

ISSN 0536-1028

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ



УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ **УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ВАЛИЕВ Нияз Гадым-оглы

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ГОРДЕЕВ Виктор Александрович

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ДОНДОВ Дорж

*д-р техн. наук, проф., Монгольский государственный университет науки и технологий,
г. Улан-Батор, Монголия*

ДРЕБЕНШТЕДТ Карстен

д-р техн. наук, проф., Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия

ДУШИН Алексей Владимирович

д-р экон. наук, доц., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ИГНАТЬЕВА Маргарита Николаевна

д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

КАЛМЫКОВ Вячеслав Николаевич

д-р техн. наук, проф., Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск

КАРТОЗИЯ Борис Арнольдович

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

КАШНИКОВ Юрий Александрович

д-р техн. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

КОЗИН Владимир Зиновьевич

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

КОРНИЛКОВ Михаил Викторович — *главный редактор*

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

КОСАРЕВ Николай Петрович

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

КОСОЛАПОВ Александр Иннокентьевич

д-р техн. наук, проф., Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

ЛАПИН Эдуард Самуилович

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ЛАТЫШЕВ Олег Георгиевич — *зам. главного редактора*

д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ЛИТВИНЕНКО Владимир Стефанович

д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

МАХНО Дмитрий Евсеевич

д-р техн. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

МОЧАЛОВА Людмила Анатольевна

д-р экон. наук, доц., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ПАНКРАТЕНКО Александр Никитович

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

ПЕТРОВ Вадим Леонидович

д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

ПИВНЯК Геннадий Григорьевич

д-р техн. наук, акад. НАН, Национальный горный университет, г. Днепр, Украина

ПУЧКОВ Лев Александрович

д-р техн. наук, член-корр. РАН, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

СЁМИН Александр Николаевич

д-р экон. наук, акад. РАН, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

СТРОВСКИЙ Владимир Евгеньевич

д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

ТОПАЛОВ Станислав Йорданов

д-р техн. наук, доц., Университет горного дела и геологии Св. Иоанна Рыльского, г. София, Болгария

ТРЫБАЛЬСКИЙ Казимеж

д-р техн. наук, проф., Научно-технический университет им. С. Сташца, г. Краков, Польша

ШЕВЧЕНКО Леонид Андреевич

д-р техн. наук, проф., Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово

ЯКОВЛЕВ Виктор Леонтьевич

д-р техн. наук, член-корр. РАН, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

Научно-технический журнал. Издаётся с 1958 года

Выходит 8 раз в год

№ 3, 2018

12+

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Худеньких К. О. Особенности распространения сульфатных пород и приуроченных к ним месторождений гипса на территории Российской Федерации 4

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ. ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ
Кубарев М. С. Трансформация целей, задач и механизмов государственного регулирования природопользования в свете устойчивого развития 14

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ

Гордеев В. А., Раева О. С. Влияние геометрического фактора на точность спутникового позиционирования 26

ЭКОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Студенок Г. А. Геоэкологическое обоснование технологии очистки дренажных вод горного предприятия от соединений азота в отработанной горной выработке 32

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИ

Леонов Р. Е. Обучение компьютера распознаванию характеристик железных руд 40

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД. БУРОВЗРЫВНОЕ ДЕЛО

Пергамент В. Х., Бурмистров К. В., Овсянников М. П., Даутбаев З. Р. Определение параметров безопасного производства взрывных работ на нагорных карьерах вблизи коммуникаций 45

ГОРНАЯ МЕХАНИКА

Копачев В. Ф., Афанасьев А. И. Аэродинамический расчет шахтных осерадиальных вентиляторов 51

ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ

Каунг Пьей Аунг, Кубрин С. С., Левзнер Л. Д., Дмитриева В. В. Разработка системы управления скоростью движения ленты двухприводного ленточного конвейера 57

Гутаревич В. О., Рябко Е. В. Методика расчета механических напряжений в огневом днище крышки цилиндра дизеля горнотранспортной машины 65

РУДОПОДГОТОВКА И ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Пестряк И. В., Морозов В. В. Исследование влияния ионов меди на поверхностные свойства и флотуемость молибденита 72

Чижевский В. Б., Фадеева Н. В., Гмызина Н. В. Влияние состава и свойств реагентов на флотацию графита 82

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

<i>Закошименный И. М., Кубрин С. С., Янченко Г. А.</i> Расчет показателей материального баланса процесса сжигания угля в подземных условиях при дефиците необходимых исходных данных.....	90
<i>Аликулов Ш. Ш., Собиров Ж., Хайдарова М. Э.</i> Исследования и внедрение способов ограничения растекания продуктивных растворов и интенсификации технологических процессов подземного выщелачивания	100

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРНОГО ДЕЛА

<i>Кленко В. Л., Коновалов В. Е.</i> Системы координат в геодезии (к 90-летию со дня введения в СССР системы плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера).....	107
---	-----

ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА. РЕЦЕНЗИИ

<i>К юбилею Анатолия Дмитриевича Сапурина.....</i>	112
<i>Памяти главного редактора Михаила Викторовича Корнилова.....</i>	114

CONTENTS

REGIONAL PROBLEMS OF MINING

<i>Khuden'kikh K. O.</i> Features of distribution of sulphate rocks and their associated deposits of gypsum in the territory of the Russian Federation	4
--	---

ECONOMICS, ORGANIZATION AND MANAGEMENT. LEGAL MATTERS OF SUBSOIL USE

<i>Kubarev M. S.</i> Transformation of goals, aims, and mechanisms of the state regulating of subsoil use in view of sustainable development.....	14
---	----

MINE SURVEYING AND GEODESY

<i>Gordeev V. A., Raeva O. S.</i> The influence of geometric factor on the accuracy of satellite positioning.....	26
---	----

ECOLOGY OF MINING

<i>Studenok G. A.</i> Geocological foundation of the technology of nitrogen compounds removal from the quarry waters in the exhausted excavation.....	32
---	----

GEOINFORMATIONAL SYSTEMS AND MODELS

<i>Leonov R. E.</i> Training a computer to recognise the features of iron ore.....	40
--	----

DESTRUCTION OF ROCKS. DRILLING-AND-BLASTING OPERATIONS

<i>Pergament V. Kh., Burmistrov K. V., Ovsianikov M. P., Dautbaev Z. R.</i> Determining the parameters of safe blasting at mountain open pits near communication.....	45
---	----

MINING MECHANICAL ENGINEERING

<i>Kopachev V. F., Afanas'ev A. I.</i> Aerodynamic calculation of shaft axial-radial ventilators	51
--	----

MINING TRANSPORT

<i>Kaung Pyae Aung, Kubrin S. S., Pevzner L. D., Dmitrieva V. V.</i> Development of a control system for the speed of the belt of a two-drive belt conveyor.....	57
<i>Gutarevich V. O., Riabko E. V.</i> Mechanical tension calculation methodology for the mining transport machine diesel engine cylinder cover fire bottom.....	65

ORE PREPARATION AND MINERAL DRESSING

<i>Pestriak I. V., Morozov V. V.</i> Study of the effect of copper ions on the surface properties and flotation of molybdenite.....	72
---	----

<i>Chizhevskii V. B., Fadeeva N. V., Gmyzina N. V.</i> Effect of composition and properties of reagents on flotation of graphite	82
--	----

PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES OF MINING

<i>Zakorshmenniy I. M., Kubrin S. S., Ianchenko G. A.</i> Performance calculation of the material balance of combustion process of coal in underground conditions with a deficit of necessary source data	90
<i>Alikulov Sh. Sh., Sobirov Zh., Khaidarova M. E.</i> Research and implementation of the methods of limiting the diffuence of product solutions and the intensification of underground leaching workflows	100

HISTORICAL ASPECTS OF MINING

<i>Klepko V. L., Kononov V. E.</i> Coordinate systems in geodesy (to the 90th anniversary of establishing of plane rectangular Gauss–Kruger coordinates system in the USSR).....	107
--	-----

INFORMATION. CHRONICLES. REVIEWS

<i>To the anniversary of Sashurin Anatoly Dmitrievich</i>	112
<i>In memory of editor-in-chief Mikhail Viktorovich Kornilkov</i>	114

**ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В «ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ,
В КОТОРЫХ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
ДИССЕРТАЦИЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК,
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК»**

(письмо Минобрнауки РФ от 1 декабря 2015 года № 13-6518)

В журнале публикуются статьи по следующим отраслям науки
и группам специальностей научных работников:

25.00.00 НАУКИ О ЗЕМЛЕ;

**05.00.00 ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: 05.09.00 Электротехника, 05.05.00 Транспортное, горное и
строительное машиностроение, 05.26.00 Безопасность деятельности человека;**

08.00.00 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СУЛЬФАТНЫХ ПОРОД И ПРИУРОЧЕННЫХ К НИМ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПСА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ХУДЕНЬКИХ К. О.

Рассмотрены особенности распространения сульфатных карстующихся пород, которые одновременно являются полезными ископаемыми, и месторождений гипса на территории Российской Федерации. Показано, что наибольшие ареалы распространения сульфатных пород установлены в Приволжском и Сибирском федеральных округах Российской Федерации. Добыча гипса наиболее развита в Приволжском федеральном округе, где расположено абсолютное большинство месторождений гипса. Рассмотрены особенности геологического строения сульфатных и сульфатосодержащих толщ в субъектах Российской Федерации, в пределах которых имеются месторождения гипса и ангидрита. Полученные данные позволили составить новую карту распространения сульфатных пород на территории Российской Федерации с нанесенными месторождениями гипса и определить перспективные районы для пополнения минерально-сырьевой базы гипсовой отрасли на территории Северо-Западного федерального округа, Сибири и Дальнего Востока.

Ключевые слова: карстующиеся породы; сульфаты; месторождения гипса и ангидрита; приуроченность; ареал распространения.

Все карстующиеся породы (в том числе сульфатные) слагают геологические тела разных размеров (пласты, линзы и др.) и используются как полезные ископаемые [1]. В Российской Федерации разрабатываются месторождения всех известных карстующихся пород, являющихся полезными ископаемыми: известняков, доломитов, гипсов и ангидритов, каменной и калийной солей. Добыча гипса является перспективной отраслью российской экономики.

Гипс – широко распространенный материал состава $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (CaO – 32,6 %; SO_3 – 46,5 %; H_2O – 20,9 %). Цвет гипса – белый, серый, голубовато-серый, розовый, желтый; окраска бывает пятнистой и линзовидно-полосчатой. Гипс как полезное ископаемое представляет собой мономинеральную породу, называемую гипсовым камнем. Основное свойство гипса, определяющее его промышленное значение, это способность терять при нагревании кристаллизационную воду и давать при затворении водой пластичную массу, постепенно твердеющую на воздухе и превращающуюся в прочный искусственный камень.

Месторождения гипса расположены на земном шаре неравномерно, что напрямую связано с распространением сульфатных пород (рис. 1). Наиболее крупными запасами располагают Россия, Германия, США, Канада, Испания, Мексика, Китай, Франция, Италия, Греция. Также добыча гипса ведется в Чехии, Великобритании, Японии, Иране, Австралии, Бразилии и ряде других стран [3].

В настоящее время в России нет специализированных карт, посвященных распространению сульфатных полезных ископаемых. Однако гипс и ангидрит явля-

ются карстующимися породами, и в этом ключе о сульфатных породах имеется довольно обширный массив информации. Здесь необходимо обратиться к такой научной дисциплине, как региональное карстоведение – один из разделов науки о карсте, предмет исследования которого – карстовые процессы и формы в пределах регионов мира, стран и т. д. [4]. Именно это направление карстоведения изучает особенности распространения карстующихся пород (в числе которых гипс и ангидрит) на территориях субъектов Российской Федерации, а также за ее пределами.

В XX в. появляются первые обзорные карты, на которых проявления карста показаны внемасштабными знаками. В качестве примера можно привести карту распространения карста на территории России, составленную Г. А. Максимовичем [5] (рис. 2, а). В 1982 г. в СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» опубликована схематическая карта распространения карста на территории СССР (рис. 2, б). Первая схема распространения сульфатных пород на территории СССР (рис. 2, в), а также первое детальное описание сульфатного карста в некоторых регионах страны были опубликованы в учебном пособии К. А. Горбуновой «Карст гипса СССР» [6]. В 1992 г. В. Н. Дублянский и Г. Н. Дублянская предложили новые принципы картографирования, типизации и районирования карста [7], руководствуясь которыми составили карту распространения типов карста России по литологии (рис. 2, з) [4].

Анализ перечисленных карт показал, что сульфатные породы наиболее широко распространены в пределах Приволжского, Северо-Западного и Сибирского федеральных округов, присутствуют в Центральном, Южном, Северо-Кавказском и Дальневосточном округах и практически отсутствуют в Уральском федеральном округе.

Также и география месторождений гипса довольно широка – от Магаданской до Псковской области. Согласно Государственному кадастру месторождений России, в нашей стране насчитывается 234 месторождения гипса, которые присутствуют во всех Федеральных округах (таблица).

Имеющиеся карты и схемы распространения карстующихся пород были наложены друг на друга методом суперпозиции, что позволило оконтурить участки распространения сульфатных пород (гипса и ангидрита) на территории Российской Федерации. На эту же карту был нанесен слой с месторождениями гипса, что позволило выявить их приуроченность к конкретным ареалам сульфатов, а также к территориальным округам. В целом месторождения гипса тяготеют к выделенным ареалам распространения сульфатных пород, а в Центральном, Северо-Кавказском, Дальневосточном и Сибирском федеральных округах появились новые участки проявления сульфатных пород (рис. 3).

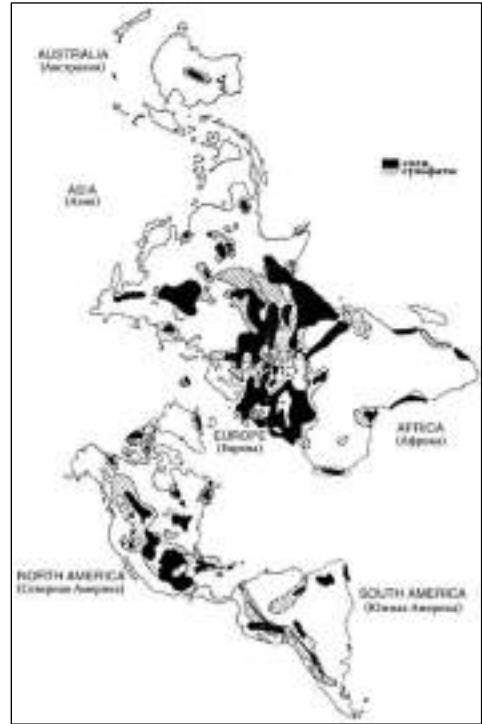


Рис. 1. Распространение солей и сульфатных пород на земном шаре [2]

Месторождения гипса приурочены к отложениям различных геологических систем, в частности к верхнему кембрию, девону, перми, верхней юре, мелу. Однако, во-первых, распределены они на территории страны неравномерно, а во-вторых, своей мощностью и промышленной ценностью среди них резко выделяются месторождения пермского возраста [8].

Далее приводится краткое описание распространения гипсов и их месторождений в границах административных регионов Российской Федерации.

Дальневосточный федеральный округ. На территории Якутии гипсы и ангидриты широко распространены на западе, где они встречаются в долинах рек Лена, Олекма, Вилюй и их притоков, на севере – в бассейне р. Оленек и правых притоков р. Лены, а на востоке – в бассейне р. Восточная Хандыга и в других районах. Стратиграфически месторождения гипсов и ангидритов приурочены к кембрийским, ордовикским, силурийским, девонским и каменноугольным отложениям. Среди них гипсы залегают в виде отдельных пластов, линз и линзовидных прослоев, мощности которых изменяются от долей до первых десятков метров. Мощности гипсоносных отложений достигают иногда 350–400 м [9].

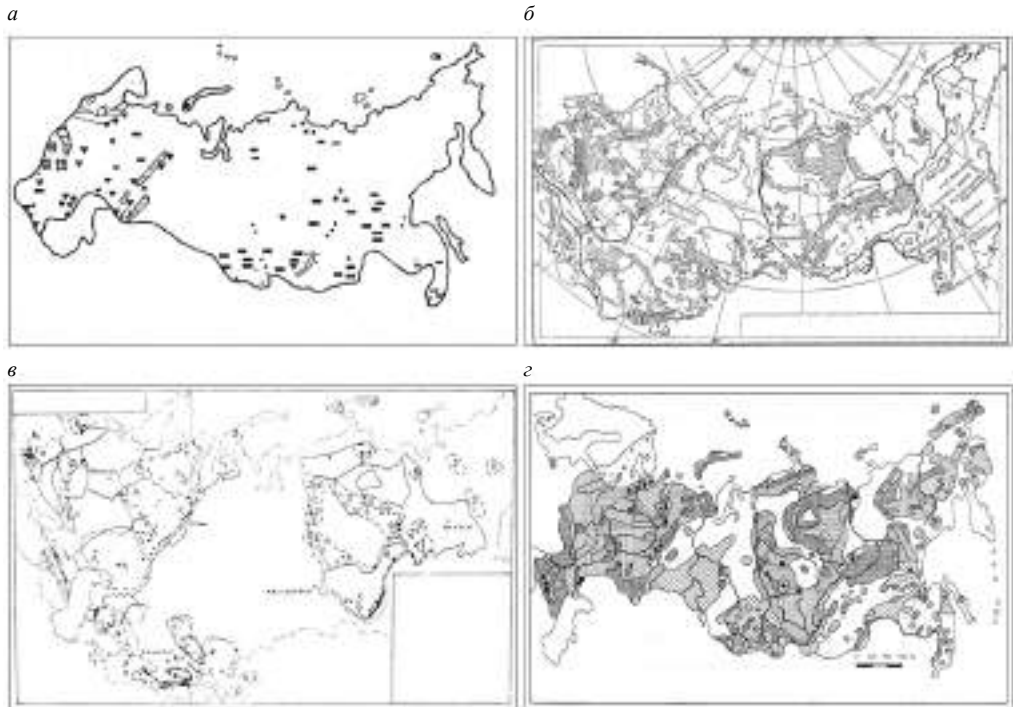


Рис. 2. Карты распространения карста на территории России

Единственное месторождение гипсов в Магаданской области связано с регрессивными осадками девонских пород, представленных известняками, доломитами, пестроцветными мергелями, гипсами, ангидритами. Мощность гипсоносных отложений может изменяться от 50 до 700 м (в среднем 200–300 м) [10, 11].

Сибирский федеральный округ. Наибольшее количество месторождений гипса Сибирского ФО разведано в Иркутской области (24 месторождения). Гипс в Иркутской области начали добывать еще в XIX в.: «В Балаганском округе, в районе Унгинского инородческого ведомства, из горы Красный Яр достается до 30 000 пудов гипса» [12].

Месторождения гипсов приурочены в основном к усольской свите ленского яруса нижнего кембрия. Свита характеризуется чередованием каменной соли с пластами и пачками сульфатно-карбонатных пород (доломитов, гипсов, ангидритов)

Месторождения гипса в пределах федеральных округов и субъектов Российской Федерации

Федеральный округ	Количество месторождений гипса в пределах ФО	Субъект РФ	Количество месторождений гипса в пределах субъекта РФ
Дальневосточный	4	Республика Саха (Якутия)	3
		Магаданская область	1
Сибирский	49	Иркутская область	23
		Красноярский край	14
		Алтайский край	10
		Республика Хакасия	2
Уральский	8	Свердловская область	4
		Челябинская область	4
Приволжский	112	Республика Башкортостан	39
		Самарская область	26
		Пермский край	21
		Оренбургская область	14
		Нижегородская область	7
		Республика Татарстан	2
		Республика Чувашия	1
		Республика Марий Эл	1
Северо-Западный	16	Кировская область	1
		Псковская область	7
		Архангельская область	7
Центральный	6	Республика Коми	2
		Тульская область	4
		Калужская область	1
Южный	27	Рязанская область	1
		Краснодарский край	10
		Ростовская область	8
		Республика Адыгея	4
		Астраханская область	3
Северо-Кавказский	10	Республика Калмыкия	2
		Республика Карачаево-Черкесия	6
		Республика Кабардино-Балкария	2
		Республика Дагестан	1
Крым	2	Республика Чечня	1
		Республика Крым	2
<i>Всего</i>	234		234

с очень редкими мергелистыми прослоями. Мощность переслаивания сульфатных и карбонатных пород может достигать более 200 м [13]. Отмечено образование карстово-суффозионных провалов в породах ленского яруса, выходящих на дневную поверхность в периферийных частях Иркутского региона [14, 15].

