific-Technical Conference, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 573–576.*
31. Sheremet, V. A., A. V. Kekukh, S. N. Kripak, et al., "Recycling oil-bearing mill scale by low-temperature cracking," *Proc. International Scientific-Technical Conference, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 590–591.*
32. Shmidkhein, S. L. and F. D. Zorakvin, *Financing of Changes, Izd. Dom Noosfera, Moscow (1998).*
33. *State and Protection of the Environment in the Russian Federation in 2002, <http://www.mnr.gov.ru>.*
34. Временные требования к геологическому изучению и прогнозированию воздействия разведки и разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду. – ГКЗ, 1990.
35. Инженерно-геологические, гидрогеологические и геоэкологические исследования при разведке и эксплуатации рудных месторождений. – Методические рекомендации, ВИМС, 2002.
36. Луняшин П. Техногенное могущество России сдерживают несовершенные законы // Золото и технологии. – 2016. – № 1. – С. 122-128.
37. Методические рекомендации по составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическим обоснованиям кондиций для подсчета запасов месторождений полезных ископаемых – МПР России, 2007.
38. Методические рекомендации по составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых – МПР России, 2007.
39. Методическое руководство по изучению и эколого-экономической оценке техногенных месторождений – ГКЗ, 1994.
40. Модельный кодекс о недрах и недропользовании для государств-участников СНГ – Двадцатое пленарное заседание Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ (Постановление № 20–8, 07.12.2002).
41. Морозов В.В., Шек В.М., Морозов Ю.П., Лодой Д. Совершенствование интеллектуальных методов управления процессами обогащения на основе визиометрического анализа сортности руды. *Горные науки и технологии*. 2016;(2):31-42. DOI:10.17073/2500-0632-2016-2-31-42



42. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09. Постановление № 47 от 07.07.2009.
43. О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах» и отдельные законодательные акты Российской Федерации – ФЗ от 29.06.2015 № 205.
44. О недрах – Закон Республики Татарстан от 25.12.1992 № 1722-ХП.
45. О недрах – Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1.
46. Об отходах производства и потребления – ФЗ от 24.06.1998 г. № 89.
47. Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды – Приказ Минприроды России, 2001, №511.
48. Подтуркин Ю.А., Коткин В.А., Муслимов Р.Х., Салиева Р.Н. Правовое регулирование хозяйственной деятельности по разработке техногенных месторождений // Недропользование–XXI век. – 2009. – № 6. – С. 15-20.
49. Развитие промышленной переработки техногенного сырья в России – Материалы круглого стола Комитета Государственной Думы РФ по природным ресурсам, природопользованию и экологии; 14.03.2016.
50. Требования к геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья – ГКЗ, 2007.
51. Требования к изучению радиометрической обогатимости минерального сырья при разведке месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых – ГКЗ, 1992.
52. Требования к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений – ГКЗ, 1992.
53. Шумилова Л.В. Подготовка пирит-арсенипиритового концентрата к выщелачиванию золота на основе использования полиреагентных комплексов. Горные науки и технологии. 2016;(1):3-11. DOI:10.17073/2500-0632-2016-1-3-11

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2016, No. 4, pp. 62-72

Title:	Evaluation of technogenic raw materials in Russian Federation(firm mineral resources)
Author 1	Name&Surname: Alexandr I. Yezhov Company: STC «Minstandart» Adress: Russia, 107564, Moscow, Alexander Lukyanov str., 3 Scientific Degree: Candidate of Geological-Mineralogical Sciences
DOI:	10.17073/2500-0632-2016-4-62-72
Abstract:	The technogenic firm mineral raw material is presented by waste of mountain-metallurgical manufacture. Theirs recycling has the major economic value and provides fuller use of not renewed natural resources, decrease in rates of an exhaustion of mineral raw material in bowels, increase of labour productivity, improvement of working conditions, manufacture of cheap building materials and fertilizers for an agriculture, reduction and liquidation of sources of environmental contamination, mined-land occupied by waste. Technogenic mineral formations under condition of a positive estimation of economic efficiency of their development represent technogenic deposits (TD). To morphological attributes TD are subdivided on several industrial typed. Specificity of exploration of TD is defined by their sources, mechanisms of formation, form, structure of industrial congestions and the account of influence on an environment.