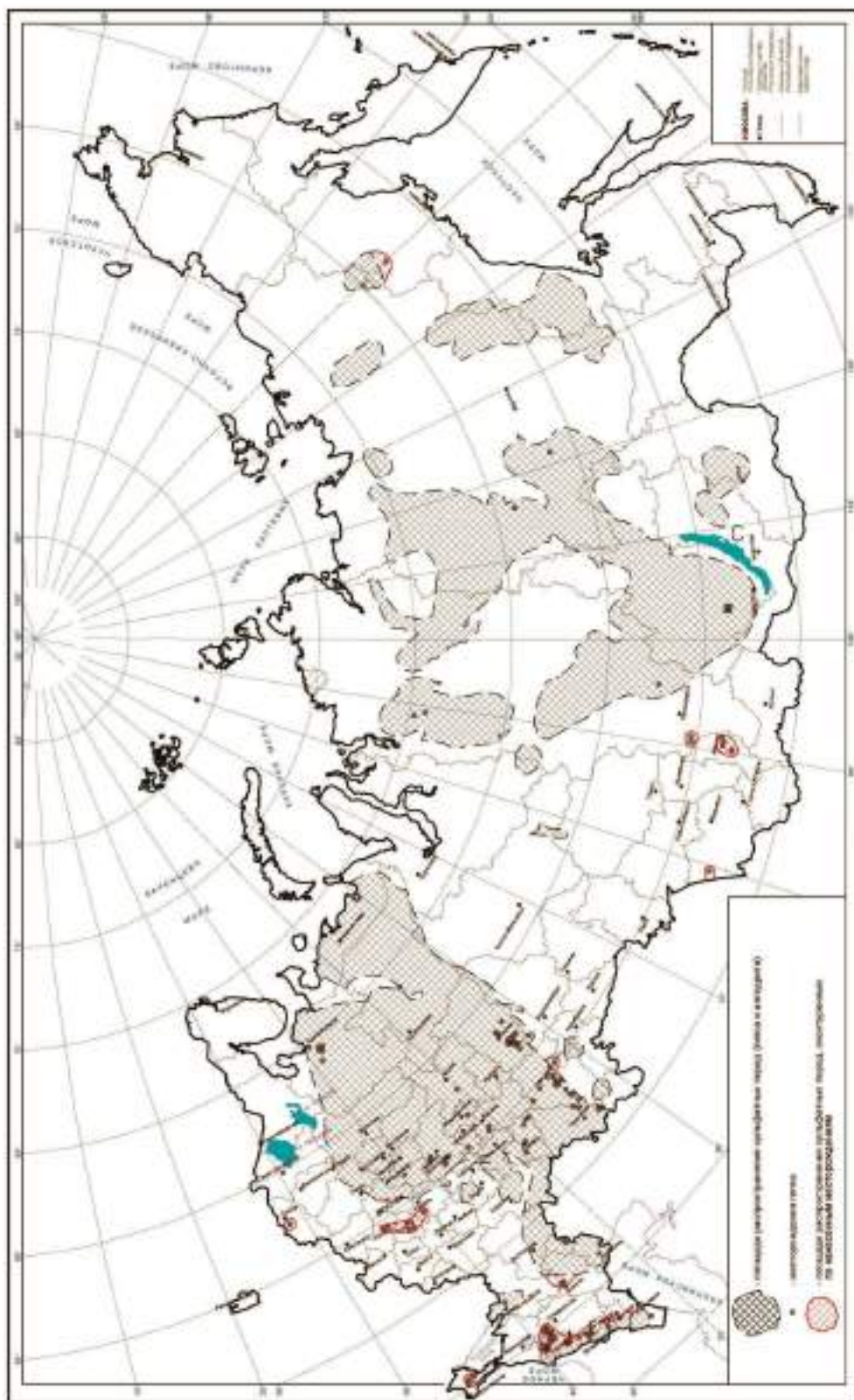


Рис. 3. Карта распространения сульфатных пород и месторождений гипса на территории РФ

На территории Красноярского края «над каменноугольными песчаниками проходят широкой полосой триасовые известняки со слоями гипса» [12]. Гипсы верхнего кембрия встречены в нижнем и среднем течении р. Подкаменной Тунгуски (Сибирская платформа), в пределах Анабарской антеклизы в отложениях нижнего и среднего ордовика встречаются прослои гипса в известняках, загипсованность пород среднего ордовика отмечена в центральной части Сибирской платформы. В бассейне р. Котуй, в междуречье Мойерокана и Верхней Томбы широко развиты гипсоносные пестроцветные породы верхнего силура, в которых мощность пластов гипса может достигать 8 м. В долине среднего и нижнего течения р. Тарей имеется гипсоносная нижнедевонская пачка мощностью 100–120 м. На севере, в Норильском и Имагдинском районах отмечены нижнедевонские пачки гипсов мощностью до 10 м и более. Выходы среднедевонских белых и серых, однородных и полосчатых, мелко- и крупнозернистых гипсов установлены на площади юго-восточной окраины Таймырского полуострова. Они обнажаются на сопке Серой (южный склон возвышенности Кирыка-Тас), на сопке Белой (верховье р. Сеньки, стекающей в Хатаганский залив). Мощность среднедевонских гипсов 85–100 м. Верхнедевонские гипсы мощностью 7–8 м встречены в истоках рек Амбардаах и Маймечи в окрестностях г. Норильска [16].

Месторождения гипса на Алтае связаны с современными осадками озер и с девонскими толщами в горном Алтае. Также отмечается загипсованность неогеновых и ниже-среднечетвертичных толщ в разных районах Алтая. Особое внимание уделяется озерным месторождениям гипса, связанным с современными хемогенными осадками. Мощности таких залежей не превышают 1,5 м, но площади их могут быть весьма значительными – до 10 км² (Джиринское месторождение) [17].

В Республике Хакасия пласты гипса приурочены к верхней части отложений бейской свиты среднего девона. Мощность пластов 0,5–2,5 м. Отмечена загипсованность нижнедевонских алевролитов в районе ст. Хараджуль. В бассейне р. Абакан присутствуют озерные осадки олигоцена, содержащие в верхней части маломощные линзы гипса [18].

Уральский федеральный округ. Месторождения гипса Свердловской и Челябинской областей приурочены к восточному склону Урала. На месторождениях Свердловской области добывают гипсы среднедевонского возраста, в Челябинской области гипсоносная толща приурочена к среднекаменноугольным отложениям. Мощность гипсоносных пачек месторождений Свердловской области достигает 80 м, на месторождениях Челябинской области – 99 м [19].

Северо-Западный федеральный округ. На территории Псковской области месторождения гипсов находятся в Печерском и Порховском районах и приурочены к верхнечудовским слоям франского яруса верхнего девона. Глубина залегания гипсовых пачек мощностью от 2 до 4 м варьирует от 2 до 11 м. Гипсы часто закарстованы [20].

Месторождения Архангельской области связаны с нижнепермскими отложениями. Одно из старейших месторождений гипса – Звозское – эксплуатируется с конца XVIII в. Выходы гипсовой толщи месторождения прослежены по берегам р. Северной Двины на расстояние 25 км; с поверхности породы гипсовой толщи сильно закарстованы. Мощность гипсовой толщи может достигать 30 м [21].

Центральный федеральный округ. Сульфатные отложения в пределах Тульской, Калужской и Рязанской областей приурочены к среднему девону (наровский горизонт живетского яруса, мощность слоев гипса достигает 15 м), нижнему карбону (озерская толща заволжского горизонта турнейского яруса, мощность толщи – от 20 до 39 м) [22]. Месторождениями эксплуатируются залежи гипса

озерских отложений. Гипсы наровского горизонта залегают на глубинах от 390 до 1200 м, пласты маломощны, поэтому разработка этих залежей экономически нецелесообразна [23].

Залежи гипса мощностью от 4 до 45 м выявлены в Вязниковском и Гороховецком районах Владимирской области. Они отнесены к отложениям верхней и нижней перми [23]. Однако во Владимирской области на данный момент ни одного месторождения не зарегистрировано.

Южный федеральный округ. На территории Краснодарского края и Республики Адыгея месторождения гипса распространены в бассейне р. Кубань. Мощная толща гипсов (до 630 м) приурочена к титонским отложениям верхней юры. Гипсоносная толща сильно закарстована [24]. В пределах Волгоградской и Астраханской областей гипсом представлены кунгурские отложения нижней перми. Обнажаются гипсы только около оз. Баскунчак (Баскунчакское месторождение, Астраханская обл.) [25]. Мощность гипсовой толщи на Баскунчакском месторождении может достигать 92 м [26].

Ростовская область располагает значительными запасами природного гипсового камня, но гипс представлен не в чистом виде. Разведаны месторождения гипсо-содержащих пород (или глиногипса), которые обычно представляют собой землистую породу, состоящую из гипса с песчано-глинистыми и известково-глинистыми примесями. Химический и минералогический состав глиногипса часто заметно колеблется даже в пределах одного месторождения. Количество двуводного сернокислого кальция в глиногипсе составляет от 30 до 60 % [27]. Аналогичная ситуация отмечена в Республике Калмыкия. Глиногипсы как в Ростовской области, так и в Калмыкской республике четвертичного возраста, залегают в виде узких полос, длина которых достигает 3,5 км, ширина – 300 м, мощность – 6,2 м.

Северо-Кавказский федеральный округ. В восточной и центральной частях Кавказа месторождения гипса приурочены к титонским отложениям верхней юры. Мощность этих отложений варьирует в широких пределах. На территории Южного Дагестана (бассейн р. Самур) мощность титона колеблется от 40 м в районе горы Шалбуз-даг до 80–85 м в районе горы Шаг-даг. Далее на северо-запад мощность постепенно увеличивается, достигая 340–350 м в бассейнах рек Андийское Койсу (район с. Гигатли-Урух) и Хорочой и 690 м по р. Шаро-Аргун. К западу от последней наблюдается сокращение мощности, от 540 м в бассейне р. Чанты-Аргун до 480 м по р. Гехи.

Одновременно с изменением мощностей с юго-востока на северо-запад наблюдается изменение литологического состава пород в сторону насыщения разреза грубообломочными брекчиями. Максимальная мощность гипсов (450 м) наблюдается в бассейне р. Шаро-Аргун [28].

Крым. Промышленное значение залежи гипса имеют только на Керченском полуострове. Гипс залегают в толще глин, мергелей и песков караганского горизонта среднего миоцена. Мощность пластов гипса изменяется от 0,8 до 5,3 м. Выходы гипса известны также в 3,5 км к югу от д. Ячменная, на Парпачском гребне и в 9 км к северо-востоку от ж.-д. ст. Владиславовка, у с. Фронтное. За пределами Керченского полуострова гипс имеется среди четвертичных покровных суглинков в районе с. Ивановка в 8 км к юго-западу от ж.-д. ст. Саки [29].

Приволжский федеральный округ. Почти половина месторождений гипса (112) находится в Приволжском Федеральном округе (таблица). Наибольшее их количество (39) разведано в Башкирии. Гипс месторождений приурочен к иренскому горизонту кунгурского яруса нижней перми. Мощность гипсовых толщ может достигать 200 м [30]. Отложения гипса развиты в бассейнах нижних течений р. Белой и ее притоков: Уфы, Демы, Сима, Уршака. Это юго-восточный склон

Русской платформы, Предуральский краевой прогиб, южное и западное погружение Пермско-Башкирского свода. Также гипс встречается в северо- и юго-восточных частях Бугульминско-Белебеевской возвышенности, соответствующих окраинам Татарского свода, а также на западе Приайской равнины [31].

Месторождения гипса Самарской, Нижегородской, Кировской областей, республик Марий Эл, Татарстана и Чувашии приурочены к сакмарскому ярусу нижней перми. Отложения сакмарского яруса представлены толщей гипсов и ангидритов с прослоями тонкозернистых и пелитоморфных доломитов. Мощность яруса обычно не более 40 м, участками до 78 м. Толща образований яруса местами сильно и глубоко закарстована. В пределах Нижегородской области мощность сакмарского яруса может достигать 118 м. На территории Самарской области также разрабатываются месторождения гипса, приуроченные к отложениям казанского яруса верхней перми [32].

В Оренбургской области добыча гипса приурочена к иренскому горизонту кунгурского яруса нижней перми. Разрез кунгурского яруса характеризуется наличием терригенных пород и мощной гипсовой толщи (до 100 м и более) [30].

Большая часть месторождений гипса Пермского края размещена на территории Кунгурского и Ординского районов. Месторождения имеются также в Кишертском, Добрянском и Чусовском районах. Все месторождения приурочены к кунгурскому ярусу нижнепермской системы. В большинстве случаев добывают гипсы лунежской и демидковской пачек иренского горизонта.

Как правило, залежи гипса, выходящие на дневную поверхность или перекрытые карбонатными породами кунгурского яруса, сменяются ангидритом. Эта смена происходит постепенно, через переходную толщу мощностью от 3 до 5 м. В гипсовых толщах интенсивно развиты всевозможные проявления карста. Мощность лунежской пачки может достигать 60 м, демидковской – 30 м [19].

Поводя итоги, необходимо сделать следующие выводы. Сульфатные отложения разновозрастные – от кембрия до четвертичной системы. В большей степени они распространены в пределах Приволжского, Северо-Западного и Сибирского федеральных округов, присутствуют в Центральном, Южном, Северо-Кавказском и Дальневосточном округах и практически отсутствуют в Уральском федеральном округе. Наибольшее количество месторождений гипса разрабатывается в Приволжском федеральном округе. В Сибири гипс добывают в основном в южной части региона, хотя имеются перспективные участки и на остальной части территории. Это же самое можно сказать о Северо-Западном федеральном округе и Дальнем Востоке.

Тем не менее гипсовая отрасль не стоит на месте, геологи продолжают разведывать новые месторождения, и возможны новые открытия на названных перспективных территориях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дублянский В. Н., Дублянская Г. Н. Карстоведение. Ч. 1. Общее карстоведение: учеб. пособие. Пермь: ПГУ, 2004. 308 с.
2. Ford D., Williams P. Karst geomorphology and hydrology. London, 1989. 601 p.
3. Романович И. Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов. М.: Недра, 1986. 366 с.
4. Дублянский В. Н., Дублянская Г. Н. Карстоведение. Ч. 2. Региональное карстоведение: учеб. пособие. Пермь: ПГУ, 2008. 267 с.
5. Максимович Г. А. Районирование карста СССР: докл. 4-го Всеур. совещ. по физ.-геогр. и эконом.-геогр. районированию. Пермь, 1958. 8 с.
6. Горбунова К. А. Карст гипса СССР: учеб. пособие. Пермь: ПГУ, 1977. 84 с.
7. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н. Карстографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск: Ротапринт, 1992. 144 с.
8. Курс месторождений неметаллических полезных ископаемых / В. Ф. Дыбков [и др.]. М.: Недра, 1969. 472 с.

9. Геология СССР. Т. XVIII. Якутская АССР. Полезные ископаемые. М.: Недра, 1979. 411 с.
10. Инженерная геология СССР. Т. III. Дальний Восток. М.: МГУ, 1977. 502 с.
11. Геология СССР. Т. XXX. Северо-Восток СССР. Книга 1. М.: Недра, 1970. 548 с.
12. Азанчеев Ю. Каменоломни и разработки простых полезных ископаемых. С.-Петербург: Типо-литография и фототипия В.И. Штейна, 1894. 346 с.
13. Геология СССР. Т. XVII. Иркутская область. М.: Недра, 1962. 514 с.
14. Гидрогеология СССР. Т. XIX. Иркутская область. М.: Недра, 1968. 495 с.
15. Инженерная геология СССР. Т. III. Восточная Сибирь. М.: МГУ, 1977. 657 с.
16. Геология СССР. Т. XV. Красноярский край. М.: Недра, 1961. 815 с.
17. Рычков В. М. Некоторые аспекты континентального соленакпления на Алтае // Наука. Культура. Образование. Вып. 3. Горно-Алтайск: ГАГУ, 1999. С. 148–151.
18. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000 / А. Н. Федотов [и др.]. Изд. второе. Сер. Минусинская. Лист N-46XXV (Аскиз). М., СПб., 2003. 240 с.
19. Геология СССР. Т. XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Полезные ископаемые. М.: Недра, 1973. 632 с.
20. Гидрогеология СССР. Том III. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. М.: Недра, 1967. 328 с.
21. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых: учебник для вузов / А. Е. Карякин [и др.]. М.: Недра, 1985. 286 с.
22. Геология СССР. Т. IV. Центр Европейской части СССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1971. 742 с.
23. Гидрогеология СССР. Т. I. Московская, Калининская, Ярославская, Владимирская, Рязанская, Тульская, Калужская, Смоленская области. М.: Недра, 1966. 423 с.
24. Геология СССР. Т. IX. Северный Кавказ. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1968. 760 с.
25. Геология СССР. Т. XLVI. Ростовская, Волгоградская, Астраханская области и Калмыцкая АССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 666 с.
26. Гидрогеология СССР. Т. XIII. Поволжье и Прикамье. Ч. 1. М.: Недра, 1970. 800 с.
27. Шемшур Е. А. К вопросу о применении строительных материалов в дорожно-транспортном комплексе // Инженерный вестник Дона: электронный научн. журн. 2012. № 4.
28. Геология СССР. Т. IX. Северный Кавказ. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1968. 760 с.
29. Геология СССР. Т. VIII. Крым. Полезные ископаемые. М.: Недра, 1974. 208 с.
30. Геология СССР. Т. XIII. Башкирская АССР и Оренбургская область. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 655 с.
31. Карст Башкортостана: монография / Р. Ф. Абдрахманов [и др.]. Уфа: Информреклама, 2002. 385 с.
32. Геология СССР. Т. XI. Поволжье и Прикамье. Геологическое описание. М.: Недра, 1967. 872 с.

Поступила в редакцию 29 декабря 2017 года

FEATURES OF DISTRIBUTION OF SULPHATE ROCKS AND THEIR ASSOCIATED DEPOSITS OF GYPSUM IN THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Khuden'kikh K. O. – LLC Ergach, Ergach village, Kungur district, Perm region, the Russian Federation.
E-mail: ms002@ergach0.ru

The article examines the features of the distribution of sulfate karst rocks, which are both minerals, and deposits of gypsum in the territory of the Russian Federation. It is shown that the largest areas of distribution of sulphate rocks are set in the Volga and Siberian Federal districts of the Russian Federation. Production of gypsum is the most developed in the Volga Federal district, where the vast majority of gypsum deposits is situated. The peculiarities of the geological structure of sulfate and sulfate-based sequences in the constituent entities of the Russian Federation are examined, within which there are deposits of gypsum and anhydrite. The data obtained have allowed to draw a new map of the distribution of sulfate species on the territory of the Russian Federation with gypsum deposits plotted on it, and to identify promising areas for the replenishment of mineral resource base of gypsum industry in the territory of the Northwestern Federal district, Siberia and the Far East.

Key words: karst rocks; sulfates; gypsum and anhydrite deposits; confinedness; the area of distribution.

REFERENCES

1. Dublianskii V. N., Dublianskaia G. N. *Karstovedenie. Ch. 1. Obshchee karstovedenie: ucheb. posobie* [School book "Karst phenomena studies. Part 1. General karst phenomena studies"]. Perm, PSU Publ., 2004. 308 p.
2. Ford D., Williams P. *Karst geomorphology and hydrology*. London, 1989. 601 p.
3. Romanovich I. F. *Mestorozhdeniia nemetallicheskih poleznykh iskopaemykh: ucheb. posobie dlia vuzov* [School book for institutes of higher education "The deposits of non-ferrous minerals"]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 366 p.
4. Dublianskii V. N., Dublianskaia G. N. *Karstovedenie. Ch. 2. Regional'noe karstovedenie: ucheb. posobie* [School book "Karst phenomena studies. Part 2. Regional karst phenomena studies"]. Perm, PSU Publ., 2008. 267 p.
5. Maksimovich G. A. *Raionirovanie karsta SSSR: dokl. 4-go Vseur. soveshch. po fiz.-geogr. i ekonom.-geogr. raionirovaniu* [Proc. 4th All-Ural Conf. on physical-geographical and economic-geographical zoning "USSR karst zoning"]. Perm, 1958. 8 p. (In Russ.)

6. Gorbunova K. A. *Karst gipsa SSSR: ucheb. posobie* [School book “USSR gypsum karst”]. Perm, PSU Publ., 1977. 84 p.
 7. Dublianskaia G. N., Dublianskii V. N. *Karstografirovanie, raionirovanie i inzhenerno-geologicheskaia otsenka zakarstovannykh territorii* [Karstography, zoning, and engineering-geological estimation of karst limestone territories]. Novosibirsk, Rotaprint Publ., 1992. 144 p.
 8. Dybkov V. F., and others. *Kurs mestorozhdenii nemetallicheskih poleznykh iskopaemykh* [Non-metalliferrous minerals deposits course]. Moscow, Nedra Publ., 1969. 472 p.
 9. *Geologiya SSSR. T. XVIII. Iakutskaiia ASSR. Poleznye iskopaemye* [USSR geology. Vol. 18. Yakut ASSR. Minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 411 p.
 10. *Inzhenernaia geologiya SSSR. T. III. Dal'nii Vostok* [USSR engineering geology. Vol. 3. The Far East]. Moscow, MSU Publ., 1977. 502 p.
 11. *Geologiya SSSR. T. XXX. Severo-Vostok SSSR. Kniga 1* [USSR geology. Vol. 30. The northeast of the USSR. Book 1]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 548 p.
 12. Azancheev Iu. *Kamenolomni i razrabotki prostykh "poleznykh" iskopaemykh* [Stone quarries and the development of simple minerals]. St. Petersburg, Tipo-litografiia i fototipiia V. I. Shteina Publ., 1894. 346 p.
 13. *Geologiya SSSR. T. XVII. Irkutskaiia oblast'* [USSR geology. Vol. 17. Irkutsk region]. Moscow, Nedra Publ., 1962. 514 p.
 14. *Gidrogeologiya SSSR. T. XIX. Irkutskaiia oblast'* [USSR hydrogeology. Vol. 19. Irkutsk region]. Moscow, Nedra Publ., 1968. 495 p.
 15. *Inzhenernaia geologiya SSSR. T. III. Vostochnaia Sibir'* [USSR engineering geology. Vol. 3. Eastern Siberia]. Moscow, MSU Publ., 1977. 657 p.
 16. *Geologiya SSSR. T. XV. Krasnoiarskii krai* [USSR geology. Vol. 15. Krasnoyarsk krai]. Moscow, Nedra Publ., 1961. 815 p.
 17. Rychkov V. M. [Some aspects of continental saline accumulation in the Altai]. *Nauka. Kul'tura. Obrazovanie* [Science, Education and Culture]. Issue 3. Gorno-Altaysk, GASY Publ., 1999, pp. 148–151. (In Russ.)
 18. Fedotov A. N., and others. *Gosudarstvennaia geologicheskaia karta Rossiiskoi Federatsii mashtaba 1:200000. Izd. vtoroe. Ser. Minusinskaia. List N-46XXV (Askiz)* [National geologic map of the Russian Federation. Scale 1:200000. Issue 2. Minusinsk ser. Sheet N-46XXV (Askiz)]. Moscow, St. Petersburg, 2003. 240 p.
 19. *Geologiya SSSR. T. XII. Permskaia, Sverdlovskaiia, Cheliabinskaiia i Kurganskaiia oblasti. Poleznye iskopaemye* [USSR geology. Vol. 12. Perm, Sverdlovsk, Chelyabinsk, and Kurgan regions. Minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 632 p.
 20. *Gidrogeologiya SSSR. Tom III. Leningradskaia, Pskovskaia i Novgorodskaiia oblasti* [USSR hydrogeology. Vol. 3. Leningrad, Pskov, and Novgorod regions]. Moscow, Nedra Publ., 1967. 328 p.
 21. Kariakin A. E., and others. *Promyshlennye tipy mestorozhdenii nemetallicheskih poleznykh iskopaemykh: uchebnik dliai vuzov* [School book for the institutions of higher education “Industrial types of non-metalliferrous minerals deposits”]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 286 p.
 22. *Geologiya SSSR. T. IV. Tsentrii Evropeiskoi chasti SSSR. Geologicheskoe opisanie* [USSR geology. Vol. 4. The centre of the European part of the USSR. Geological description]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 742 p.
 23. *Gidrogeologiya SSSR. T. I. Moskovskaia, Kalininskaia, Iaroslavskaiia, Vladimirskaia, Riazanskaia, Tul'skaia, Kaluzhskaiia, Smolenskaiia oblasti* [USSR hydrogeology. Vol. 1. Moscow, Kalininsky, Yaroslavl, Vladimir, Ryazan, Tula, Kaluga, and Smolensk regions]. Moscow, Nedra Publ., 1966. 423 p.
 24. *Geologiya SSSR. T. IX. Severnyi Kavkaz. Ch. 1. Geologicheskoe opisanie* [USSR geology. Vol. 9. The North Caucasus. Part 1. Geological description]. Moscow, Nedra Publ., 1968. 760 p.
 25. *Geologiya SSSR. T. XLVI. Rostovskaiia, Volgogradskaiia, Astrakhanskaiia oblasti i Kalmytskaia ASSR. Geologicheskoe opisanie* [USSR Geology. Vol. 46. Rostov, Volgograd, Astrakhan region, and Kalmyk ASSR. Geological description]. Moscow, Nedra Publ., 1969. 666 p.
 26. *Gidrogeologiya SSSR. T. XIII. Povolzh'e i Prikam'e. Ch. 1* [USSR hydrogeology. Vol. 13. The Volga region and Prikamye. Part 1]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 800 p.
 27. Shemshura E. A. [On the question of using materials of construction in road-transport system]. *Inzhenernyi vestnik Dona: elektronnyi nauchn. zhurn – Engineering Journal of Don. Electronic scientific journal*. 2012, no. 4. (In Russ.)
 28. *Geologiya SSSR. T. IX. Severnyi Kavkaz. Ch. 1. Geologicheskoe opisanie* [USSR geology. Vol. 9. The North Caucasus. Part 1. Geological description]. Moscow, Nedra Publ., 1968. 760 p.
 29. *Geologiya SSSR. T. VIII. Krym. Poleznye iskopaemye* [USSR geology. Vol. 8. Crimea. Minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1974. 208 p.
 30. *Geologiya SSSR. T. XIII. Bashkirskaiia ASSR i Orenburgskaiia oblast'. Geologicheskoe opisanie* [USSR geology. Vol. 13. Bashkir ASSR and Orenburg region. Geological description]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 655 p.
 31. Abdrakhmanov R. F., and others. *Karst Bashkortostana: monografiia* [Bashkortostan karst: monograph]. Ufa, Informreklama Publ., 2002. 385 p.
 32. *Geologiya SSSR. T. XI. Povolzh'e i Prikam'e. Geologicheskoe opisanie* [USSR geology. Vol. 9. The Volga region and Prikamye. Geological description]. Moscow, Nedra Publ., 1967. 872 p.
-

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЦЕЛЕЙ, ЗАДАЧ И МЕХАНИЗМОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В СВЕТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

КУБАРЕВ М. С.

В статье рассматривается изменение целевой ориентации государственного регулирования природопользования в свете рекомендаций Повестки дня на XXI век. Анализируются документы концептуального, стратегического, программного характера начиная с 1994 г., когда Указом Президента РФ от 04.02.1994 г. № 236 была утверждена государственная Стратегия Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития, и заканчивая утверждением Указом Президента РФ от 13.05.2017 г. № 208 Стратегии экономической безопасности Российской Федерации. Оценивается степень экологизации рассматриваемых документов и их соответствие целям и задачам перехода к устойчивому развитию. Анализируется распределение мероприятий по основным направлениям планов действий, направленных на охрану окружающей среды, и реальность их выполнения, учет экологического фактора при обосновании стратегии экономического роста, отражение в документах приоритетных направлений деятельности, определяемых Экологической доктриной и т. д. Формируется перечень претензий, предъявляемых к механизму государственного регулирования природопользования. В их числе недостаточный уровень использования экономического инструментария, занижение роли географического знания в обеспечении экологической безопасности природопользования, неразвитость системы страхования и аудита в природопользовании, ликвидация экологических фондов и заниженный уровень ставок платежей за загрязнение окружающей среды, необоснованная централизация налогов за пользование минеральными ресурсами, отсутствие законодательно утвержденного методического подхода к определению экономического ущерба, остаточный принцип финансирования экологических программ.

Ключевые слова: государственное регулирование; стратегия; концепция; программы; планы действий; экологизация; устойчивое развитие.

В рекомендациях Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) содержится призыв ко всем государствам, поддерживающим Концепцию устойчивого развития, разрабатывать национальные концепции соответствующего характера с учетом положений Повестки дня на XXI век. В России были приняты два законодательных документа: Указ Президента РФ от 04.02.1994 г. № 236 «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» [1] и Указ Президента РФ от 01.04.1996 г. № 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» [2]. Оба документа при объективном анализе носят декларативный характер (второй несколько детализирован по сравнению с первым). Государственная стратегия получила отрицательную оценку как со стороны на-

учного сообщества, так и со стороны практиков. На заседании Правительства РФ 11.12.1997 г. был рассмотрен и одобрен новый проект государственной стратегии устойчивого развития РФ [3], однако ее утверждение так и не состоялось.

В мае 1994 г. Постановлением Правительства был утвержден план действий Правительства РФ по охране окружающей среды на 1994–1995 гг., который представлял собой трансформацию первого варианта НПДОС на 1993–1994 гг. [4]. Однако как любой первоначальный вариант документа он был несовершенен. К числу его недостатков могут быть отнесены: невысокий уровень публичного обсуждения, отсутствие критериев ранжирования мероприятий, нестыковка ряда программ, планов действий и других документов. План включал 100 мероприятий, в том числе 47 федеральных программ, научно обоснованная подготовка которых в течение двух лет изначально была нереальной. Основные направления плана действий Правительства РФ на 1994–1995 гг. включали четыре направления, по каждому из которых был определен перечень законодательных и других нормативных актов, целевых и научно-технических программ, организационно-экономических мероприятий, осуществление которых было необходимо на этом этапе.

В феврале 1996 г. был утвержден план действий Правительства РФ на последующие два года [5]. Он отличался от первоначального плана большей обоснованностью и реалистичностью хотя бы потому, что содержал всего 56 мероприятий. Правда целевых программ в нем планировалось почти столько же – 41. План действий Правительства РФ на 1996–1997 гг. уточняет условия выполнения целевых программ, обозначив не только исполнителей, но и заказчиков, финансирующих запланированные мероприятия. Определенным достоинством является и то обстоятельство, что в Планах отдельному выделению подлежит направление, связанное с формированием политики устойчивого развития. Основные направления перехода России к устойчивому развитию, обозначенные в Концепции [2], не получили должного отражения ни в планах действий [4, 5], ни в Национальном плане действий по охране окружающей среды РФ на 1999–2001 гг. [6]. Фактически в число мероприятий оказались введены в основном те, которые касались правовой основы. Остальные направления: разработка системы стимулирования хозяйственной деятельности и установления достаточно жесткой системы ответственности за ее экологические результаты; оценка хозяйственной емкости локальных и региональных экосистем; формирование эффективной системы пропаганды идей устойчивого развития и создание соответствующей системы воспитания и обучения – до сих пор ждут своей реализации.

При всей недоразвитости экономического механизма государственного регулирования природопользования инструменты стимулирования в нем имеют самую незначительную проработку; оценка хозяйственной емкости экосистем, требующая проведения геоэкологической диагностики территорий, до сих пор выполняется бессистемно и в достаточной степени не контролируется; не заслуживают положительной оценки и меры, принимаемые государством в отношении экологического образования населения. Несомненным недостатком для условий конца 1990-х гг. является и отсутствие взаимосвязки между экологической и экономической стратегиями, о чем красноречиво свидетельствует Государственная стратегия экономической безопасности РФ (Основные положения – 1996 г.), в которой в числе критериев и параметров состояния экономики отсутствуют экологические ограничения экономического роста исходя из состояния экосистем. В 1998 г. Госкомэкологией РФ был разработан Национальный план действий по охране окружающей среды РФ (НПДОС) на 1999–2001 гг., созданный с учетом рекомендаций «Программы действий по охране окружающей среды для Цен-

тральной и Восточной Европы», принятой на конференции министров «Окружающая среда для Европы» (г. Люцерн, 1993 г.) [6]. Цель НПДООС определена как «оздоровление экологической обстановки РФ, снижение ее неблагоприятного влияния на здоровье населения, сохранение жизнеобеспечивающих функций биосферы, эффективное участие России в международной природоохранной деятельности». Предполагалось, что НПДООС формирует методологическую основу для разработки последующих планов действий по охране окружающей среды на федеральном и региональном уровнях.

При всей значимости экологического аспекта осознание необходимости действий оставалось недостаточным. Так, в Основных положениях региональной политики в РФ, утвержденных Указом Президента РФ от 03.06.1996 г. № 803 [7], в числе целей указывается только необходимость предотвращения и ликвидации последствий загрязнения, а в системе целей и задач региональной политики целевые ориентиры экологического развития региона не рассматриваются. Обеспечение экологической безопасности включено в виде составляющей в состав региональной политики в социальной сфере. Задачи, связанные со снижением загрязнения, включены в число основных задач в экологической сфере и при обеспечении национальной безопасности РФ, о чем свидетельствует Указ Президента РФ от 17.12.1997 г. № 1300 «Концепция национальной безопасности РФ». Концепция государственной политики в сфере воспроизводства, использования и охраны природных ресурсов, проект которой был подготовлен МПР России с участием заинтересованных министерств и ведомств в 1997 г., так и не была доработана и утверждена, хотя в ней отражены приоритетные направления реализации государственной политики в отношении каждого из видов природных ресурсов. Вместо нее в 2003 г. утверждены Основы (концепция) государственной политики в области природопользования и использования минерально-сырьевого комплекса [8]. В Основах при признании приоритетности сохранения природы и улучшения окружающей среды государственная политика предполагает включение природной среды в систему социально-экономических отношений, т. е. декларирует необходимость ее адаптации к социально-экономическому развитию [8], что противоречит условиям устойчивого развития, требующим вписывания экономики в обозначенный для нее «биосферный коридор», и учета закономерностей развития биосферы. Не меняется данная установка и в Экологической доктрине [9].

На федеральном уровне в период 2002–2010 гг. решению подлежали задачи федеральной целевой программы «Экология и природные ресурсы России (2002–2010 годы)» [10]: I этап – 2002–2004 гг.; II этап – 2005–2010 гг. – с общим объемом финансирования средств федерального бюджета – 175 368,2 млн р., средств бюджетов субъектов РФ и местных бюджетов – 221 669,4 млн р., средств внебюджетных источников в ценах 2002 г. – 326 751,6 млн р. Распределение финансового обеспечения по подпрограммам отражено в таблице. Ее анализ показывает, что две трети средств предназначены трем подпрограммам, касающимся ресурсов недр, рыбных ресурсов и качества окружающей среды, в то время как на четыре подпрограммы приходится всего 1,4 %. К сожалению, в их число попадают такие, как «Поддержка ООПТ» и «Сохранение редких и исчезающих видов растений и животных», незначительны и средства (6,1–6,8 %), выделяемые на подпрограммы «Леса» и «Отходы». Источником основной доли средств выступают внебюджетные поступления (без учета подпрограммы «Минерально-сырьевые ресурсы»), они составляют 68 %. Следующими по доле выделяемых средств являются бюджет субъектов РФ и местные бюджеты, последнее место – за федеральным бюджетом.

Приоритетные направления деятельности по обеспечению экологической безопасности РФ, определяемые Экологической доктриной (2002 г.):

- обеспечение безопасности при осуществлении потенциально опасных видов деятельности и при чрезвычайных ситуациях;
- экологические приоритеты в здравоохранении;
- предотвращение и снижение экологических последствий ЧС;
- предотвращение терроризма, создающего опасность для окружающей среды;
- контроль за использованием и распространением природных видов и генетически измененных организмов.

Эти направления не нашли отражения в Целевой программе [10], как и приоритеты национальной экологической политики [11].

Осенью 2008 г. распоряжением Правительства РФ была утверждена Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. [12] и Президентом РФ утверждены Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу [13]. В Концепции сформулирована цель экологической политики – улучшение качества природной среды и экологических условий жизни человека, формирование сбалансированной, экологически ориентированной модели развития экономики и экологически конкурентоспособной продукции. Однако как в том, так и в другом документах основное внимание уделяется ликвидации последствий антропогенной деятельности: рекультивации нарушенных земель, утилизации отходов, в том числе «лежалых», в условиях «возрастающей экономической активности». На первом этапе инновационного развития в Концепции предусматривается улучшение состояния окружающей среды, создание эффективной системы утилизации отходов и др., на втором этапе приоритеты экологического характера отсутствуют. Более подробно экологический аспект получает отражение в разделе, касающемся развития человеческого капитала, где выделяются четыре направления деятельности: экология производств, экология человека, экологический бизнес и экология природной среды, для которого даже не определены целевые показатели. В долгожданной Стратегии национальной безопасности, при признании опасности обострения проблем окружающей природной среды, реализация приоритета национальной безопасности «Экология живых систем и рациональное природопользование» предусматривает лишь внедрение экологически безопасных производств, поиск перспективных источников энергии и создание стратегических запасов минерально-сырьевых ресурсов.

Несомненным продвижением вперед в отношении экологизации экономики следует считать утверждение Президентом РФ 30 апреля 2012 г. Основ государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года [14] и Плана действий по их реализации [15]. Однако стратегическая цель государственной политики, которая звучит как «решение социально-экономических задач, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики», по мнению автора, требует изменения приоритетов. Более точное определение цели – это экологически ограниченный рост экономики при решении социально-экономических задач.

В число задач государственной политики включены:

- формирование эффективной системы управления в области охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности;
- совершенствование нормативно-правового обеспечения;
- обеспечение экологически ориентированного роста экономики и внедрения экологически эффективных инновационных технологий;
- предотвращение и снижение текущего негативного воздействия;

Распределение финансирования по подпрограммам, млн р./%

Подпрограммы	Всего, млн р./%	В том числе			Структура, %
		Федеральный бюджет	Бюджет субъектов РФ и местные бюджеты	Внебюджетные источники	
Минерально-сырьевые ресурсы	300607,3/100	122583,4/40,8	138947,4/46,2	39076,6/13,0	41,5
Леса	49418,1/100	19807,2/40,0	9742,4/19,8	19868,5/40,2	6,8
Водные ресурсы и водные объекты	25008,8/100	5307,8/21,2	14648,3/58,6	5052,7/20,2	3,5
Водные биологические ресурсы и аквакультура	93202,9/100	19200,9/20,6	6296,4/6,8	67705,6/72,6	12,9
Регулирование качества окружающей природной среды	144054,0/100	1236,4/0,9	16315,3/11,3	126502,3/87,8	19,9
Отходы	44003,4/100	519,2/1,2	11404,4/25,9	32079,8/72,9	6,1
Поддержка особо охраняемых природных территорий	3902,9/100	1925,5/49,3	879,0/22,6	1098,4/28,1	0,53
Сохранение редких и исчезающих видов растений и животных	1201,5/100	262,8/21,8	359,5/30,0	579,2/48,2	0,17
Охрана озера Байкал и Байкальской природной территории	12403,7/100	539,0/4,4	2928,7/23,6	8936,0/72,0	1,7
Возрождение Волги	44825,3/100	1910,5/4,2	19933,3/44,5	22981,3/51,3	6,2
Гидрометеорологическое обеспечение безопасной жизнедеятельности и рационального природопользования	3459,9/100	1264,1/36,5	189,3/5,5	2006,5/58,0	0,47
Прогрессивные технологии картогеодезического обеспечения	1701,4/100	811,5/47,7	25,4/1,5	864,5/50,8	0,23
<i>Всего</i>	723789,2/100	175368,2/24,2	221669,4/30,6	326751,6/45,2	100

- восстановление нарушенных естественных экологических систем;
- обеспечение экологически безопасного обращения с отходами;
- сохранение природной среды, в том числе естественных экологических систем, объектов животного и растительного мира;
- развитие экологического регулирования и рыночных инструментов охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности;
- совершенствование системы государственного экологического мониторинга и прогнозирование ЧС природного и техногенного характера, а также изменений климата;
- научное и информационно-аналитическое обеспечение охраны окружающей среды и экологической безопасности;
- формирование экологической культуры, развитие экологического образования и воспитания;
- обеспечение эффективного участия граждан, общественных объединений, некоммерческих организаций и бизнес-сообществ в решении вопросов, связанных с охраной окружающей среды и обеспечением экологической безопасности;
- развитие международного сотрудничества в области охраны окружающей среды и обеспечение экологической безопасности [14].

Для каждого из направлений обоснован перечень основных механизмов реализации, план конкретных действий включает 107 мероприятий, распределение которых по годам показывает, что основная доля планируется на период 2012–2017 гг., пятая часть всех мероприятий заканчивается в 2020 г. и такое же количество – в 2030 г. Прорекларировано, как отмечает автор [16], много, однако «механизмы реализации Основ законодательно обеспечены далеко не полностью» [16], что подтверждается рядом конкретных примеров. В 2014 г. Правительством была утверждена государственная программа РФ «Охрана окружающей среды на 2012–2020 годы» [17], ответственным исполнителем которой выступает Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Цель программы – повышение уровня экологической безопасности и сохранение природной среды, в обеспечении которой принимают участие пять подпрограмм и две федеральные целевые программы.

Для достижения цели предусматривается решение следующих задач:

- снижение общей антропогенной нагрузки на окружающую среду;
- сохранение и восстановление биологического разнообразия;
- повышение эффективности функционирования системы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды;
- организация и обеспечение работ и научных исследований в Антарктике.

Вопросы рационального природопользования программой не охватываются, так как они получают отражение в государственной программе «Воспроизводство и использование природных ресурсов», утвержденной Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 322 [18]. Индикаторы (показатели) Программы позволяют контролировать ход ее реализации. Анализ задач первой подпрограммы показывает, что их реализация предполагает использование в основном административных инструментов, что подтверждает и характер рекомендуемых целевых индикаторов и показателей. Хотелось бы увидеть среди них показатели, отражающие долю природопользователей, получивших поддержку государства при решении задачи снижения антропогенного воздействия на окружающую среду; не только долю ликвидированных отходов, но и величину ликвидированного экономического ущерба; не только текущие, но и капитальные затраты природоохранного характера и т. д. Экономические меры фактически отсутствуют и при решении задач второй подпрограммы. Остается нерешенной

проблема совершенствования системы финансирования ООПТ, экономической оценки экосистемных услуг и платы за пользование ими, проблема вписывания ООПТ в социально-экономическое развитие территорий. Информация о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей среды, ее загрязнении до сих пор не прозрачна в силу отсутствия обобщенных комплексных показателей загрязнения по отдельным объектам и районам в границах городов; отчетные данные о выполнении задач целевых федеральных программ и иных программных документов в открытой печати либо отсутствуют, либо мало информативны. К тому же ежегодно наблюдается снижение бюджетных ассигнований на реализацию программ по сравнению с плановыми [19].

Госпрограмма, касающаяся ресурсного аспекта природопользования, ориентирована на «устойчивое обеспечение страны запасами минерального сырья и геологической информацией о недрах; устойчивое водопользование при сохранении водных экосистем и обеспечении защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод и обеспечение сохранения и воспроизводства охотничьих ресурсов» [18]. Основная доля ассигнований, выделяемых на Программу из федерального бюджета, а это 54,7 %, направляется на повышение геологической изученности территорий РФ, ее континентального шельфа, Арктики и Антарктики. Оценить распределение ассигнований по видам полезных ископаемых не представляется возможным, так как подобная информация в содержании Программы отсутствует. Учитывая, что в настоящее время баланс между объемами добычи и прироста запасов нарушен, закладываемый в Программу 100 %-ный уровень компенсации добычи приростом запасов явно недостаточен. Анализ показателей (индикаторов) подпрограммы не раскрывает фактической ситуации. Так, для выявления перспективных площадей для постановки поисковых работ важным параметром является не только их количество, но и сама площадь участков (показатель 1.2, ед.), отклонения от существующих условий лицензионных соглашений весьма различны по своей значимости, и количество лицензий, реализуемых с отклонением (показатель 3, %), может существенно исказить фактическое положение. В ряде случаев провозглашенные задачи (например, такие как 3.1. и 3.2.) не имеют индикаторов, позволяющих оценивать их выполнение. Как минимум, предлагаемые показатели по всем подпрограммам должны быть увязаны с перечнем решаемых задач в рамках этих подпрограмм.

В Стратегии национальной безопасности [20] отражение экологического аспекта в определенной степени детализировано и в наибольшей степени научно обосновано, что имеет отношение как к определению стратегических целей, так и к мерам, принимаемым органами государственной власти и органами местного самоуправления во взаимодействии с институтами гражданского общества в целях противодействия угрозам в части экологической безопасности и рационального природопользования. Анализ рекомендуемых мер подтверждает наличие системы «жесткого регулирования» и упования на всеисильность технического прогресса в решении проблемы сбалансированности при одновременно планируемом экономическом росте. Отсутствуют меры по развитию экологического малого предпринимательства и его поддержки, экологического нормирования, совершенствования платежей за пользование природными ресурсами и загрязнение окружающей среды и т. д.

С разницей в месяц Указом Президента РФ были утверждены Стратегия экологической безопасности РФ до 2025 г. [21] и Стратегия экономической безопасности РФ на период до 2030 года [22]. Стратегию экологической безопасности пришлось ждать двадцать с лишним лет. Федеральный же закон «Об экологической безопасности», который был принят Государственной Думой и утвержден Советом Федерации РФ еще в 1996 г., но отклонен Президентом РФ, не принят

до сих пор. Цель Стратегии фактически повторяет ее определение в Стратегии национальной безопасности РФ [20]. Несомненным достоинством Стратегии является формирование задач, в которых явно присутствует аспект предотвращения загрязнения и ликвидации накопленного вреда окружающей среде, в числе приоритетных направлений решения задач уделяется внимание сокращению площадей нарушенных земель и развитию системы ООПТ, активизации фундаментальных и прикладных научных исследований в области охраны окружающей среды и природопользования, развитию системы экологического образования, проведению стратегической экологической оценки проектов и программ развития РФ, повышению эффективности надзора за исполнением органами государственной власти субъектов РФ переданных РФ полномочий в области охраны и использования объектов животного мира. При достаточно полном перечне приоритетных направлений решения задач Стратегией предусмотрен набор основных индикаторов, предназначенных для контроля, которые не раскрывают полной картины и не отражают реальной ситуации с обеспечением экологической безопасности.