Keywords:	technogenic raw material, mountain-metallurgical manufacture, not renewed natural resources, environmental contamination.
References:	1. Babich, A. I., H. W. Gudenau, and D. G. Senk, “Optimization of energy consumption in ironmaking processes by combined use of coal, dust, and waste,” <i>3rd International Conference on Science and Technology of Ironmaking. Proc.</i> , Dusseldorf, June 16–20, 2003, pp. 89–94. 2. Belkin, A. S., Yu. S. Yusfin, I. F. Kurunov, et al., “Use of iron-coke briquets with a cement binder in blast-furnace smelting,” <i>Metallurg</i> , No. 4, 39–41 (2003). 3. Birman, Yu. A. and N. G. Vurdova, <i>Engineering Measures to Protect the Environment</i> , Izd-vo Assotsiatsii Stroitel'nykh Vuzov, Moscow (2002). 4. Bragin, V.V., A. A. Solodukhin, V. S. Shvydkii, and Yu. G. Yaroshenko, “New generation of pelletizing machine for producing pellets with excellent metallurgical properties,” <i>Conf. Report</i> , Krivoy Rog, May 24–27, 2004.



5. Colangelo, F., M. Marroccoli and R. Cioffi, 2004. Properties of self-levelling concrete made with industrial wastes. International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures, Barcelona (Spain), pp: 580–589.
6. Delyagin, G. N., S. F. Erokhin, Yu. S. Karabasov, et al., “Study of the properties of ÉKOVUT with additions of artillery powder,” *Chern. Metall.: Byull. In-ta Chermetinformatsiya*, No. 6, 29–36 (2003).
7. Dobroskok, V. A., Yu. V. Lipukhin, I. F. Kurunov, et al., “Development of a charging regime and experimental use of fine coke in a large blast furnace,” *ibid.*, No. 9, 7–13 (1998).
8. Dzyuba, O. I. and V. F. Kublik, “Technology for concentrating manganese-bearing oxide sludge by a combination method,” *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 594–598.
9. Fechet, R., M. Zlagnan, A. Moanta and L. Ciobanu, 2010. Mining Wastes – sampling, processing and using in anufacture portland cement. *Romanian Journal of Mineral Deposits*, 84: 67–70.
10. Gladkov, N. A., Yu. S. Karabasov, Yu. S. Yusfin, and I. F. Kurunov, *Blast-Furnace Smelting Method. Russian Patent No. 2001110*, *Byul.*, 37–38 (1993).
11. Karabanov, Yu. S., I. F. Kurunov, Yu. S. Yusfin, et al., Liquid Fuel, Russian Patent No. 2150488, *Byull. Izobr.*, No. 16 (2000).
12. Karabasov, Y. S., V. S. Lisin, I. F. Kurunov, et al., “Used motor oil–source of environmental contamination or fuel for blast furnaces?” *Internationaal Technology Conference Proceedings. The 62nd Ironmaking Conference*, Indiannapolis, Indiana (U.S.), April 27–30, 2003, pp. 799–804.
13. Karabasov, Yu. S., A. I. Agaryshev, Yu. S. Yusfin, et al., “Method of operation of a sintering/blast-furnace-smelting complex,” *Author's Certificate No. 1778192 USSR*, *Byul. Izobr.*, No. 14 (1992).
14. Karabasov, Yu. S., V. M. Chizhikova, and M. B. Plushchevskii, *Ecology and Management (Terms and Definitions)*, Izd-vo MISiS, Moscow (2001).
15. Kekukh, A. V., B. M. Linetskii, S. N. Kripak, et al., “Technology for recycling oil-bearing scale in coke production,” *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 587–590.
16. Kekukh, A. V., V. I. Naboka, A. N. Sav'yuk, et al., “Study of the process of obtaining metallized agglomerate from iron-bearing wastes,” *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 584–587.
17. Klyagin, G. S., V. I. Rostovskii, A. V. Kravchenko, and M. V. Ushakova, “Recovery of zinc from the sinter-plant/blast-furnace cycle and recycling zinc-bearing sludge,” *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 576–580.
18. Kurunov, I. F., *Developing Low-Waste Technologies for Blast-Furnace Smelting: Engineering Sciences Doctoral Dissertation*, MISiS, Moscow (2003).