Определенные положительные и негативные моменты можно найти и в Стратегии экономической безопасности. Во-первых, среди угроз упоминается только истощение ресурсной базы топливно-сырьевых отраслей, угрозы не увязываются с истощением природно-ресурсного потенциала страны и выходом за «пределы выносливости» биосферы. Более того, в Стратегии ужесточение требований в области экологической безопасности считается избыточным. Во-вторых, обеспечение устойчивого роста реального сектора экономики не увязывается с наличием экологических ограничений. Задачи экономической безопасности рассматриваются в полном отрыве от задач экологической безопасности, что противоречит основополагающим принципам устойчивого развития. В-третьих, в полном соответствии с высказанными замечаниями отмечается отсутствие в числе показателей состояния экономической безопасности тех, которые свидетельствуют об учете экологического фактора при обосновании Стратегии экономической безопасности.

Анализ концепций, стратегий, программ в сфере обеспечения рационального природопользования показывает, что все они ориентированы на максимизацию вовлечения в экономику природно-ресурсного потенциала, рост масштабов природопользования в целях удовлетворения материальных и духовных потребностей человека (общества) при одновременной минимизации антропогенного влияния на природу с помощью методов, предотвращающих или ослабляющих растущие масштабы ресурсопотребления. Естественно, что подобная задача оказывается невыполнимой, что и подтверждает динамика основных экологических показателей развития России.

Начальные документы, принятые в нашей стране после конференции в Рио, были направлены на распространение основных идей документов ООН и предполагали учет сформированной в них системы целеполагания, критериев и задач при разработке последующих программ, прогнозов, нормативных правовых актов. Однако из-за декларативности и неконкретности последних этого не произошло. Так, в Концепции социально-экономического развития РФ [12] экологический аспект звучит лишь в обосновании развития человеческого потенциала с точки зрения улучшения качества природной среды и условий жизни человека, а также формирования экологически ориентированной экономики, в то же время при характеристике этапности инновационного развития экономики учет экологического фактора остается вообще «за кадром». В числе целевых ориентиров Стратегии национальной безопасности РФ (2015 г.) [20] и Стратегии экологической безопасности (2017 г.) [21] наряду с сохранением природных систем и обеспечением качества окружающей среды в условиях прогнозируемой экономиче-

ской активности предусматривается лишь ликвидация экологических последствий (ущерба), накопленного вреда. Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года [14] считают первоочередным «решение социально-экономических задач, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики» и т. д., а в Стратегии экономической безопасности РФ на период до 2030 года к числу основных вызовов и угроз экономической безопасности страны отнесены «избыточные требования в области экологической безопасности, рост затрат на обеспечение экологических стандартов производств и потребления», и это в условиях нарастающей угрозы экологического кризиса и снижения уровня экологической безопасности на территории России.

Наибольшие претензии, которые вызывает механизм государственного регулирования природопользования, сводятся к следующим:

- остающийся наиболее востребованным контрольно-административный инструмент при всей эффективности экономических инструментов, подтверждаемой мировой практикой, их использование в процессе регулирования природопользования незначительно;
- расширение практики введения разрешительной документации, вызывающей непропорциональный рост затрат бизнеса на ее разработку, усложнение и бюрократизацию процесса, связанного с различного рода согласованиями;
- низкая эффективность реализации принципа предосторожности в силу недоучета результатов экодиагностики территории при разработке ОВОС, занижения роли географического знания (геоэкологии) в обеспечении экологической безопасности природопользования;
- недостаточная развитость системы страхования и аудита в области природопользования;
- отсутствие действенной системы государственной поддержки внедрения энерго- и ресурсосберегающих, малоотходных технологий, замены первичного сырья вторичным, экологически ответственного освоения природно-ресурсного потенциала;
- формальный характер платежей за загрязнение в силу занижения ставок, ликвидация экологических фондов, аккумулирующих средства этих платежей;
- централизация налогов за пользование природными ресурсами, что обостряет положение субъектов РФ, отсутствие согласованной концепции этих платежей, которые должны носить рентный характер;
- формальность ряда государственных стратегических документов в сфере природопользования в силу отсутствия обновления планов их реализации и контроля за исполнением этих планов;
- отсутствие законодательно утвержденного подхода к определению размера экономического ущерба, обусловленного последствиями антропогенных воздействий, что затрудняет реализацию требования по его компенсации;
- неполнота экономической оценки природных ресурсов и экоуслуг, предопределяющих принятие не всегда в достаточной степени обоснованных управленческих решений;
- остающийся остаточным принцип финансирования экологических программ, низкая эффективность политики по привлечению средств из негосударственных источников финансирования;
- недостаточно жесткая ответственность юридических и физических лиц за нарушение экологического законодательства, единичные случаи привлечения к уголовной ответственности;
- отсутствие системы защиты малого и среднего экологического предпринимательства, легко адаптируемого к технологическим нововведениям, нацеленно на ресурсосбережение и снижение загрязнений и т. д.;

- отсутствие в ряде случаев постоянного мониторинга, заменяемого выборочными проверками природопользователей, не позволяющими непрерывно контролировать поступление загрязнений в окружающую среду;
- недостаточное развитие системы государственных кадастров природных ресурсов и системы информационного обеспечения, формирующего базовую основу государственного регулирования природопользования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Указ Президента РФ от 04.02.1994 № 236 «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития». Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».
2. Указ Президента РФ от 01.04.1996 № 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».
3. Касьянов П. В. О государственной стратегии устойчивого развития Российской Федерации как основе формирования государственной экологической политики // Управление окружающей средой. Информ. бюл. № 7. М.: ЦПРП, 1998. С. 13–40.
4. Постановление Правительства РФ от 18.05.1994 № 496 «О плане действий Правительства РФ по охране окружающей среды на 1994–1995 годы». Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».
5. Постановление Правительства РФ от 19.02.1996 № 155 «О плане действий Правительства РФ в области охраны окружающей среды и природопользования на 1996–1997 годы». Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».
6. Национальный план действий по охране окружающей среды РФ на 1999–2001 годы, одобрен Правительством РФ 12.11.1998 г. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».
7. Основные положения региональной политики в РФ, утв. Указом Президента РФ от 03.06.1996 № 803. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
8. Основы (концепция) государственной политики в области природопользования и использования минерально-сырьевого комплекса, утв. распоряжением Правительства РФ от 21.04.2003 № 494-р. Доступ из справ.-прав. системы «ЗаконПрост».
9. Экологическая доктрина РФ, одобренная распоряжением Правительства РФ от 31.08.2002 № 1225-р. Доступ из справ.-прав. системы «ЗаконПрост».
10. Федеральная целевая программа «Экология и природные ресурсы России (2002–2010 гг.)», утв. Постановлением Правительства РФ от 07.12.2001 № 860. Доступ из справ.-прав. системы «ЗаконПрост».
11. Приоритеты национальной экологической политики России / под ред. В. М. Захарова. М.: ЛЕВКО, 2009. 152 с.
12. Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года, утв. распоряжением Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
13. Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу, утв. Президентом РФ от 18.09.2008 № 1969-Пр. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
14. Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года, утв. Указом Президента РФ 30.04.2012 г. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
15. План действий по реализации Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, утв. распоряжением Правительства РФ от 18.12.2012 №2423-р. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
16. Грачев В. А. Систематизация российского природоохранного законодательства и его гармонизация с международными требованиями – необходимая мера для дальнейшего развития промышленности и энергетики // Безопасность жизнедеятельности. 2014. Вып. 6. С. 3–8.
17. Государственная программа РФ «Охрана окружающей среды на 2012–2020 годы», утв. Постановлением Правительства РФ 15.04.2014 № 326. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».
18. Государственная программа «Воспроизводство и использование природных ресурсов», утв. Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 322. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».
19. Пронин И. С. Актуальные проблемы правового регулирования недропользования в целях снижения негативного воздействия на окружающую среду // Безопасность жизнедеятельности. 2016. Вып. 3. С. 59–64.
20. Стратегия национальной безопасности РФ, утв. Указом Президента РФ от 31.12.2015 № 683. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
21. Стратегия экологической безопасности РФ до 2025 года, утв. Указом Президента РФ от 19.04.2017 № 176. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
22. Стратегия экономической безопасности РФ, утв. Указом Президента РФ от 13.05.2017 № 208. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».

TRANSFORMATION OF GOALS, AIMS, AND MECHANISMS OF THE STATE REGULATING OF SUBSOIL USE IN VIEW OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Kubarev M. S. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: kubarev.mc@mail.ru

The article considers change in the goal orientation of state regulating of subsoil use in the view of the recommendations of Agenda for the 21st century. The documents of conceptual, strategic, and program character are analyzed, starting from 1994, when according to the RF Presidential Decree of February 4, 1994 No. 236, the national strategy of the Russian Federation for environmental protection and sustainable development was ratified, and concluding with the RF Presidential Decree of May 13, 2017 No. 208 on the strategy of ecological security of the Russian Federation. The degree of ecologization of the considered documents is estimated and their correspondence to goals and aims of the transfer to sustainable development. The distribution of activities is analyzed according to the basic directions of plans of actions, aimed at environmental protection, and the capability of their implementation, accounting of ecological factor when substantiating the strategy of economic growth, reflection of the key priorities described by the Ecological Doctrine, etc. The list of claims is formed, asserted to the mechanism of the state regulating of subsoil use. They include insufficient use of economic instrumentation, understatement of geographic knowledge in ecologic protection of subsoil use, lack of development in insurance system and audit in subsoil use, elimination of ecologic funds and understated level of rates on payments for environmental pollution, groundless centralization of mineral resources use taxes, absence of legislatively approved methodological approach to the definition of economic damage, and residual principle of ecological programs financing.

Key words: state regulating; strategy; conception; programs; plan of action; ecologization; sustainable development.

REFERENCES

1. *Ukaz Prezidenta RF ot 04.02.1994 № 236 «O gosudarstvennoi strategii Rossiiskoi Federatsii po okhrane okruzhaiushchei srede i obespecheniiu ustoychivogo razvitiia»* [RF Presidential Decree of February 4, 1994 No. 236 “On the national strategy of the Russian Federation for environmental protection and sustainable development”]. Access from the legal reference system Garant. (In Russ.)
2. *Ukaz Prezidenta RF ot 01.04.1996 № 440 «O kontseptsii perekhoda Rossiiskoi Federatsii k ustoychivomu razvitiuu»* [RF Presidential Decree of April 1, 1996 No. 440 “On the concept of transition of the Russian Federation towards sustainable development”]. Access from the legal reference system Garant. (In Russ.)
3. Kas'ianov P. V. [Regarding the state strategy of the sustainable development of the Russian Federation as a foundation for the development of the national ecological policy]. *Upravlenie okruzhaiushchei sredoi. Inform. biul. № 7* [Environmental management. Newsletter no. 7]. Moscow, TsPRP Publ., 1998, pp. 13–40. (In Russ.)
4. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 18.05.1994 № 496 «O plane deistvii Pravitel'stva RF po okhrane okruzhaiushchei srede na 1994–1995 gody»* [RF Government Decree of May 18, 1994 No. 496 “On the plan of actions of the Government of the RF for environmental protection in 1994–1995”]. Access from the legal reference system Garant. (In Russ.)
5. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19.02.1996 № 155 «O plane deistvii Pravitel'stva RF v oblasti okhrany okruzhaiushchei srede i prirodopol'zovaniia na 1996–1997 gody»* [RF Government Decree of February 19, 1996 No. 155 “On the plan of actions of the Government of the RF in the sphere of environmental protection and subsoil use in 1996–1997”]. Access from the legal reference system Garant. (In Russ.)
6. *Natsional'nyi plan deistvii po okhrane okruzhaiushchei srede RF na 1999–2001 gody, odobren Pravitel'stvom RF 12.11.1998 g.* [National plan of actions on environmental protection in 1999–2000, approved by the Government of the RF on November 12, 1998]. Access from the legal reference system Garant. (In Russ.)
7. *Osnovnye polozenia regional'noi politiki v RF; utv. Ukazom Prezidenta RF ot 03.06.1996 № 803* [Fundamental principles of regional policy in the RF, approved by the RF Presidential Decree of June 3, 1996 No. 803]. Access from the legal reference system ConsultantPlus. (In Russ.)
8. *Osnovy (kontseptsii) gosudarstvennoi politiki v oblasti prirodopol'zovaniia i ispol'zovaniia mineral'no-syr'evogo kompleksa, utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 21.04.2003 № 494-r* [The fundamentals (conception) of the state policy in the sphere of nature management and mineral raw material complex, approved by the RF Government Edict of April 21, 2003 No. 494-r]. Access from the legal reference system ZakonProst. (In Russ.)
9. *Ekologicheskai doktrina RF, odobrennaia rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 31.08.2002 № 1225-r* [Ecological Doctrine of the RF, approved by the RF Government Edict of August 31, 2002 No. 1225-r]. Access from the legal reference system ZakonProst. (In Russ.)
10. *Federal'naia tselevaia programma «Ekologii i prirodnye resursy Rossii (2002–2010 gg.)», utv. Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 07.12.2001 № 860* [Federal targeted program “Ecology and natural resources of Russia (2002–2010)”. Approved by the RF Governmental Decree of December 7, 2001 No. 860]. Access from the legal reference system ZakonProst. (In Russ.)
11. *Priortety natsional'noi ekologicheskoi politiki Rossii / pod red. V. M. Zakharova* [Priorities of national ecological policy of Russia. Edited by V. M. Zakharov]. Moscow, LEVKO Publ., 2009. 152 p.
12. *Kontseptsia dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia RF na period do 2020 goda, utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 17.11.2008 № 1662-r* [Conception of the long term social-economic development of the RF for the period until 2020, approved by the RF Government Edict of November 17, 2008 No.1662-r]. Access from the legal reference system ConsultantPlus. (In Russ.)
13. *Osnovy gosudarstvennoi politiki RF v Arktike na period do 2020 goda i dal'neishuiu perspektivu, utv. Prezidentom RF ot 18.09.2008 № 1969-Pr* [The fundamentals of the national policy of the RF in the Arctic for the period until 2020, and further prospects, approved by the President of the RF on September 18, 2008 No. 1969-Pr]. Access from the legal reference system ConsultantPlus. (In Russ.)

14. *Osnovy gosudarstvennoi politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiia RF na period do 2030 goda*, utv. *Ukazom Prezidenta RF 30.04.2012 g.* [The fundamentals of the national policy in the sphere of ecological development of the RF for the period until 2030, approved by the President of the RF on April 30, 2012]. Access from the legal reference system ConsultantPlus. (In Russ.)
 15. *Plan deistvii po realizatsii Osnov gosudarstvennoi politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiia Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda*, utv. *rasporiazheniem Pravitel'stva RF ot 18.12.2012 g. №2423-r* [Plan of actions over the realization of the fundamentals of the national policy in the sphere of ecological development of the Russian Federation for the period until 2030, approved by the RF governmental Decree of December 18, 2012 No. 2423-r]. Access from the legal reference system ConsultantPlus. (In Russ.)
 16. Grachev V. A. [Systematization of Russian environmental legislation and its harmonization with international requirements is an essential measure for the further development of industry and energetics]. *Bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti – Life Safety*, 2014, issue 6, pp. 3–8. (In Russ.)
 17. *Gosudarstvennaia programma RF «Okhrana okruzhaiushchei sredy na 2012–2020 gody»*, utv. *Postanovleniem Pravitel'stva RF 15.04.2014 № 326* [RF governmental program “Environmental protection in 2012–2020”, approved by the RF Governmental Edict of April 15, 2014 No. 326]. Access from the legal reference system Garant. (In Russ.)
 18. *Gosudarstvennaia programma «Vosproizvodstvo i ispol'zovanie prirodnykh resursov»*, utv. *Postanovleniem Pravitel'stva 15.04.2014 № 322* [National program “Rehabilitation and use of natural resources”, approved by the Governmental Edict of April 15, 2014 No. 322]. Access from the legal reference system Garant. (In Russ.)
 19. Pronin I. S. [Actual problems of legal regulation of subsoil use with the purpose of reducing negative impact on the environment]. *Bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti – Life Safety*, 2016, issue 3, pp. 59–64. (In Russ.)
 20. *Strategiia natsional'noi bezopasnosti RF*, utv. *Ukazom Prezidenta RF ot 31.12.2015 № 683* [Strategy of homeland security of the RF, approved by the RF Presidential Decree of December 31, 2015 No. 683]. Access from the legal reference system ConsultantPlus. (In Russ.)
 21. *Strategiia ekologicheskoi bezopasnosti RF do 2025 goda*, utv. *Ukazom Prezidenta RF ot 19.04.2017 № 176* [Strategy of ecological security of the RF until 2025, approved by the RF Presidential Decree of April 19, 2017 No. 176]. Access from the legal reference system ConsultantPlus. (In Russ.)
 22. *Strategiia ekonomicheskoi bezopasnosti RF*, utv. *Ukazom Prezidenta RF ot 13.05.2017 № 208* [Strategy of economic security of the RF, approved by the RF Presidential Decree of May 13, 2017 No. 208]. Access from the legal reference system Garant. (In Russ.)
-

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ТОЧНОСТЬ СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

ГОРДЕЕВ В. А., РАЕВА О. С.

Рассмотрено влияние геометрии пространственной засечки – взаимного расположения в пространстве приемника и спутников, сигналы от которых принимаются приемником в момент измерения, – на точность позиционирования. В прямоугольной пространственной системе координат положение спутника описывается через геометрическую дальность, дирекционный угол и угол возвышения. Геометрический фактор выражен через диагональные элементы обратной весовой матрицы ошибок положения определяемого пункта. Исследовано изменение геометрического фактора для симметричных схем расположения спутников – при равномерном расположении по горизонту и на полусфере. Показано, что с возрастанием угла возвышения растет точность определения высотных отметок (снижается геометрический фактор $VDOP$), и наоборот, падает точность определения плановых координат (растет $HDOP$). В связи с этим предлагается при планировании маркшейдерских измерений на наблюдательных станциях и геополигонах ориентироваться не на $PDOP$, а отдельно на показатели $VDOP$ и $HDOP$.

Ключевые слова: спутниковое позиционирование; геометрический фактор; обратная весовая матрица; симметричное расположение спутников; погрешности положения пунктов; $PDOP$; $VDOP$; $HDOP$.

Наряду с традиционными методами создания маркшейдерских опорных и съемочных сетей в последние десятилетия широкое применение на карьерах нашли спутниковые геодезические технологии. В геодезическом смысле они реализуют принцип пространственной обратной линейной засечки, когда пространственные координаты (x , y , z) пункта наземной сети определяются по расстояниям, измеренным от этого пункта до четырех и более спутников, положение которых известно с достаточной точностью.

Основным достоинством спутниковых систем является их оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффективность. Для измерений не нужна видимость между определяемыми пунктами. Метод определения координат геодезических пунктов с помощью спутниковых систем называют *позиционированием*.

Точность позиционирования определяется применяемым оборудованием и методикой измерений, это указывается в паспорте прибора-приемника, а также геометрией засечки (спутниковой геометрией) – взаимным расположением в пространстве приемника и спутников, сигналы которых принима-

Гордеев Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой маркшейдерского дела. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: Gordeev.V@ursmu.ru

Раева Ольга Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: raevaos@mail.ru

Диагональные элементы матрицы \mathbf{Q}_p используются для расчета ошибки положения пункта P :

$$\begin{aligned} \text{по высоте} & m_{Pz} = \mu\sqrt{q_{33}}; \\ \text{в плане} & m_{Px,y} = \mu\sqrt{q_{11} + q_{22}}; \\ \text{в пространстве} & m_{Px,y,z} = \mu\sqrt{q_{11} + q_{22} + q_{33}}, \end{aligned}$$

где μ – ошибка единицы веса.

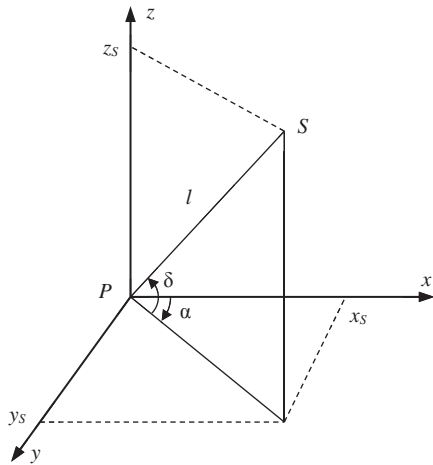


Рис. 1. Положение спутника в прямоугольной системе координат

Очевидно, чем меньшие значения принимают диагональные элементы матрицы \mathbf{Q}_p , тем точнее определяется положение пункта, тем точнее позиционирование.

Элементы матрицы \mathbf{Q}_p определяются только геометрией засечки. В теории анализа точности спутниковых геодезических измерений используется понятие геометрического фактора (ГФ) – отношение ошибки положения пункта к ошибке единицы веса [2]:

$$\Gamma\Phi = m_p/\mu.$$

В зависимости от вида ошибки положения (по высоте, в плане или в пространстве) геометрический фактор имеет следующие обозначения:

$$VDOP = \sqrt{q_{33}}; \quad HDOP = \sqrt{q_{11} + q_{22}}; \quad PDOP = \sqrt{q_{11} + q_{22} + q_{33}}. \quad (2)$$

Обозначения переводятся как снижение точности (DOP) по высоте (V), в плане (H), в пространстве (P). Иными словами, чем больше DOP , тем ниже точность позиционирования.

Из выражений (2) следует:

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2.$$

Примем для дальнейшего анализа равные расстояния до спутников, линейные измерения равноточными, а ошибка единицы веса $\mu = m_l$. Матрица веса \mathbf{P} – единичная.

Рассмотрим случай, когда k спутников в момент наблюдений расположились равномерно по горизонту, все – под углом возвышения δ . В этом случае матрица \mathbf{Q}_p – диагональная:

$$\mathbf{Q}_p = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{k}{2} \cos^2 \delta & 0 & 0 \\ 0 & \frac{k}{2} \cos^2 \delta & 0 \\ 0 & 0 & k \sin^2 \delta \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{2}{k \cos^2 \delta} & & \\ & \frac{2}{k \cos^2 \delta} & \\ & & \frac{1}{k \sin^2 \delta} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что точность позиционирования повышается в \sqrt{k} раз с увеличением числа спутников.

В табл. 1 приведены значения геометрического фактора при разных углах возвышения спутников над горизонтом и количестве спутников $k = 5$.

Таблица 1

Влияние угла возвышения δ на точность позиционирования (при $k = 5$)

ГФ	Угол возвышения спутников над горизонтом δ							
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
<i>PDOP</i>	2,73	1,62	1,37	1,36	1,51	1,86	2,66	5,17
<i>HDOP</i>	0,91	0,95	1,03	1,17	1,39	1,79	2,62	5,15
<i>VDOP</i>	2,58	1,31	0,89	0,70	0,58	0,52	0,48	0,45

Наибольший интерес для маркшейдеров представляет влияние расположения спутников на точность позиционирования в плане (*HDOP*) и по высоте (*VDOP*). Из данных табл. 1 следует, что с возрастанием угла возвышения растет точность определения высотных отметок (снижается *VDOP*) и падает точность определения плановых координат.

Таблица 2

Значения геометрического фактора при $k = 5$ (спутник в зените)

ГФ	Угол возвышения спутников над горизонтом δ							
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
<i>PDOP</i>	1,39	1,35	1,35	1,44	1,65	2,06	2,96	5,78
<i>HDOP</i>	1,02	1,06	1,15	1,31	1,56	2	2,92	5,76
<i>VDOP</i>	0,94	0,83	0,71	0,61	0,55	0,5	0,47	0,45

Рассмотрим случай, когда, как считается, обеспечивается наиболее точное позиционирование. Для этого сохраним равномерное по горизонту расположение $(k - 1)$ спутников, а k -й спутник поместим в зенит, т. е. $\alpha_k = 0$; $\delta_k = 90^\circ$.

Матрица \mathbf{A} примет вид:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_1 \cos \delta_1 & \sin \alpha_1 \cos \delta_1 & \sin \delta_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \cos \alpha_{k-1} \cos \delta_{k-1} & \sin \alpha_{k-1} \cos \delta_{k-1} & \sin \delta_{k-1} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

В этом случае матрица \mathbf{Q}_p – также диагональная:

$$\mathbf{Q}_p = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{2}{(k-1) \cos^2 \delta} & & \\ & \frac{2}{(k-1) \cos^2 \delta} & \\ & & \frac{1}{(k-1) \sin^2(\delta+1)} \end{pmatrix}.$$

Результаты расчета геометрического фактора приведены в табл. 2.

Сравнивая табл. 1 и табл. 2, замечаем, что при втором варианте размещения спутников происходит повышение точности позиционирования по высоте, особенно при острых углах возвышения, но точность определения плановых координат снижается в среднем на 10 %.

Рассмотрим третий случай – равномерного расположения спутников на полусфере. Для $k = 5$ это будет вариант, когда два спутника (S_1 и S_2) расположены диаметрально по горизонту под углом возвышения δ_1 , один спутник (S_3) – в зените ($\delta_3 = 90^\circ$) и еще два спутника (S_3 и S_4) развернуты в плане относительно двух нижних на 90° , а их угол возвышения $\delta_2 = (90^\circ + \delta_1)/2$ (рис. 2).

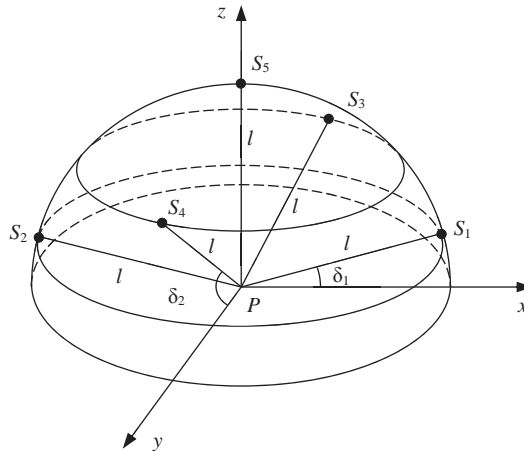


Рис. 2. Равномерное расположение пяти спутников на полусфере

И в этом симметричном случае матрица \mathbf{Q}_p – диагональная, значения ее элементов зависят только от угла возвышения спутников S_1 и S_2 . В табл. 3 приведены значения геометрического фактора при разных углах возвышения спутников над горизонтом.

Из данных табл. 3 следует, что равномерное расположение спутников на полусфере обеспечивает еще более высокую точность позиционирования по высоте.

Расположение спутников относительно определяемого пункта наглядно прослеживается на плоских диаграммах. На рис. 3 приведены диаграммы для всех трех рассмотренных в статье вариантов.

Таблица 3

Значения геометрического фактора при равномерном расположении спутников на полусфере

ГФ	Угол возвышения спутников над горизонтом δ_1							
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
<i>PDOP</i>	1,47	1,57	1,73	1,98	2,40	3,11	4,59	9,09
<i>HDOP</i>	1,31	1,44	1,63	1,91	2,34	3,08	4,57	9,08
<i>VDOP</i>	0,67	0,62	0,58	0,54	0,50	0,48	0,46	0,45

Из таблиц следует, что хорошие результаты получаются при небольших углах возвышения спутников – от 10° до 30° . Поэтому пользователи спутниковых систем позиционирования (ССП) устанавливают ограничение (маску по возвышению) в пределах 10° – 15° . Вообще геометрический фактор зависит также от широты местности, количества наблюдаемых спутников и других факторов.

ГФ становится меньше при наличии более четырех спутников, достаточно хорошим считается наличие шести спутников [2].

Программное обеспечение ССП позволяет по известному расположению спутников основных группировок GPS и ГЛОНАСС рассчитать для конкретного местоположения приемника наиболее благоприятное время наблюдений. При этом основным показателем ГФ является $PDOP$. Для вербальной оценки качества засечки пользуются следующей шкалой: $PDOP < 4$ – «хорошо»; $PDOP = 5-7$ – «удовлетворительно»; $PDOP > 7$ – «плохо».

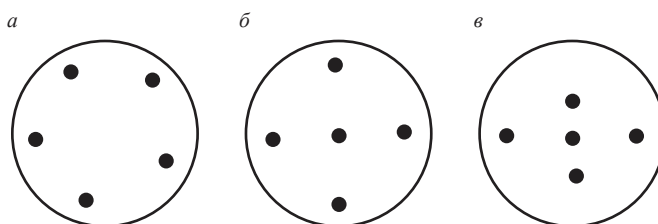


Рис. 3. Плоские диаграммы расположения пяти спутников:
 а – равномерное распределение по горизонту; б – спутник в зените;
 в – равномерное распределение на полусфере

Однако, как указывалось ранее, при планировании маркшейдерских измерений необходимо ориентироваться не на $PDOP$, а отдельно на показатели $VDOP$ и $HDOP$, которые формируются антагонистично, в противовес друг другу. Очевидно, что оптимальные по точности периоды наблюдений в высотных сетях и плановых построениях не будут совпадать. Это следует учитывать при наблюдениях за деформациями горнотехнических сооружений и земной поверхности под влиянием горных разработок на геополгонах и маркшейдерских наблюдательных станциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гордеев В. А. Теория ошибок измерений и уравнительные вычисления: учеб. пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2004. 429 с.
2. Серапинас Б. Б. Глобальные системы позиционирования. М.: Каталог, 2002. 106 с.

Поступила в редакцию 22 января 2018 года

THE INFLUENCE OF GEOMETRIC FACTOR ON THE ACCURACY OF SATELLITE POSITIONING

Gordeev V. A., Raeva O. S. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation.
 E-mail: Gordeev.V@ursmu.ru

The article examines the influence of the geometry of spatial intersection – mutual spatial arrangement of a transmitter and satellites, whose signals are received by a transmitter in the moment of measuring – on the accuracy of positioning. In rectangular spatial coordinate system the position of a satellite is described through the geometric remoteness, grid azimuths, and the angle of elevation. Geometric factor is expressed through the diagonal elements of the determined point position inverse weight error matrix. The article investigates the alternation of the geometric factor for satellite symmetric allocation schemes – under the uniform spacing along the horizon and on the hemisphere. It has been shown that with the increase of the angle of elevation, the accuracy of elevation points determination increases ($VDOP$ geometric factor descends), and on the contrary, the accuracy of determining the planned coordinates reduces ($HDOP$ increases). In this regard, when planning surveying measurements on the observation stations and geodetic polygons, it is suggested to focus not on $PDOP$, but on the indices of $VDOP$ and $HDOP$ separately.

Key words: satellite positioning; geometric factor; inverse weight matrix; satellites symmetric allocation; points allocation errors; $PDOP$; $VDOP$; $HDOP$.

REFERENCES

1. Gordeev V. A. *Teoriia oshibok izmerenii i uravnitel'nye vychisleniia: ucheb. posobie* [School book “The theory of measurement errors and compensation computations”]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2004. 429 p.
2. Serapinas B. B. *Global'nye sistemy pozitsionirovaniia* [Global positioning systems]. Moscow, Katalog Publ., 2002. 106 p.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ОТРАБОТАННОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ

СТУДЕНОК Г. А.

Буровзрывная подготовка горной массы с использованием взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры приводит к загрязнению дренажных вод горных предприятий соединениями азота (аммонийная, нитритная и нитратная формы азота). Сброс таких вод в водные объекты наносит им значительный экологический ущерб и приводит крупные горные предприятия к многомиллионным платежам за нанесение вреда водным ресурсам. В статье с позиций геоэкологии обоснована возможность и приведены результаты реализации технологии очистки дренажных вод крупного горного предприятия от соединений азота за счет микробиологической нитрификации путем их подачи и выдержки в частично затопленной отработанной горной выработке со сложившейся экосистемой. Рассмотрены горнотехнические условия и геотехнологические параметры отработанной горной выработки, обеспечивающие промышленную и экологическую безопасность описанной технологии.

Ключевые слова: геотехнология; геоэкология; очистка; соединения азота; отработанная горная выработка.

Одним из экологических аспектов производственной деятельности горных предприятий, связанной с буровзрывной подготовкой горной массы, является применение промышленных взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры (нитрат аммония NH_4NO_3). Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества (аммиачно-селитренные ВВ) в настоящее время получили широкое распространение в горной промышленности, что обусловлено доступностью и невысокой стоимостью исходного сырья для производства данных типов взрывчатых веществ.

Применение промышленных аммиачно-селитренных ВВ на карьерах является источником загрязнения дренажных вод, откачиваемых при осушении карьерного поля, соединениями азота (ионы аммония, нитрит-ионы и нитрат-ионы). Поступление соединений азота в дренажные воды при ведении взрывных работ приводит в свою очередь к существенному превышению допустимого уровня их содержания в поверхностных и подземных водах, вызывая загрязнение водных объектов при сбросе в них дренажных вод [1–3].

Вследствие этого возникает необходимость выбора и обоснования технологии очистки дренажных карьерных вод, загрязненных соединениями азота, с учетом не только природоохранных требований, но и технико-экономических возможностей конкретного горного предприятия. При этом основные проблемы, касающиеся ужесточения природоохранных требований, связаны с наличием в сбрасываемых дренажных водах наиболее токсичных соединений азота (ионов аммония

и нитрит-ионов), для которых установлены достаточно жесткие требования по их содержанию в водных объектах (*Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (утв. приказом Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20)*; *Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03*):

– ионы аммония – 0,4 мг/дм³ (водоемы рыбохозяйственного назначения) и 3,3 мг/дм³ (водоемы хозяйственно-питьевого назначения);

– нитрит-ионы – 0,08 мг/дм³ (водоемы рыбохозяйственного назначения) и 2,6 мг/дм³ (водоемы хозяйственно-питьевого назначения).

Выполненный анализ применяемых в настоящее время методов и технологий для очистки сточных вод от соединений азота показывает, что комплексная очистка возможна только с применением биологических методов очистки, реализуемых на специальных объектах капитального строительства (станциях биологической очистки) [4, 5]. Вместе с тем очистка дренажных вод на станциях биологической очистки для условий горных предприятий требует высоких капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с большими объемами очищаемых дренажных вод, что не всегда возможно с учетом экономических возможностей горного предприятия.

Для соединений азота в водных объектах гидросферы характерен биогеохимический круговорот, приводящий к трансформации наиболее токсичных форм аммонийного (ионы NH₄⁺) и нитритного (ионы NO₂⁻) азота в нитратный азот (ионы NO₃⁻). Образовавшиеся в результате процесса микробиологической нитрификации ионы нитрата используются фитопланктонными организмами и бактериями для синтеза азотсодержащих клеточных компонентов (ассимиляционная нитратредукция).

Концентрация ионов аммония (NH₄⁺) в природных водах зависит от насыщенности кислородом и величины pH, для многих рек и водохранилищ эта величина составляет $n \cdot 10^{-1}$ мг/дм³, для нитрит-ионов (NO₂⁻) – от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^{-2}$ мг/дм³, для нитрат-ионов (NO₃⁻) – от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^{-1}$ [6].

Экологическая опасность для водоемов при поступлении в них соединений азота связана:

– с токсичностью ионов аммония и нитрит-ионов для гидробионтов, главным образом рыб (водоемы рыбохозяйственной категории) и человека (водоемы хозяйственно-питьевой категории);

– с процессом эвтрофикации водоемов, приводящим к повышению уровня первичной продукции водоемов (фитопланктон) благодаря увеличению в них концентрации биогенных элементов (нитратный азот); повышение до определенного уровня первичной продукции создает основу для ухудшения качества воды за счет ее «цветения», уменьшения прозрачности и содержания в ней кислорода, что приводит к замору и гибели рыбы и др. гидробионтов.

Перспективным и экономически выгодным для очистки сточных вод от соединений азота является применение технологии очистки с использованием биоинженерных сооружений, принцип работы которых основан на естественных биологических процессах, протекающих в гидроэкосистемах. К ним относятся различные типы биологических прудов и ботанических площадок с водной растительностью (биолато) [7].

Распространение данной технологии наблюдается как в странах Европейского Союза, так и в Российской Федерации. При эксплуатации биоинженерных соору-

жений очистка сточных вод от аммонийного и нитритного азота происходит за счет их микробиологической нитрификации, а нитратный азот удаляется из воды за счет его поглощения водной растительностью.

При создании и эксплуатации биоинженерных сооружений для очистки сточных вод необходимо соблюдение следующих условий:

– биоинженерное сооружение (техногенный биогеохимический барьер) проектируется под конкретную задачу очистки сточных вод (вид и концентрация загрязняющих веществ, степень требуемой очистки, расход воды);

– время пребывания загрязненной воды в биоинженерном сооружении должно обеспечивать необходимую степень очистки от загрязняющих веществ при максимальном использовании объема и площади биоинженерного сооружения;

– наличие системы постоянного контроля эффективности работы биоинженерного сооружения;

– в процессе эксплуатации биоинженерного сооружения необходимо обеспечивать условия для предотвращения вторичного загрязнения воды продуктами трансформации задержанных загрязняющих веществ.

**Химический состав воды в затопленной части карьера,
г/м³ (мг/дм³)**

Контролируемый показатель	Содержание в затопленной части карьера	ПДК _{хл} /ПДК _{рх}
Сухой остаток	546	1000,0
Железо (общее)	0,04	0,3/0,1
Хлорид-ион (Cl ⁻)	48,4	350/300
Сульфат-ион (SO ₄ ²⁻)	80,0	500/100
Ион аммония (NH ₄ ⁺)	0,2	1,5/0,5
Нитрит-ион (NO ₂ ⁻)	0,24	3,3/0,08
Нитрат-ион (NO ₃ ⁻)	53,5	45,0/40,0
Нефтепродукты	0,02	0,3/0,05
Медь	0,002	1,0/0,001
Цинк	0,009	1,0/0,01

При создании и применении биоинженерных сооружений необходимо наличие достаточной площади земельного отвода для их организации и строительства, чтобы обеспечить необходимое время для протекания процесса микробиологической нитрификации и последующей ассимиляции нитратного азота. Другой особенностью эксплуатации биоинженерных сооружений при наличии высшей водной растительности является сезонность их функционирования только в теплый период года.

В условиях горных предприятий в качестве биоинженерных сооружений перспективным и экономически целесообразным вариантом является использование частично затопленных отработанных горных выработок. При оценке возможности использования частично затопленной отработанной горной выработки для очистки дренажных вод следует учитывать наличие в ней сформированной экосистемы, поскольку очистка дренажных вод от соединений азота будет происходить в результате микробиологического процесса нитрификации аммонийного и нитритного азота с последующей ассимиляцией нитратного азота гидробионтами. Формирование устойчивой экологической системы в затопленных горных выработках при отсутствии токсичных загрязняющих веществ происходит в течение нескольких лет [8].

Решение по использованию отработанного карьера 1-2 для очистки дренажных вод действующего карьера «Центральный» ОАО «Ураласбест» было принято по результатам специальных исследовательских работ, включавших:

– гидрохимические исследования условий формирования существующего химического состава воды в затопленной части отработанного карьера;

– гидрогеологические исследования, обосновывающие предельный уровень заполнения карьера дренажными водами, который обеспечивает сохранение существующего гидрологического и гидрохимического режима прилегающей территории и расположенных на ней объектов (действующие водозаборные скважины и природные водные объекты);

– геомеханические исследования и инженерно-геологические изыскания для определения устойчивости бортов карьера при заполнении его дренажными водами.

Результаты гидрохимических исследований условий формирования существующего химического состава воды в затопленной части карьера (таблица) показали отсутствие в воде загрязняющих веществ в концентрациях, превышающих нормативы ПДК_{хп} для водоемов хозяйственно-питьевого назначения, за исключением незначительного превышения по ионам нитрата (в 1,2 раза). Нормативы ПДК_{рх} для рыбохозяйственных водоемов были превышены только по ионам нитрита (в 3 раза) и нитрата (в 1,3 раза) в связи с более низкими их значениями по сравнению с нормативами для водоемов хозяйственно-питьевого назначения.

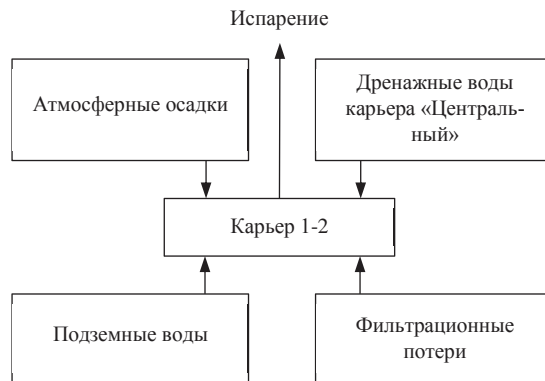


Рис. 1. Принципиальная схема водного баланса карьера при заполнении его дренажными водами карьера «Центральный» ОАО «Ураласбест»

Максимально возможный рабочий объем заполнения карьера дренажными водами был определен в результате гидрогеологических исследований, инженерно-геодезических и инженерно-гидрометеорологических изысканий. Для оценки времени достижения предельной отметки уровня воды в карьере была разработана математическая модель водного баланса карьера с учетом природных и техногенных факторов (очищаемых дренажных вод, атмосферных осадков и подземных вод, потерь на фильтрацию и испарение). Принципиальная схема водного баланса карьера 1-2 при заполнении его дренажными водами действующего карьера «Центральный» ОАО «Ураласбест» приведена на рис. 1.

Для установления зависимости динамики изменения уровня воды в карьере 1-2 при его эксплуатации в системе очистки дренажных вод была разработана трехмерная математическая модель карьера с использованием программного комплекса Golden Software Surfer (версия 9). В качестве исходных данных для построения трехмерной модели карьера использовались данные выполненных инженерно-геодезических изысканий.

При использовании отработанного карьера в качестве биоинженерного сооружения для очистки дренажных вод от соединений азота была организована система постоянного мониторинга химического состава воды в затопленной части карьера для контроля эффективности очистки (рис. 2).

Мониторинговые наблюдения проводились в теплый период года (апрель–октябрь) с одновременными замерами уровня воды в карьере. Отбор проб воды осуществлялся в девяти точках из поверхностного слоя глубиной до 5 м, что соответствовало годовому увеличению уровня заполнения карьера при подаче в него поступающих на очистку дренажных вод.

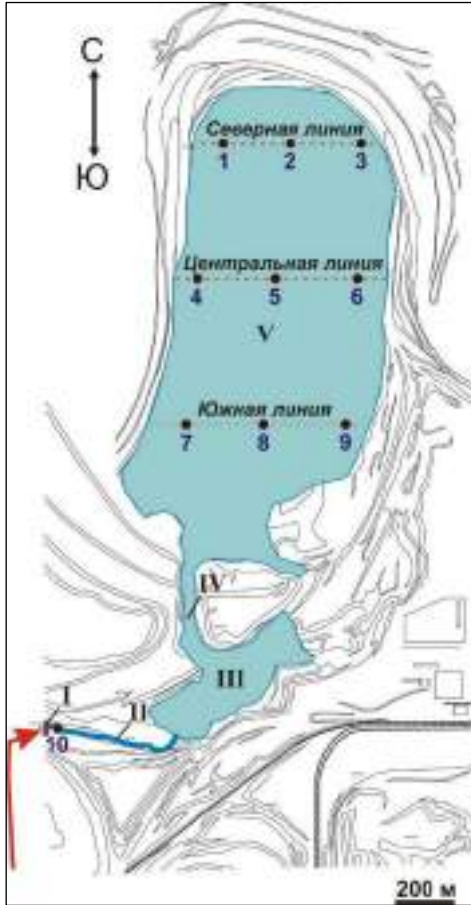


Рис. 2. Схема организации системы мониторинга для контроля эффективности очистки поступающих дренажных вод от соединений азота: I – место подачи дренажных вод; II – русло ручья дренажных вод; III – карьер «Северный»; IV – каньонно-образная перемычка; V – карьер 1-2

зирования как одного из инструментов экологического менеджмента показана, например, в статье [9].