19. Kurunov, I. F., S. F. Erokhin, and D. N. Tikhonov, “Features of a technology for the environmentally safe recycling of oil-bearing mill scale and evaluation of its effectiveness,” *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 580–583.
20. Kurunov, I. F., V. M. Chihikova, A. V. Ganchev, et al., “Environmentally clean technology for sinter production,” *Stal'*, No. 9, 22 (1992).
21. Kurunov, I. F., V. M. Kukartsev, I. S. Yarikov, et al., “Commercial recycling of iron-bearing sludge by its agglomeration and blast-furnace smelting,” *Stal'*, No. 10, 15–19 (2003).
22. Kurunov, I. F., V. M. Kukartsev, I. S. Yarikov, et al., “Experience in the production and blast-furnace smelting of briquets based on iron-and zinc-bearing sludge,” *ibid.*, No. 10, 38–42 (2003).
23. Lisin, V. S. and Yu. S. Yusfin, *Environmental-Resource Problems in the Twenty-First Century and Metallurgy*, Vysshaya Shkola, Moscow (1998).
24. Lisin, V. S., V. N. Skorokhodov, I. F. Kurunov, and V. M. Chizhikova, “Current status and prospects of recycling zinc-bearing wastes from metallurgical production,” *Byull. In-ta Chermetinformatsiya (Supplement 6)*, No. 10 (2001).
25. Lisin, V. S., V. N. Skorokhodov, I. F. Kurunov, et al., “Environmental-resource



- initiatives for recycling metallurgical wastes,” *ibid.*, pp. 64–71.
26. Moore, C. M., R. Deike, and C. Hillman, “Minimization of dioxin emission during sintering of iron residues,” *3rd International Conference on Science and Technology of Ironmaking. Proc.*, Dusseldorf, June 16–20, 2003, pp. 578–581.
27. Moore, C. M., R. Deike, and C. Hillman, “The recycling of complex-containing waste oxides,” *4th European Coke and Ironmaking Congress. Proc.*, Paris La Dafanse, France, June 19–22, 2000, Vol. 1, pp. 408–412.
28. Moosberg, H., B. Lagerblad and E. Forsberg, 2003. The use of by-products from metallurgical and mineral industries as filler in cement-based materials. *Waste Management & Research*, 21: 29–37.
29. Noskov, V. A. “The role of briquetting in the problem of recycling metallurgical wastes,” *Proceedings of a Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 591–594.
30. Petrushov, S. N., I. F. Rusanov, R. I. Rusanov, and V. M. Shulika, “Projects for the use of sludge and open-hearth slag in sinter production,” *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 573–576.
31. Sheremet, V. A., A. V. Kekukh, S. N. Kripak, et al., “Recycling oil-bearing mill scale by low-temperature cracking,” *Proc. International Scientific-Technical Conference*, Krivoy Rog, May 24–27, 2004, pp. 590–591.
32. Shmidkhein, S. L. and F. D. Zorakvin, *Financing of Changes*, Izd. Dom Noosfera, Moscow (1998).
33. *State and Protection of the Environment in the Russian Federation in 2002*, <http://www.mnr.gov.ru>.
34. Vremennye trebovaniya k geologicheskomu izucheniju i prognozirovaniyu vozdeystviya razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh na okruzhajushhuju sredu. [*Temporary requirements geological study and predict the impact of the exploration and development of mineral deposits on the environment.*] – SRC, 1990.
35. Inzhenerno-geologicheskie, gidrogeologicheskie i geojekologicheskie issledovaniya pri razvedke i jekspluatacii rudnyh mestorozhdenij. [*Geotechnical, hydrological and geoecological research in the exploration and exploitation of mineral deposits.*] – Guidelines, SIMS 2002.
36. Lunjashin P. Tehnogennoe mogushhestvo Rossii sderzhivajut nesovershennye zakony. [*Technogenic might restrain Russia imperfect laws*] // Gold and technology – 2016. – No. 1. – Pp. 122–128.
37. Metodicheskie rekomendacii po sostavu i pravilam oformlenija predstavljajemyh na gosudarstvennuju jekspertizu materialov po tehniko-jekonomicheskim obosnovanijam kondicij dlja podscheta zapasov mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh [*Guidelines for the composition and rules of registration submitted to the state examination materials for the feasibility studies of conditions for the calculation of reserves of mineral deposits*] – Russian Ministry of Natural Resources, 2007.