Для нитратного азота не наблюдается значительного увеличения его содержания по сравнению с поступающими дренажными водами. Это объясняется тем, что нитратный азот, образующийся в процессе нитрификации аммонийного и нитритного азота, ассимилируется (поглощается) водной растительностью.

Анализ практических результатов использования отработанной горной выработки для очистки дренажных вод от соединений азота показал, что стабилизация параметров очистки дренажных вод от соединений азота происходит

Экспериментальное заполнение отработанной горной выработки дренажными водами происходило в течение 2014 г. Результаты мониторинговых наблюдений за концентрациями соединений азота в отработанной горной выработке подтвердили первоначальное предположение о возможности успешной очистки дренажных вод от аммонийного и нитритного азота за счет микробиологической нитрификации. В 2015–2017 гг. заполнение было продолжено и будет продолжаться до достижения предельного уровня +215,0 м (ориентировочно – конец 2021 г.)

Анализ практических результатов эксплуатации отработанной горной выработки в условиях ОАО «Ураласбест» за период 2014–2017 гг. показывает, что достигаемая эффективность очистки поступающих в нее дренажных вод, загрязненных соединениями азота, составляет для аммонийного и нитритного азота более 90 % (рис. 3). При этом следует отметить, что эффективность очистки в целом стабилизировалась и поддается, таким образом, достоверному прогнозированию с учетом определенной по результатам мониторинга скорости нитрификации 0,25–0,29 г/(м³·сут). Важность прогно-

на второй год после начала ее заполнения поступающими на очистку дренажными водами (рис. 3).

Наблюдаемый в 2014 г. период установления параметров процесса нитрификации (микробиологическое окисление аммонийного и нитритного азота) связан с адаптацией в первую очередь нитрифицирующих бактерий к химическому составу дренажных вод по соединениям азота.

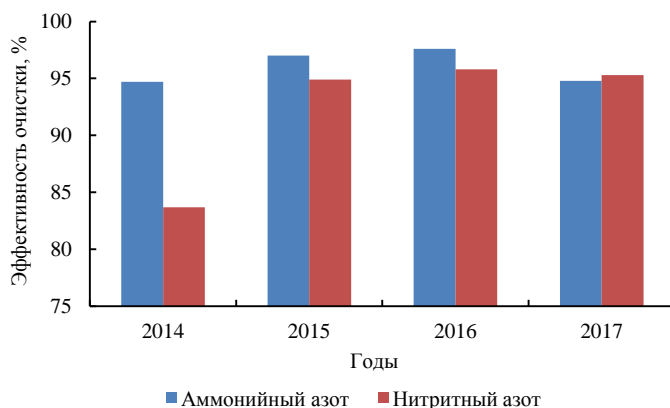


Рис. 3. Эффективность очистки дренажных вод от аммонийного и нитритного азота (ионы аммония и нитрит-ионы) в отработанной горной выработке

В результате при определении рабочего объема отработанной горной выработки необходимо учитывать первоначальный адаптационный период эксплуатации, при котором происходит накопление дренажных вод и стабилизация параметров процессов микробиологической нитрификации. Длительность адаптационного периода будет зависеть от конкретных условий эксплуатации отработанной горной выработки и должна устанавливаться по результатам мониторинговых наблюдений.

Полученные практические результаты очистки дренажных вод от соединений азота в условиях ОАО «Ураласбест» с использованием отработанного и затопляемого естественным путем (атмосферные осадки и подземные воды) карьера позволяют обосновать условия и перспективы применения данной технологии и на других горных предприятиях для решения задачи очистки дренажных вод, загрязненных соединениями азота в результате ведения буровзрывных работ.

Для оценки возможности использования отработанной горной выработки для очистки дренажных вод от соединений азота необходимо учитывать следующие факторы:

- исходный гидрохимический состав воды в горной выработке, который определяется составом поступающих в нее подземных вод, а также минералогическими и геохимическими характеристиками пород, окружающих горную выработку;
- возможный рабочий объем заполнения, который должен обеспечить необходимое время выдержки в ней дренажных вод для достижения требуемой эффективности их очистки от соединений азота с учетом их содержания в поступающих на очистку дренажных водах и сезонных колебаний их объемов;
- результаты гидрогеологических исследований, обосновывающие предельный уровень заполнения карьера дренажными водами, который обеспечивает сохранение существующего гидрологического и гидрохимического режима прилегающей территории;

– наличие уже сформировавшейся экосистемы или возможность ее образования, поскольку очистка дренажных вод от соединений азота будет происходить в результате микробиологического процесса нитрификации аммонийного и нитритного азота с последующей ассимиляцией нитратного азота гидробионтами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хохлаков А. В., Студенок А. Г., Ольховский А. М., Студенок Г. А. Количественная оценка вклада взрывных работ в загрязнение дренажных вод карьеров соединениями азота // Изв. вузов. Горный журнал. 2005. № 6. С. 29–31.
2. Хохлаков А. В., Студенок А. Г., Студенок Г. А. Исследование процессов формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота на примере карьера крупного горного предприятия // Известия Уральского государственного горного университета. 2016. № 4(44). С. 35–37.
3. Катанов И. Б. Оценка влияния взрывных работ в условиях разрезов Кузбасса на качество карьерных вод // Вестник Кузбасского государственного технического университета. № 1. 2003. С. 15–17.
4. Студенок А. Г., Студенок Г. А., Ревво А. В. Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий // Известия Уральского государственного горного университета. 2013. № 2(30). С. 26–30.
5. Гусев М. В., Минеева Л. А. Микробиология. М: Академия, 2006. 446 с.
6. Зенин А. А., Белоусова Н. В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 241 с.
7. Попов А. Н., Бондаренко В. В., Дерябин В. Н. Биоинженерные методы и сооружения // Вода России. Водохозяйственное устройство. Екатеринбург: Аква-Пресс, 2000. С. 316–328.
8. Русанов В. В., Гаранина И. А. О проблеме гидробиологической рекультивации карьерных водоемов // ГИАБ. 2004. № 6. С. 154–157.
9. Хохлаков А. В., Цейтлин Е. М., Москвина О. А., Ларионова И. В. Прогнозирование концентраций загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды // Изв. вузов. Горный журнал. 2017. № 4. С. 56–63.

Поступила в редакцию 16 февраля 2018 года

GEOECOLOGICAL FOUNDATION OF THE TECHNOLOGY OF NITROGEN COMPOUNDS REMOVAL FROM THE QUARRY WATERS IN THE EXHAUSTED EXCAVATION

Studenok G. A. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: genand@mail.ru

Drilling and blasting primary mining of rock mass with the use of explosives on the basis on ammonium nitrate leads to the quarry waters contamination with nitrogen compounds (nitrite, ammonium, and nitrate forms of nitrogen). Discharge of such waters in the water objects significantly damages them ecologically and results for large mining enterprises in multimillion payments for the infliction of harm to water resources. From the point of view of geocology the article substantiates the possibility and introduces the results of the realization of the technology of nitrogen compounds removal from the quarry waters of a large mining enterprise by means of microbiological nitrification by way of their supplying and keeping up in a partially flooded exhausted excavation with a fully developed ecosystem. Mining engineering conditions and geotechnological parameters of exhausted excavation are examined, which provide industrial and ecological security of the described technology.

Key words: geotechnology; geocology; removal; nitrogen compounds; exhausted excavation.

REFERENCES

1. Khokhriakov A. V., Studenok A. G., Ol'khovskii A. M., Studenok G. A. [Quantitative estimation of the contribution of blasting operations into the quarry waters pollution with the nitrogen compounds]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2005, no. 6, pp. 29–31. (In Russ.)
2. Khokhriakov A. V., Studenok A. G., Studenok G. A. [The investigation of the processes of generating the chemical contamination of quarry waters with nitrogen compounds by the example of an open pit of a large mining enterprise]. *Izvestiya Ural'skogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta – News of the Ural State Mining University*, 2016, no. 4(44), pp. 35–37. (In Russ.)
3. Katanov I. B. [Estimation of the influence of blasting operations in conditions of open pits of Kuzbass on the quality of pit water]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, no. 1, 2003, pp. 15–17. (In Russ.)
4. Studenok A. G., Studenok G. A., Revvo A. V. [Estimation of the methods of nitrogen compounds removal from the quarry waters of the mining enterprises]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta – News of the Ural State Mining University*, 2013, no. 2(30), pp. 26–30. (In Russ.)
5. Gusev M. V., Mineeva L. A. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. Moscow, Akademiia Publ., 2006. 446 p.
6. Zenin A. A., Belousova N. V. *Gidrokhimicheskii slovar'* [Hydrochemical dictionary]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988. 241 p.

7. Popov A. N., Bondarenko V. V., Deriabin V. N. [Bioengineered methods and constructions]. *Voda Rossii. Vodokhoziaistvennoe ustroistvo* [Water of Russia. Hydro economic structure]. Ekaterinburg, Akva-Press, 2000, pp. 316–328.
 8. Rusanov V. V., Garanina I. A. [Regarding the problem of hydrobiological recultivation of quarry reservoirs]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2004, no. 6, pp. 154–157. (In Russ.)
 9. Khokhriakov A. V., Tseitlin E. M., Moskvina O. A., Larionova I. V. [Forecasting the concentration of contaminants in the components of the environment]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2017, no. 4, pp. 56–63. (In Russ.)
-

ОБУЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРА РАСПОЗНАВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

ЛЕОНОВ Р. Е.

Рассмотрено обучение компьютера распознаванию участка месторождения железной руды, из которой был получен концентрат, по параметрам концентрата: крупности; содержанию железа; магнитной восприимчивости; намагниченности; коэрцитивной силе. Участки месторождения, из которых взята руда, условно обозначены как «классы». Классам присвоены условные номера. Для обучения и последующего распознавания класса на контрольной выборке данных использован метод ближайших соседей. Особенностью рассматриваемой задачи является очень малая обучающая выборка. По необходимости выборка была дополнительно уменьшена, так как из ее состава случайным отбором была сформирована контрольная выборка, в которую входили представители каждого класса. Общий окончательный объем обучающей выборки составил 46 значений, объем контрольной выборки – 13 значений. Количество различных классов – 13. Несмотря на ограниченный набор данных для обучения, результаты правильного распознавания (точность распознавания) составили более 46 %, что значительно превосходит случайное значение на независимой выборке данных. Исследовано влияние на точность распознавания количества «ближайших соседей». Показана необходимость нормирования данных и исследованы различные способы нормирования, в том числе и с помощью препроцессорных модулей, входящих в состав пакетов программы Python. Приведены документированная программа на языке Python, версия 3.6.0, и результаты распознавания. Решение задачи выполнено в IPython, Spyder.

Ключевые слова: машинное обучение; железные руды; распознавание; программа в IPython.

В настоящее время все большее внимание уделяется использованию методов машинного обучения в различных прикладных областях. Большинство работ относятся к непроизводственным и гуманитарным областям деятельности. Опыт использования машинного обучения в промышленности небольшой. Не является исключением и горная промышленность. Между тем представляется, что и в сфере горного производства некоторые задачи, связанные с машинным обучением, в частности задачи распознавания производственных ситуаций, могут найти применение.

В предлагаемой статье на примере распознавания участка месторождения, из которого была взята руда для получения концентрата, показана возможность применения методов и средств машинного обучения. Несмотря на то что решалась частная задача, приводимая методика и программа, по мнению автора, могут найти более широкое применение. Программа может быть использована при решении любых задач, где по набору некоторого числа количественных признаков (факторов) изучаемый объект должен быть отнесен к одному из нескольких возможных классов.

Числовые данные для обучения и контроля взяты из анализа влияния класса крупности концентрата на его магнитные свойства [1]. Учитывались следующие параметры концентрата (факторы): класс крупности – пять фракций от 0,1–0 до 2,0–0 мм; содержание железа в концентрате, %; коэрцитивная сила, Э; намагниченность при напряженности магнитного поля (от 36 до 1450 Э, всего пять значений).

Все перечисленные величины измерялись на концентрате, полученном из руд различных участков Соколовского и Сарбайского месторождений (всего 13 участков). Задача состояла в проверке возможности обучения компьютера распознаванию пробы, из которой получен концентрат, по параметрам концентрата.

Для обучения компьютера была сформирована обучающая выборка, которая состояла из замеренных указанных ранее величин и обозначения соответствующего участка месторождения, из которого была взята проба руды. После обучения компьютеру была предъявлена контрольная выборка, которая состояла из проб концентрата с замеренными перечисленными параметрами (факторами), но без указания участка, с которого была взята проба руды, по которой получен контрольный экземпляр. Контрольная выборка в обучении компьютера не участвовала.

Надо отметить, что вследствие коммерциализации экономики получение представительных данных, аналогичных приведенным, чрезвычайно затруднено. В связи с этим первоначальная выборка для обучения и контроля была значительно меньше, чем обычно используется в машинном обучении. Выборка состояла из 59 строк параметров полученного концентрата и обозначения участка для каждой такой строки. Из этой выборки случайным образом была сформирована контрольная выборка из 13 строк параметров и соответствующего обозначения участка месторождения (класса руды). В итоге обучающая выборка состояла из оставшихся 46 строк параметров и соответствующего им класса, контрольная – из 13 строк параметров и соответствующего им класса. Обозначение класса в контрольной выборке использовано для проверки правильности распознавания компьютером.

Обучение и последующий контроль выполнены на языке Python (версия 3.6.0) в приложении Anaconda 3. Отладка и результаты получены в IPython, Spyder.

Для распознавания использован метод ближайших соседей. В качестве одного из параметров программы предусмотрен выбор числа «ближайших соседей». Программа распознавания класса выбирает обозначение класса, рассматривая близость предъявленных признаков ко всем возможным образцам, использованным при обучении. Окончательный выбор формируется по количеству наиболее близких образцов, установленных при настройке программы. В действительности в общем случае число «ближайших соседей», которое следует учитывать, заранее установить невозможно. Например, пусть предъявленный контрольный экземпляр очень близок к классу руды № 1. При этом программа настроена на двух ближайших соседей. Кроме класса № 1 ближайшими оказались два экземпляра класса № 4, хотя их параметры гораздо менее соответствуют контрольному экземпляру. В этом случае компьютер определит контрольный образец как принадлежащий классу № 4, и распознавание будет неудовлетворительным.

При больших обучающих выборках метод ближайших соседей работает хорошо, конечно, если признаки достаточно информативны и хорошо представляют классы. По-видимому, для производственных задач с их ограниченными наборами данных количество «ближайших соседей» должно быть невелико. Это подтверждают и приведенные далее результаты работы программы.

В методе ближайших соседей близость контрольного экземпляра к экземплярам обучающей выборки определяется евклидовым расстоянием (или любой другой метрикой, основанной на разности аналогичных признаков контрольного и

обучающего экземпляров). В этих условиях координаты должны быть приведены к соизмеримым единицам.

Действительно, если крупность контрольного и анализируемого обучающего образца составляет по порядку величин миллиметры, а намагниченность – сотни единиц, то в итоговую оценку близости контрольного и обучающего образца намагниченность внесет сотни единиц, а крупность – доли единицы. При этом независимо от действительной информативности признака влияние крупности на процесс распознавания ничтожно.

Чтобы избавиться от такого положения, все значения признаков должны быть нормированы – приведены к соизмеримым единицам. В рассматриваемой программе использованы несколько методов нормирования. Проверялась нормировка

$$X_n = (X_f - X_c) / s_x, \quad (1)$$

где X_n – нормированное значение фактора; X_f – фактическое значение фактора; s_x – стандартное отклонение фактора.

Возможность такого нормирования предусмотрена в стандартном пакете Scipy Python.

Лучшие результаты получены, однако, при предварительной нормировке признаков в виде

$$X_n = (X_f - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), \quad (2)$$

где X_{\min} и X_{\max} – минимальное и максимальное значения соответствующего фактора. Такая нормировка приводит все факторы к диапазону от 0 до 1.

Известно [2], что большое значение имеет качественный состав признаков, определяющий класс. Признаки должны быть информативными и действительно существенно количественно различаться для разных классов.

В связи с этим выполнена еще одна серия обучения и контроля для решения этой же задачи с несколько другими признаками, характеризующими классы. Из факторов (признаков) были исключены данные по намагниченности для напряженности поля 90, 360, 730, 1270 Э и дополнительно в число признаков включены данные по магнитной восприимчивости для напряженности 36, 180, 550, 1000, 1450 Э.

Распознавание класса в соответствии с приведенной программой показало, что точность распознавания существенно зависит от способа нормирования признаков. В лучшем случае при нормировании признаков в соответствии с (1) точность составила как для первоначального набора признаков, так и для набора признаков с магнитной восприимчивостью 38,46 %.

При нормировании по выражению (2) точность составила 46,15 %. Это небольшие величины. Тем не менее это значительно больше, чем просто случайное угадывание класса руды. Можно констатировать, что даже при таком небольшом количестве обучающих данных распознавание возможно. Использование программы показало также, что эффективность распознавания сильно зависит от числа «близких соседей». При практическом использовании метода близких соседей целесообразно заранее сформировать независимую контрольную выборку и на ней определить для конкретной решаемой задачи способ нормализации и оптимальное число «близких соседей».

В результате исследования обучения компьютера распознаванию класса руды по конечному продукту, полученному из нее, можно констатировать следующее.

Несмотря на небольшой объем обучающей выборки, допустимо использование распознавания производственной ситуации по числу «ближайших соседей» в некоторых задачах производственной деятельности горных предприятий.

С появлением пакетов программ решения задач распознавания открывается перспектива их применения для решения производственных задач. Учитывая наличие готовых пакетов компьютерных программ, основное внимание, по-видимому, следует уделить правильной формулировке производственных задач, для которых могут быть использованы программы машинного обучения.

Далее рассмотрена программа, использованная автором для обучения и распознавания. Приведены вариант для набора признаков с магнитной восприимчивостью с двумя «ближайшими соседями» и результаты работы программы.

Программа

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Tue Dec 5 21:25:44 2017
@author: Leonov_пользователь
Классификация по "ближайшим соседям"
"""

#Загрузка необходимых пакетов Numpy и Scipy
import numpy as np
import scipy as sp
from sklearn import preprocessing

#Чтение матрицы исходных нормированных данных
x1 = sp.genfromtxt('D:\Leonov\Наука\Классификация\SShi\SShiobn.txt')
X = sp.array(x1[:,0:13])
#Для каждого набора признаков выделение соответствующего класса
#Класс – это номер пробы
y = sp.array(x1[:,13])
#Эти операторы подключить при нормировке из стандартного пакета
#norm_X = preprocessing.normalize(X)
#stand_X = preprocessing.scale(norm_X)
from sklearn import neighbors,metrics
knn = neighbors.KNeighborsClassifier(n_neighbors=2)
#Исправить X на norm_X (stand_X)при использовании
#стандартной нормировки
knn.fit(X,y)
#Печать параметров обучения
print("knn = ",knn)
#Загружаем контрольную выборку
x2 = sp.genfromtxt('D:\Leonov\Наука\Классификация\SShi\SShikn.txt')
X2 = sp.array(x2[:,0:13])
y1 = sp.array(x2[:,13])
#Эти операторы подключить при нормировке из стандартного пакета
#norm_X2 = preprocessing.normalize(X2)
#stand_X2 = preprocessing.scale(norm_X2)
#Распознаем контрольную выборку
#Исправить X2 на norm_X2 (stand_X2)при использовании
#стандартной нормировки
predicted_1 = knn.predict(X2)
#Оцениваем точность классификации m
#Исправить X2 на norm_X2 (stand_X2)при использовании
#стандартной нормировки
m = knn.score(X2,y1)
print('m =',%.2f%(m*100))
#Оцениваем прогноз по каждому классу и повторно среднюю
#точность по всем классам
n = len(y1)
right = 0
for i in range(n):
    print('Предсказано ',predicted_1[i], 'фактически ',y1[i])
    if predicted_1[i]== y1[i]:
        right+=1
tochnost = right/len(y1)*100
print("Точность классификации = ",%.2f%(tochnost))
```

Результаты работы программы

```
runfile('F:/Python/Anaconda3/MyFile/untitled2.py', wdir='F:/Python/Anaconda3/MyFile')
knn = KNeighborsClassifier(algorithm='auto', leaf_size=30, metric='minkowski',
    metric_params=None, n_jobs=1, n_neighbors=2, p=2,
    weights='uniform')
```

m = 46.15

Предсказано 1.0 фактически 1.0
 Предсказано 2.0 фактически 2.0
 Предсказано 3.0 фактически 3.0
 Предсказано 4.0 фактически 4.0
 Предсказано 3.0 фактически 6.0
 Предсказано 1.0 фактически 8.0
 Предсказано 10.0 фактически 10.0
 Предсказано 8.0 фактически 11.0
 Предсказано 21.0 фактически 21.0
 Предсказано 11.0 фактически 31.0
 Предсказано 6.0 фактически 41.0
 Предсказано 2.0 фактически 61.0
 Предсказано 1.0 фактически 131.0
 Точность классификации = 46.15%

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дробченко Л. А. Исследование магнитных характеристик железных руд в целях обогащения: приложения к дис. ... канд. техн. наук. Фонды УГГУ, 1966. 40 с.
2. Коэльо Л. П., Ричарт В. Построение систем машинного обучения на языке Python. М.: ДМК Пресс, 2016. 302 с.

Поступила в редакцию 13 декабря 2017 года

TRAINING A COMPUTER TO RECOGNISE THE FEATURES OF IRON ORE

Leonov R. E. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: lnprep2011@yandex.ru

Training a computer to recognize the section of deposit of iron ore, from which the concentrate has been obtained, is examined according to the parameters of the concentrate: fineness, iron content, magnetic susceptibility, magnetism, and coercitive force. The sections of deposit the ore has been got from, are nominally denoted as "classes". The classes are awarded with nominal numbers. For training and further recognition of a class at the control sampling of data, the nearest-neighbor method has been used. The peculiarity of the problem under consideration is a small training sample. By necessity the sampling was additionally reduced, because out of its composition, the control sampling was formed with random selection; the control sampling included the representatives of every class. Total and final volume of a training sample constituted 46 values, volume of control sampling – 13 values. The quantity of various classes – 13. Despite the limiting set of data for training, the results of the right recognition (recognition accuracy) constituted more than 46% which significantly exceeds random value of independent data sampling. The influence of "nearest-neighbors" quantity on the accuracy of recognition has been examined. The necessity of data regulation is shown and various methods of regulation are examined, with the help of preprocessor modules, among other, which are part of Python program pack. Documented program in the Python language is introduced, version 3.6.0, and the results of recognition. The problem solution is fulfilled in IPython, Spyder.

Key words: machine learning; iron ore; recognition; program in IPython.

REFERENCES

1. Drobchenko L. A. *Issledovanie magnitnykh kharakteristik zheleznykh rud v tseliakh obogasheniia: prilozheniia k dis. kand. tekhn. nauk* [Investigation of magnetic characteristics of iron ore with the purpose of concentration: enclosures to cand. of eng. sci. diss.]. UrSMU Funds, 1966. 40 p.
2. Koel'o L. P., Richart V. *Postroenie sistem mashinnogo obuchenii na iazyke Python* [Building the systems of machine learning in the Python language]. Moscow, DMK Press Publ., 2016. 302 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА НАГОРНЫХ КАРЬЕРАХ ВБЛИЗИ КОММУНИКАЦИЙ

ПЕРГАМЕНТ В. Х., БУРМИСТРОВ К. В., ОВСЯННИКОВ М. П., ДАУТБАЕВ З. Р.

При разработке нагорных месторождений со стороны разрабатываемой и на противоположной части склона могут находиться охраняемые сооружения, коммуникации, здания промышленной площадки, автомобильные и железные дороги, газопроводы, линии электропередач и т. п. При производстве буровзрывных работ на таких карьерах помимо прямого сейсмического воздействия на основания конструкций опасность могут представлять перемещения по склонам крупных кусков породы, вызванные сейсмическими колебаниями грунта. В процессе перемещения к основанию косогора или на нижние горизонты карьера куски породы могут повредить или разрушить охраняемые объекты. Для предотвращения перемещения по склону крупных кусков породы предлагается использование ограничения уровня скорости колебания предельных значений с учетом баллов интенсивности сотрясений и соответствующей им скорости колебаний грунта. Данную методику можно использовать в технических расчетах каждого массового взрыва на месторождениях, где имеется опасность срыва камней со склонов и повреждения технических объектов.

Ключевые слова: сейсмика; взрывные работы; безопасность; нагорное месторождение; параметры взрывных работ; допустимые скорости колебаний.

Безопасность людей во время производства взрывных работ, защита оборудования, зданий и коммуникаций от поражающих факторов взрыва (воздушно-волновое и сейсмическое действие, разлет осколков) обеспечивается, если объект находится вне пределов опасных по указанным факторам зон, определяемых по приведенным в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности (Правила безопасности при взрывных работах) зависимостям. Однако указанный документ не предусматривает оценку безопасных зон по условию исключения перемещения находящихся на склоне кусков породы.

Актуальность исследований влияния сейсмического воздействия от взрывных работ на охраняемые объекты сохраняется на протяжении всего периода существования взрывного дела [1–4]. Известен случай гибели людей на Сорском карьере, когда при каскадном взрывании от сейсмических колебаний в результате

Пергамент Владимир Хаимович – старший научный сотрудник кафедры разработки месторождений полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: pergament@magtu.ru

Бурмистров Константин Владимирович – доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: burmistrov_kv@mail.ru

Овсянников Максим Павлович – студент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: ovsynnikovmp@gmail.com

Дгутбаев Загир Римович – студент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: dautbaev94@mail.ru

второго взрыва пришел в движение кусок породы; скатившись по осыпи от предыдущего взрыва, он попал в ковш экскаватора, в котором находились два человека. Таким образом, в случае нахождения объекта рядом с горным склоном (даже на безопасном расстоянии) не исключается неучитываемая возможность повреждения объекта камнями, сорвавшимися с горного склона в результате сейсмического воздействия (особенно, если переменная крутизна склона способствует срыву и полету сдвинувшихся камней).

То, что такие случаи не являются чисто гипотетическими, подтверждает повреждение железнодорожного полотна МПС, находившегося на эпицентральной расстоянии 226 м при разности отметок 174 м, сорвавшимися со склона высотой более 140 м камнями при взрыве на одном из нагорных карьеров Челябинской области в 2009 г. Падением камней были повреждены шестнадцать железобетонных шпал и 75 м рельсового пути, находившихся за пределами сейсмически опасной зоны.

Для предотвращения подобных случаев и обеспечения сейсмобезопасности взрывания на карьерах, работающих в аналогичных условиях, в типовых проектах БВР и паспортах взрывов могут быть использованы ограничения уровня интенсивности допустимых колебаний значениями, исключающими опасные макропроявления (движение камней по склону) [5].

В 12-балльной Международной шкале колебаний (MSK-64 и ее последующие модификации MSK-70, -72, -78 и MMSK-84) [6] движению камней по склонам при землетрясениях (основной и приращенным степеням реакций) соответствуют [5, 6] уровни интенсивности сотрясений $i = 8; 7,5$ и даже 7 баллов. Применительно ко взрывам оценки величин скоростей колебаний грунта (v , мм/с), соответствующие баллам $i = 3-10$, могут быть получены [2, 5, 7] из соотношения:

$$i = e \lg(\pi v), \text{ где } e = 2,718.$$

Баллам интенсивности $i = 8; 7,5; 7$ соответствуют допустимые скорости колебаний $[v] = 0,285; 0,165; 0,125$ м/с.

Для связи величин скорости колебаний грунта с условиями взрывания и определения необходимых при расчете безопасных расстояний и зарядов замедляемых групп значений допустимых приведенных расстояний $R = r/\sqrt[3]{Q_{гр}}$ м/кг^{1/3}, может быть использована обобщенная зависимость [7, 8] скорости колебаний от величины этого двухпараметрического аргумента (критерия) подобия и упругих характеристик взрывааемых пород (C_p – скорость продольных волн, м/с; γ – плотность пород, т/м³; μ – коэффициент Пуассона) и пород в месте наблюдения (C_n – скорость продольных волн наблюдаемых пород, м/с; γ_n – плотность наблюдаемых пород, т/м³) с учетом интерференционных эффектов для короткозамедленного взрывания с интервалами замедлений меньшими, чем предельные. При этом обобщенная зависимость для скорости колебаний грунта v , м/с, может быть представлена [7, 8] в виде:

$$v = K_v K_n K_{над} R_3^{-2,21R_3^{-0,05}} \approx 0,514 K_v K_n K_{над} R_3^{-1,67},$$

(правая часть равенства – степенное приближение при эквивалентном приведенном расстоянии $R_3 = 5,5-40,0$ м/кг^{1/3}), где $K_{над} = 1,0-1,5$ – коэффициент обеспечения заданного уровня (не менее чем 90 % при $K_{вар} = 0,3$) надежности прогноза скорости в расчетных пределах (меньшее значение применяется, когда сейсмический коэффициент грунтовых условий K_v определен по максимальным значениям C_p ; γ ; μ в местах взрыва и минимальным величинам C_n ; γ_n на опасных склонах; а большее значение – при использовании средних величин упругих характери-

стик пород или выборки экспериментальных оценок K_v); $K_{и}$ – коэффициент интерференции (относительного увеличения величин скоростей колебаний при КЗВ с уменьшенными по сравнению с предельным интервалами замедлений), $K_{и} > 1$, $K_{и} = 1,0-1,9$; с некоторым завышением (запас сейсмобезопасности) в качестве предельного может быть использован интервал замедления $t_{пр} = 70$ мс, начиная с которого $K_{и} = 1$, а для $t_3 < t_{пр}$ интервалов $K_{и} \approx (t_{пр}/t_3)^{0,25}$ [7]; K_v – сейсмический коэффициент грунтовых условий, м/с:

$$K_v = \sqrt[3]{(C_p (1 + \mu)^2) / (9\gamma / (1 - \mu)^2)} \cdot \sqrt{(\gamma C_p) / (\gamma C_{p.н})}$$

сводки значений K_v и упругих констант различных пород приведены в [7, 8].

При взрывах в нарушенных ($C_p = C_{p.н} = 3300$ м/с, где $C_{p.н}$ – скорость распространения волны в нарушенных породах; $\gamma = \gamma_n = 2,6$ т/м³) и ненарушенных ($C_p = 6450$ м/с; $\gamma = 2,76$ т/м³) известняках $C_{и} \approx 0,25$ максимальные значения коэффициента K_v составляют соответственно 7,4 и 12,9 м/с.

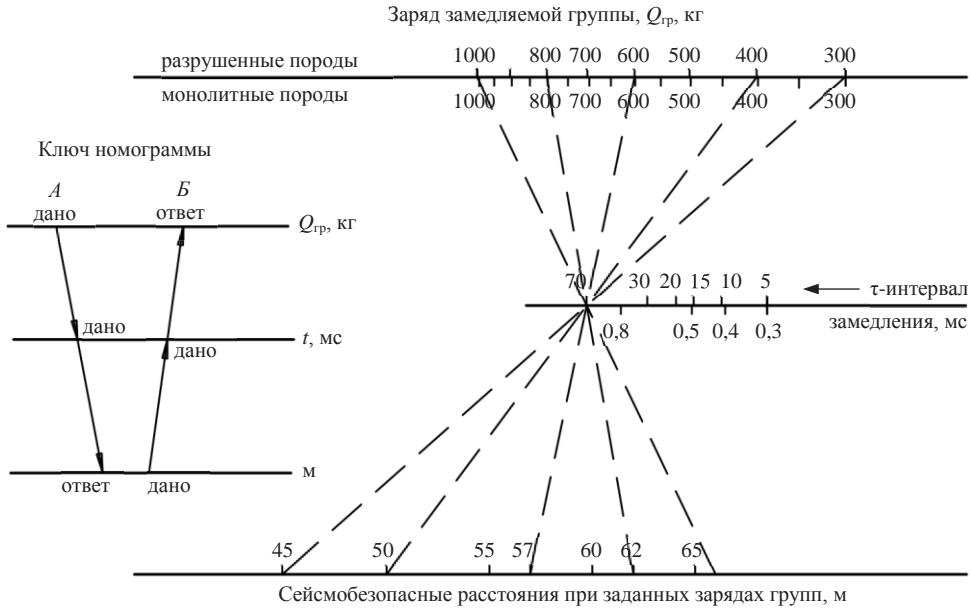


Рис. 1. Номограмма на параллельных выровненных шкалах

При указанных значениях уровням 8-, 7,5- и 7-балльных сотрясений ($c [v] = 0,285; 0,165; 0,125$ м/с) соответствуют допустимые приведенные расстояния зарядов замедляемых групп $[R_3] = 6,9 \cdot (1,00; 1,26; 1,60)$ м/кг^{1/3}.

С учетом относительного изменения ($K_{Ri} = 1,00; 1,26; 1,60$) этого аргумента для разных уровней интенсивности при использовании максимальных оценок K_v для $K_{над} = 1$ соотношение может быть представлено в виде:

$$[R_{3,гр}]_{КЗВ} = 6,9 K_{взр} K_{Ri} K_{RКЗВ}, \tag{1}$$

где $K_{взр} = 1$ и $K_{взр} = 0,727$ соответственно при взрывах в ненарушенных ($c K_v = 12,9$ м/с) и нарушенных ($c K_v = 7,4$ м/с) породах; $K_{RКЗВ} = 1,48; 1,34; 1,21; 1,14; 1,09; 1,05; 1,02; 1$ соответственно для $t_3 = 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70$ мс и более.

При отсутствии сведений об упругих характеристиках пород и величинах ограничиваемых скоростей колебаний грунта вместо (1) для предварительных приближенных оценок $[R_3]_i$ в зависимости от ограничиваемого балла i могут быть использованы рекомендации [9]: $[R_3]_{i=6/7} = 16$; $[R_3]_{i=7/8} = 7$; $[R_3]_{i=8/9} = 5$ м/кг^{1/3} или [5]:

$$i = 5 \lg (200 / [R_3]_i) \text{ для } i > 3, \text{ откуда } [R_3]_{i=7} = 12,6 \text{ м/кг}^{1/3} \text{ и} \\ [R_3]_{i=8} = 5 \text{ м/кг}^{1/3}.$$

С учетом установленного допустимого эквивалентного приведенного расстояния (1) для заданных зарядов замедляемых групп $Q_{гр}$, кг, или известных гипоцентральных расстояний r , м, могут быть определены соответственно сейсмобезопасные расстояния $[r]_c$ или допустимые массы ВВ $Q_{гр}$ в отдельных замедляемых группах блоков:

$$[r]_c = [R_{эгр}]_{КЗВ} \sqrt[3]{Q_{гр}}; \quad (2)$$

$$[Q_{гр}] < (r / [R_{эгр}]_{КЗВ})^3. \quad (3)$$

При этом гипоцентральные расстояния r определяются с учетом разности Δh высотных отметок опасного участка склона и горизонта взрыва и измеренного на плане эпицентрального расстояния r_3 от места взрыва до опасного участка склона $r = (\Delta h^2 + r_3^2)^{1/2}$. Число замедляемых групп в блоке при этом может не ограничиваться.

Значения коэффициента интерференции и относительных изменений приведенных расстояний K_r и зарядов K_Q

Интервал замедления τ , мс	Коэффициент интерференции K_n	Эквивалентное приведенное расстояние R_3 , м/кг ^{1/3}	Коэффициент $K_{RКЗВ}$	Коэффициент K_Q
5	1,93	9,92	1,484	0,306
10	1,63	8,96	1,341	0,415
15	1,47	8,42	1,260	0,500
20	1,37	8,08	1,208	0,567
25	1,29	7,79	1,165	0,632
30	1,24	7,61	1,138	0,679
35	1,19	7,42	1,110	0,731
40	1,15	7,27	1,087	0,778
45	1,12	7,16	1,070	0,816
50	1,09	7,03	1,051	0,860
55	1,062	6,93	1,037	0,897
60	1,039	6,84	1,023	0,934
65	1,018	6,76	1,011	0,968
70 и более	1	6,69	1,000	1,000

Для оперативности расчетов итоговые соотношения (1)–(3) представлены номограммой на параллельных выровненных шкалах (рис. 1).

Номограмма обеспечивает решение двух типов задач:

– по заданному заряду группы $Q_{гр}$, нарушенности взрывааемых пород и минимальному реализуемому интервалу замедлений t_3 определение безопасного расстояния для заданного допустимого балла сотрясений;

– по заданному расстоянию r_c , нарушенности взрывааемых пород и интервалам реализуемых замедлений определение допустимого заряда в замедляемой группе при обеспечиваемом допустимом балле интенсивности сотрясений.

Кроме графического решения приведенные на номограмме расчетные формулы и численные значения отдельно входящих в (1)–(3) коэффициентов обеспечивают аналитическое (расчетное) определение безопасных условий взрывания (таблица).

В технических расчетах при проведении каждого массового взрыва должен учитываться фактический, обеспечиваемый принятой схемой коммутации взрывной сети, минимальный межгрупповой интервал замедлений, который при многорядных схемах взрывания с разветвлениями взрывной сети и установкой разных номиналов замедлений в параллельных ветвях может оказываться меньше используемых в сети номиналов (вследствие наложения времени задержки в разных ветвях сети).

Таким образом, для условий, когда по каким-либо причинам соблюдать рекомендуемые параметры буровзрывных работ невозможно, рекомендуется оборка не только откосов уступов в карьере, как это предписывают нормативные документы по безопасности производства работ, но и противоположного склона, поскольку обрушение кусков породы может быть опасным для расположенных рядом с горным склоном сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Криворучко Н. И. Проблематика исследований промышленной сейсмологии в области обеспечения сейсдобезопасности технологических взрывов // *Universum: технические науки*. 2013. Вып. 1. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/791>

2. Пергамент В. Х., Калмыков В. Н., Гитерман Е. Н. Прогнозные оценки скорости колебаний и их сопоставление с результатами измерений при экспериментальном взрыве // *Проблемы и перспективы развития горных наук: сб. науч. тр. Междунар. конф. Т. 1. Геомеханика*. Новосибирск: СО РАН, 2005. С. 246–252.

3. Медведев С. В. Сейсмология горных взрывов. М.: Недра, 1964. 188 с.

4. Умаров Ф. Я., Бибик И. П. Разработка способа взрывания, обеспечивающего сохранность прибортовых массивов и инженерных сооружений в карьерах от сейсмического воздействия взрыва // *ГИАБ*. 2013. № 6. С. 235–239.

5. Пергамент В. Х., Бурмистров К. В., Колонюк А. А., Котик М. В. Определение сейсмически безопасных параметров взрывных работ вблизи коммуникаций, расположенных под склонами // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: сб. матер. 69-й науч.-тех. конф. Т. 1. Магнитогорск*, 2011. С. 54–57.

6. Ершов И. А., Шебалин Н. В. Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с точки зрения сейсмологов // *Прогноз сейсмических воздействий. Вопросы инженерной сейсмологии*. 1984. Вып. 25. С. 78–95.

7. Пергамент В. Х., Атлас А. Б., Мельников И. Т., Сураев В. С. Автоматизированный расчет безопасных условий сейсмологии взрывов: уч. пособие. Магнитогорск: МГТУ. 2010. 64 с.

8. Пергамент В. Х., Медведев С. В., Богацкий В. Ф. Прогноз скоростей сейсмических колебаний при взрывах // *Сейсдобезопасное взрывание на горных предприятиях: сб. науч. тр. МГМИ*. 1975. Вып. 151. С. 3–22.

9. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. М.: Недра, 1972. 240 с.

Поступила в редакцию 29 декабря 2017 года

DETERMINING THE PARAMETERS OF SAFE BLASTING AT MOUNTAIN OPEN PITS NEAR COMMUNICATION

Pergament V. Kh., Burmistrov K. V., Ovsianikov M. P., Dautbaev Z. R. – Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, the Russian Federation. E-mail: pergament@magtu.ru

At the exploitation of upland deposits, from the sides of the exploited and the opposite part of the slope, protected constructions, communication, industrial site buildings, automobile and railway roads, gas pipelines, electric power line, etc. can be situated. When fulfilling drilling and blasting operations at such open pits, apart from the direct earthquake effect on the constructions foundations, major pieces of rock displacement along the slopes, caused by earthquake ground motion, may constitute a threat. In the process of displacement towards the foundation of a hillside or towards the lower horizons of an open pit, the rock pieces can damage or destroy the protected constructions. In order to prevent the major pieces of rock from the displacement along the slope, it is suggested to limit the maximum value vibration velocity level with the account of shake intensity grades and corresponding ground vibration locity. The given methods can be used in every bulk explosion engineering design at the deposits with the hazard of stones falling down from the slopes and technical facilities damage.

Key words: seismology; blasting operations; safety; upland deposit; blasting parameters; accepted vibration velocity.

REFERENCES

1. Krivoruchko N. I. [Problems of industrial seismology investigations in the sphere of technological explosion seismic safety protection]. *Universum: tekhnicheskie nauki – Universum: engineering sciences*, 2013, issue 1. Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/791> (In Russ.)
2. Pergament V. Kh., Kalmykov V. N., Giterman E. N. [Forecasting estimation of vibration velocity and their correlation with the results of measurements at experimental explosions]. *Problemy i perspektivy razvitiia gornykh nauk: sb. nauch. tr. mezhd. konf. T. 1. Geomekhanika* [Proc. Int. Conf. "Problems and prospects of mining sciences development. Vol. 1. Geomechanics"]. Novosibirsk, 2005, pp. 246–252. (In Russ.)
3. Medvedev S. V. *Seismika gornykh vzryvov* [Rock burst seismology]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 188 p.
4. Umarov F. Ia., Bibik I. P. [Development of the method of blast that provides adjacent rock mass and engineering constructions in open pits safety from the earthquake effect of a blast]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2013, no. 6, pp. 235–239. (In Russ.)
5. Pergament V. Kh., Burmistrov K. V., Koloniuk A. A., Kotik M. V. [Determination of seismically secure parameters of blasting near communication situated under slopes]. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniia: sb. mater. 69-i nauch.-tekhn. konf.* [Proc. 69th Sci.-Tech. Conf. "Current problems of modern science, engineering, and education"]. Magnitogorsk, MSTU Publ., 2011, vol. 1, pp. 54–57. (In Russ.)