38. Metodicheskie rekomendacii po sostavu i pravilam oformlenija predstavljajemyh na gosudarstvennuju jekspertizu materialov po podschetu zapasov metallicheskih i nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh [*Guidelines for the composition and rules of registration submitted to the state examination materials for the calculation of reserves of metallic and non-metallic minerals*] – Russian Ministry of Natural Resources, 2007.
39. Metodicheskoe rukovodstvo po izucheniju i jekologo-jekonomicheskoj ocenke tehnogennyh mestorozhdenij [*Methodological guide for the study and the environmental and economic assessment of technogenic deposits*] – SRC 1994.
40. Model'nyj kodeks o nedrah i nedropol'zovanii dlja gosudarstv-uchastnikov SNG – Dvadcatoe plenarnoe zasedanie Mezhpaparlamentskoj Assamblei gosudarstv-uchastnikov SNG [*The Model Code on Subsoil and Subsoil Use of the CIS member states - Twentieth Plenary Session of the Interparliamentary Assembly of the CIS member states*]. Resolution No. 20–8, 07.12.2002).
41. Morozov V.V., Shek V.M., Morozov Ju.P., Lodoj D. *Sovershenstvovanie intellektual'nyh metodov upravlenija processami obogashhenija na osnove vizionetricheskogo analiza*



- sortnosti rudy. [Improving the intelligent methods of management of processes of enrichment on the basis of visiometrics analysis of the grade of the ore]. Mining science and technology. 2016;(2):31–42. DOI:10.17073/2500-0632-2016-2-31-42
42. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009). Sanitarnye pravila i normativy. [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009).] Sanitary rules and regulations. SanPiN 2.6.1.2523-09. Decree No. 47 from 07.07.2009.
43. O vnesenii izmenenij v Zakon Rossijskoj Federacii «O nedrah» i ot del'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii [On amending the Law of the Russian Federation "On Subsoil" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation]. the Federal Law number 205 of 29/6/2015.
44. O nedrah [On Subsoil]. Republic of Tatarstan Law of 25.12.1992 No. 1722-XII.
45. O nedrah [On Subsoil]. The Law of the Russian Federation of 21.02.1992 No. 2395-1
46. Ob othodah proizvodstva i potreblenija [On Production and Consumption Waste] Federal Law of 24.06.1998 No. 89.
47. Ob utverzhdenii kriteriev otnesenija opasnyh othodov k klassu opasnosti dlja okruzhajushhej prirodnoj sredy [On approval of the criteria for classifying hazardous waste hazard class for the environment]. Order of the Ministry of Russia, 2001, No. 511.
48. Podturkin Ju.A., Kotkin V.A., Muslimov R.H., Salieva R.N. Pravovoe regulirovanie hozhajstvennoj dejatel'nosti po razrabotke tehnogennyh mestorozhdenij [Legal regulation of economic activity on the development of man-made deposits]. Subsoil–XXI century. – 2009. – № 6. – Pp. 15–20.
49. Razvitie promyshlennoj pererabotki tehnogennogo syr'ja v Rossii [The development of industrial processing of technogenic raw materials in Russia] Mat.of the round table of the State Duma Committee on Natural Resources, Environment and Ecology; 03.14.2016.
50. Trebovanija k geofizicheskomu oprobovaniju pri podschete zapasov mestorozhdenij metallov i nerudnogo syr'ja [Requirements for geophysical testing in the calculation of reserves of deposits of metals and non-metallic materials]. SRC 2007.
51. Trebovanija k izucheniju radiometricheskoj obogatimosti mineral'nogo syr'ja pri razvedke mestorozhdenij metallicheskih i nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh [Requirements for washability radiometric study of mineral resources in the exploration of deposits of metallic and non-metallic minerals]. SRC 1992.
52. Trebovanija k obosnovaniju dostovernosti oprobovanija rudnyh mestorozhdenij [The rationale for testing the reliability of ore deposits Requirements]. SRC 1992.
53. Shumilova L.V. Podgotovka pirit-arsenopiritovogo koncentrata k vyshhelachivaniju zolota na osnove ispol'zovanija polireagentnyh kompleksov. [Preparation of pyrite-arsenopyrite concentrate for gold leaching through the use of polyreagent complexes] Mining science and technology. 2016;(1):3-11. DOI:10.17073/2500-0632-2016-1-3-11