6. Ershov I. A., Shebalin N. V. [The problem of designing the scale of earthquake intensity from the point of view of seismologists]. *Prognoz seismicheskikh vozeistvii. Voprosy inzhenernoi seismologii – The Forecast of Earthquake Effects. The Problems of Engineering Seismology*, 1984, issue 25, pp. 78–95. (In Russ.)
7. Pergament V. Kh., Atlas A. B., Mel'nikov I. T., Suraev V. S. *Avtomatizirovannyi raschet bezopasnykh uslovii seismiki vzryvov: uch. posobie* [School book "Automated analysis of safe conditions of earthquake seismology"]. Magnitogorsk, 2010. 64 p.
8. Pergament V. Kh., Medvedev S. V., Bogatskii V. F. [The forecast of velocities of earthquake vibrations during blasting]. *Seisimobezopasnoe vzryvanie na gornykh predpriatiakh: sb. nauch. tr.* [Collected works "Seismically safe blasting at mining enterprises"]. Magnitogorsk, 1975, issue 151, pp. 3–22. (In Russ.)
9. Technical regulations of blasting at daylight surface. Moscow, Nedra Publ., 1972. 240 p. (In Russ.)

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ШАХТНЫХ ОСЕРАДИАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

КОПАЧЕВ В. Ф., АФАНАСЬЕВ А. И.

Рассмотрены основные закономерности аэродинамического расчета конструктивных решений осерадиальных вентиляторов. Предлагается создание вентиляторов с полным использованием центробежных сил, возникающих в их рабочих колесах, что означает на практике отказ от принципа радиального равновесия и переход к осерадиальному типу вентиляторов, рассчитанных на переменную циркуляцию по высоте лопаток. Произведен анализ закономерностей обеспечения радиального равновесия потока в осевых и осерадиальных машинах различных конструктивных исполнений. Приведены математические зависимости влияния основных кинематических параметров на соотношения давлений, создаваемых в рабочем колесе осерадиального вентилятора. Выполнен анализ влияния закручивания потока в рабочем колесе для различных конструктивных решений машин. Для одноступенчатых осевых и осерадиальных высоконапорных вентиляторов рационально изменить расчет лопаток рабочего колеса с принципа постоянства циркуляции по высоте на переменную величину. Предложен новый метод расчета шахтных высоконапорных вентиляторов на основе использования переменной циркуляции по высоте лопаток рабочего колеса.

Ключевые слова: аэродинамический расчет; циркуляция; осерадиальный вентилятор; высоконапорный вентилятор; математическое моделирование; вентиляция; схемы вентиляторов.

Для создания более мощных высоконапорных и производительных шахтных вентиляторов необходим переход к другим принципам аэродинамического расчета. К ним относится расчет вентиляторов смешанного принципа действия таким образом, чтобы при разработке осевой машины полностью использовались центробежные силы, возникающие в рабочем колесе, что предполагает возникновение радиальных составляющих скоростей и перетекание воздуха из одного концентрического слоя в другой.

Известно, что в турбомашине статическое давление создается за счет увеличения окружной (переносной) скорости в рабочем колесе и торможения потока в его межлопаточном канале. В первом случае давление создается за счет центробежных сил, без потерь в рабочем колесе, во втором случае – с обязательными потерями на торможение. Таким образом, предлагается создание вентиляторов с полным использованием центробежных сил, возникающих в рабочих колесах, что означает на практике отказ от принципа радиального равновесия и переход к осерадиальному типу вентиляторов [1], рассчитанных на переменную циркуляцию по высоте лопаток.

Копачев Валерий Феликсович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета городского хозяйства, доцент кафедры технической механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: u1331@yandex.ru

Афанасьев Анатолий Ильич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

В таких машинах, так же как и в осевых вентиляторах, поток выходит из колеса закрученным, т. е. находится под действием центробежных сил. Следовательно, на элементарный объем воздуха массой dm действует центробежная сила.

Эта сила приходится на поверхность $rd\varphi db$ и обуславливает статическое давление в направлении радиуса:

$$dP_{ц} = \frac{\rho r d\varphi dr db c_{2u}^2}{d\varphi db r^2} = \frac{dr}{r} \rho c_{2u}^2,$$

где ρ – плотность воздуха; c_{2u} – скорость закручивания за рабочим колесом; r – текущий радиус; $d\varphi$, dr , db – элементарные приращения центрального угла раскрытия рабочего колеса, радиуса и осевого направления потока.

В отличие от традиционных осевых машин, в которых принцип приближенного радиального равновесия потока предполагает искусственную компенсацию этого давления разностью статических давлений в соседних концентрических слоях [2], в осерадиальных машинах это давление должно использоваться для приращения общего статического давления рабочего колеса. Следовательно, конструкция колеса должна предусматривать соответствующее увеличение выходного радиуса r_2 рабочего колеса по сравнению с входным r_1 , что напрямую связано с конической втулкой и конической формой корпуса вентилятора на участке рабочего колеса [3].

Последователи Н. Е. Жуковского в своих трудах [4] сделали вывод, что при необходимости создать одноступенчатый вентилятор на высокие давления более рационально переходить от расчета колеса на постоянную циркуляцию к расчету на переменную циркуляцию; предлагается перейти от принципа обеспечения радиального равновесия потока к принципу полного использования центробежных сил в рабочем колесе для создания приращения в нем дополнительного статического давления.

Исходя из известных схем вентиляторов с меридионально-ускоренным потоком, в которых рабочее колесо только закручивает поток, не создавая статического давления [1, 5, 6], и условий, из которых рабочее колесо формирует главную часть статического давления, установим закономерность изменения скорости закручивания потока по высоте лопатки.

Эта закономерность по аналогии с записью условия обеспечения радиального равновесия в осевых машинах может быть представлена в виде

$$c_{2u} r^n = \text{const} = N, \quad (1)$$

где n – показатель степени, характеризующий закономерность изменения скорости закручивания потока воздуха по высоте лопатки.

Подставив в выражение теоретического статического давления осерадиальной турбомашин значение c_{2u} из уравнения (1), получим:

$$p_{svt} = \rho \omega r N r^{-n} - 0,5 \rho N^2 r^{-2n}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость рабочего колеса; ρ – плотность воздуха.

Произведем анализ уравнения (2) для осерадиальных машин.

Оценку эффективности изменения профиля лопаток целесообразно производить по отношению теоретического напора (p_r) к потерям давления на закручивание потока (p_0):

$$p_r / p_0 = 2\omega r^{1-n} / N r^{-2n}.$$

Для серийно выпускаемых вентиляторов ($n = 1$) это отношение имеет вид

$$p_{\tau}/p_0 = 2\omega r^2/N.$$

Для предлагаемых вентиляторов ($n = -1/2$) это отношение имеет вид

$$p_{\tau}/p_0 = 2\omega r^{0.5}/N.$$

Для вентиляторов при $n = -2/3$ это отношение имеет вид

$$p_{\tau}/p_0 = 2\omega r^{1/3}/N.$$

Закономерность изменения отношения $p_{\tau}/p_0 = f(r)$ для ($n = -1/2$) осерадиальных вентиляторов имеет более благоприятный характер, чем у осевых машин с радиальным равновесием потока ($n = 1$). Такая закономерность исключает отрицательные значения p_{svf} и позволяет использовать втулки значительно меньшего диаметра, что с учетом более высоких значений коэффициентов давления и подачи открывает широкие возможности для создания более совершенных конструкций шахтных вентиляторов местного, вспомогательного и главного проветривания, а также вентиляторов общепромышленного назначения.

Отношение теоретического напора к потерям давления на закручивание потока

N	r, м	p_{τ}/p_0			
		$n = -2/3$	$n = -1/2$	$n = 1$	$n = 3/2$
50	0,1	5,80	3,95	0,125	0,039
	0,2	7,30	5,59	0,500	0,223
	0,3	8,20	6,85	1,120	0,616
	0,4	9,20	7,90	2,000	1,260
	0,5	9,90	8,84	3,100	2,210
100	0,1	2,90	2,00	0,060	0,020
	0,2	3,65	2,80	0,250	0,110
	0,3	4,10	3,40	0,560	0,310
	0,4	4,60	3,95	1,000	0,620
	0,5	4,95	4,42	1,550	1,100
150	0,1	1,90	1,30	0,040	0,013
	0,2	2,40	1,80	0,160	0,074
	0,3	2,70	2,20	0,380	0,205
	0,4	3,06	2,60	0,660	0,400
	0,5	3,30	2,90	1,030	0,760

В таблице приведены отношения давлений p_{τ}/p_0 при показателях зависимости скорости закручивания потока n ; константы N ; радиуса r ; при плотности воздуха $1,2 \text{ кг/м}^3$, угловой скорости рабочего колеса 314 с^{-1} . Отношение давлений характеризует в определенной мере КПД закручивания потока в колесе, т. е. конструктивное совершенство вентилятора.

На рис. 1 приведены соответствующие зависимости отношения давлений p_{τ}/p_0 от параметра N .

Из рис. 1 и таблицы видно, что наибольшую величину отношения давлений p_T/p_0 и соответственно КПД закручивания потока имеет вентилятор при $n \rightarrow -1$:

$$p_T/p_0 \rightarrow 2\omega/N.$$

На рис. 2 приведены соответствующие зависимости отношения давлений от радиуса лопаток рабочего колеса.

Графики зависимости отношения давлений от радиуса лопаток рабочего колеса, приведенные на рис. 2, показывают, что в зависимости $c_{2u} r^n = N$ показатель степени n должен стремиться к -1 . В этом случае с увеличением радиуса лопатки должна увеличиваться скорость закручивания потока в колесе, а их отношение оставаться постоянным.

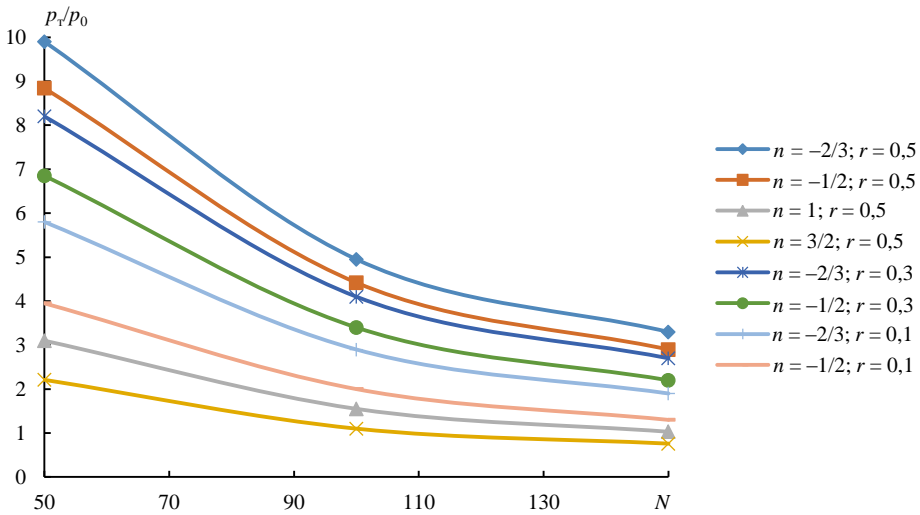


Рис. 1. Зависимости отношения давлений p_T/p_0 от параметра N

Значение константы N может быть определено из безразмерных параметров по выражению:

$$N = k_{st} \sqrt{\frac{\psi_{ц} \bar{b} (1 + \bar{d}) \pi}{2\bar{V}_{л.б}}}, \quad (3)$$

где k_{st} – коэффициент, учитывающий непостоянство геометрического профиля лопатки по высоте; $\psi_{ц}$ – центробежная составляющая коэффициента приращения статического давления в вентиляторе, \bar{b} – относительная ширина лопатки; \bar{d} – относительный диаметр втулки; $\bar{V}_{л.б}$ – относительный объем воздуха, вращающийся в лопаточном венце рабочего колеса.

Используя уравнения (2) и (3), а также уравнение Эйлера, запишем выражение для определения величины максимального радиуса лопатки:

$$2\omega N r_2^{1-n} - N^2 r_2^{-2n} = \omega^2 (r_2^2 - r_1^2) + \cos^{-2} \beta_2 (k_T^2 - 1) (\omega r_2 - N r_2^{-n})^2, \quad (4)$$

где β_2 – угол выхода потока; k_T – коэффициент торможения потока в межлопаточном канале рабочего колеса.

Определение значений c_{2a} на основании показателя n , найденного решением уравнения (4), может быть положено в основу методики аэродинамического расчета и построения профилей лопаток рабочих колес шахтных вентиляторов для различных значений r по высоте лопаток от втулки до корпуса машины, позволяющей создавать осевые и осерадиальные вентиляторы новых эффективных конструктивных решений.

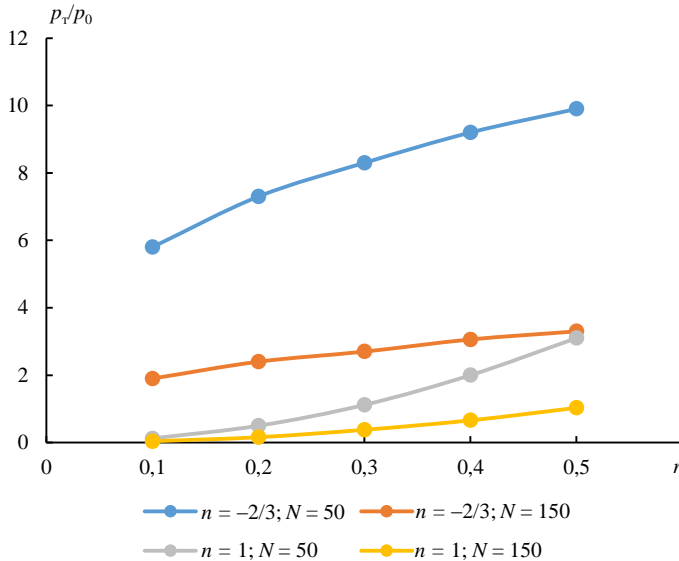


Рис. 2. Зависимости отношения давлений p_r/p_0 от радиуса лопаток рабочего колеса r

Итак, переменная (по радиусу) циркуляция позволяет повысить эффективность работы осерадиального вентилятора. Для обеспечения оптимальных соотношений теоретического напора и потерь скорость закручивания потока в рабочем колесе осерадиального вентилятора должна возрастать от втулки к периферии рабочего колеса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брусиловский И. В. Аэродинамика осевых вентиляторов. М.: Машиностроение, 1984. 240 с.
2. Жуковский Н. Е. Вихревая теория гребного винта. М.-Л.: Госуд. изд. техн.-теоретич. литер., 1950. 239 с.
3. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров / пер. с англ. М.: Мир, 2000. 688 с.
4. Ушаков К. А., Поликовский В. И., Невельсон М. И., Татаринев М. П. Рудничные вентиляторные установки. М.: ГОНТИ НКТП, 1938. 205 с.
5. Брусиловский И. В. Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов ЦАГИ: справ. пособие. М.: Недра, 1978. 198 с.
6. Ушаков К. А., Брусиловский И. В., Бушелев А. Р. Аэродинамика осевых вентиляторов и элементы их конструкции. М.: ГНТИ, 1960. 419 с.

Поступила в редакцию 2 марта 2018 года

AERODYNAMIC CALCULATION OF SHAFT AXIAL-RADIAL VENTILATORS

Kopachev V. F., Afanas'ev A. I. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: u1331@yandex.ru

The article considers the main regularities of axial-radial ventilators construction solutions aerodynamic analysis. The article suggests creating ventilators with complete utilization of centrifugal forces, appearing in their impellers, which in practice presumes rejection of the principle of radial balance and transition to the axial-radial type of ventilators, designed

for variable circulation along the height of shovels. The analysis of regularities of providing radial balance of flow in axial and axial-radial machines of various structural designs is carried out. Mathematical relations are given of the main kinematic parameters influence on the correlations of pressures, appearing in an impeller of an axial-radial ventilator. The analysis is fulfilled of the influence of flow swirl in an impeller for various construction solutions of machines. For single-stage axial and axial-radial high-pressure ventilators it is efficient to change the calculation of impeller shovels from the principle of constant circulation along the height to a variable value. A new method of calculating shaft high-pressure ventilators is suggested on the basis of using variable circulation along the height of impeller shovels.

Key words: aerodynamic calculation; circulation; axial-radial ventilator; high-pressure ventilator; mathematical modeling; ventilation; ventilation schemes.

REFERENCES

1. Brusilovskii I. V. *Aerodinamika osevykh ventilatorov* [Aerodynamics of axial ventilators]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 240 p.
 2. Zhukovskii N. E. *Vikhrevaia teoriia grebnoogo vinta* [Propeller blade swirling theory]. Moscow-Leningrad, Gosud. izd. tekhn.-teoretich. liter. Publ., 1950. 239 p.
 3. Cumpsty N. *Aerodinamika kompressorov / per. s angl.* [Compressors aerodynamics. Translation from English]. Moscow, Mir Publ., 2000. 688 p.
 4. Ushakov K. A., Polikovskii V. I., Nevel'son M. I., Tatarinov M. P. *Rudnichnye ventilatornye ustanovki* [Mining ventilation installations]. Moscow, GONTI NKTP Publ., 1938. 205 p.
 5. Brusilovskii I. V. *Aerodinamicheskie skhemy i kharakteristiki osevykh ventilatorov TsAGI: sprav. posobie* [Aerodynamic schemes and characteristics of axial ventilators TsAGI: reference book]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 198 p.
 6. Ushakov K. A., Brusilovskii I. V., Bushelev A. R. *Aerodinamika osevykh ventilatorov i elementy ikh konstruktssii* [Aerodynamics of axial ventilators and the elements of their construction]. Moscow, GNTI Publ., 1960. 419 p.
-

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ ЛЕНТЫ ДВУХПРИВОДНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

КАУНГ ПЬЕЙ АУНГ, КУБРИН С. С., ПЕВЗНЕР Л. Д., ДМИТРИЕВА В. В.

В работе представлены результаты разработки адекватной математической модели двухприводного ленточного конвейера с натяжным устройством, дополненной моделью управляемых электроприводов ленточного конвейера, и результаты моделирования, которые позволяют определять скорости движения и натяжения в характерных точках модели ленточного конвейера, что дает возможность синтезировать систему управления скоростью движения конвейерной ленты при отсутствии пробуксовки на приводных барабанах при любой скорости движения конвейера. Математическая модель позволяет наблюдать переходные процессы объекта при разных режимах работы модели движения ленты конвейера и модели натяжного устройства. Переходные процессы по скоростям сосредоточенных масс модели движения ленты конвейера получены с помощью компьютерного моделирования. Компьютерное моделирование разработанной системы проведено программными средствами Simulink.

Ключевые слова: ленточный конвейер; моделирование; движение конвейерной ленты; натяжное устройство; переходные процессы.

Ленточный конвейер является системой с распределенными параметрами. Для создания математической модели его движения принята идея кусочно-линейной аппроксимации непрерывной ленты в виде системы сосредоточенных масс, предложенная в шестидесятых годах прошлого столетия. В расчетную схему модели входят конечное число сосредоточенных масс на грузовой ветви и конечное число сосредоточенных масс на порожней ветви ленты конвейера. Модель движения ленты конвейера дополняется моделью управляемых электроприводов ленточного конвейера и моделью натяжного устройства [1–6].

Пользуясь методом кусочно-линейной аппроксимации, опишем движение конвейера системой из шести дифференциальных уравнений второго порядка, составленных по общей схеме уравнения Лагранжа второго рода. Расчетная схема для модели ленточного конвейера с двумя приводами и натяжным устройством в хвостовой части представлена, как показано на рис. 1, шестью сосредоточенными массами, три из которых m_1, m_2, m_3 расположены на грузовой ветви, две m_4, m_5 – на порожней, а m_6 представляет собой массу натяжного устройства [1–7].

Каунг Пьей Аунг – аспирант кафедры автоматизированных систем управления. 119049, г. Москва, Ленинский просп., 4, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». E-mail: kaungpyae05@gmail.com

Кубрин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией геотехнологических рисков освоения недр. 111020, г. Москва, Крюковский туп., 4, Институт проблем комплексного освоения недр РАН. E-mail: s_kubrin@mail.ru

Певзнер Леонид Давидович – доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем. 119454, г. Москва, просп. Вернадского, 78, Московский институт радиотехники, электроники и автоматики. E-mail: lpevzner@msmu.ru

Дмитриева Валерия Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности. 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, Российский государственный университет нефти и газа. E-mail: dm_valeriya@msmu.ru

В качестве переменных в расчетной схеме приняты координаты положения шести масс и их скорости $s_i(t)$, $\dot{s}_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$, в том числе s_6 , \dot{s}_6 – положение и скорость перемещения натяжного груза. В качестве обобщенных координат x_i приняты перемещения s_i и скорости перемещения \dot{s}_i сосредоточенных масс m_i , $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

Конечномерная математическая модель движения конвейера с грузом описывается в обобщенных координатах перемещения и скорости перемещения сосредоточенных масс соответственно: $x_i(t) = s_i(t)$, $\dot{x}_i(t) = \dot{s}_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$. Модель составлена по общей схеме уравнений Лагранжа второго рода, но с учетом того, что для расчетной схемы, представленной на рис. 1, кинетическая энергия системы является функцией только обобщенных скоростей, поэтому для применения метода Лагранжа использованы уравнения в виде:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial}{\partial \dot{s}_i} T(x_i, \dot{x}_i) \right) + \frac{\partial}{\partial s_i} \Pi(x_i) + \frac{\partial}{\partial s_i} A(x_i) = 0, \quad i = \overline{1, 6},$$

где $T(\dot{x}_i)$ – кинетическая энергия i -го участка; $\Pi(x_i)$ – потенциальная энергия этого участка; $A(x_i)$ – работа внешних сил на этом участке.

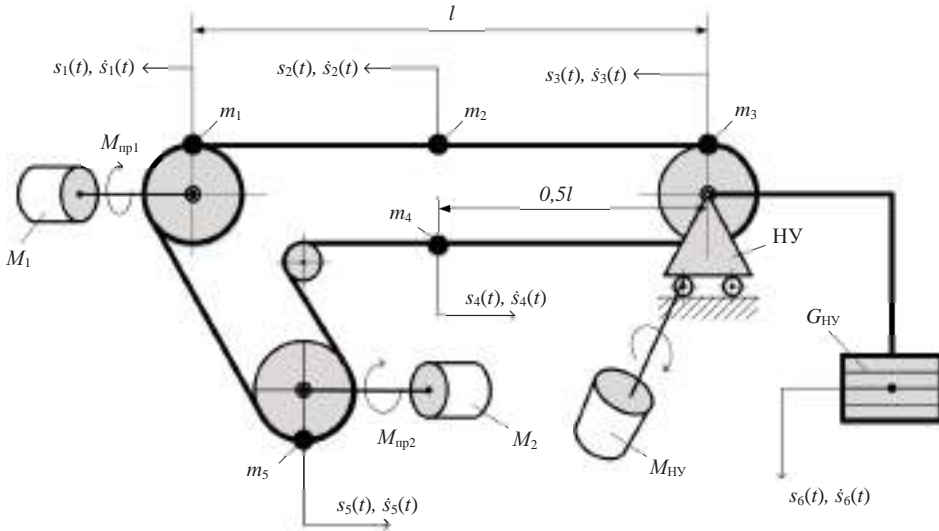


Рис. 1. Расчетная схема ленточного конвейера с двумя приводами:
НУ – натяжное устройство

Кинетическая энергия ленты и груза, равномерно распределенного на соответствующем участке между точками i и $j = i + 1$, представлена выражением:

$$T(\dot{x}_i, \dot{x}_j) = \frac{G_{ij}}{6g} (\dot{x}_i^2 + \dot{x}_i \dot{x}_j + \dot{x}_j^2),$$

где G_{ij} – вес ленты, роlikоопор и груза на участке между точками i и j ; l_{ij} – длина участка; g – ускорение свободного падения. Потенциальная энергия участка ij длиной l_{ij} складывается из энергии упругих деформаций и потенциальной энергии замкнутого контура ленты с распределенной массой:

$$\Pi_{ij}(x_i, x_j) = c_{ij} \frac{(x_i - x_j)^2}{2} + G_{ij} l_{ij} \frac{x_i + x_j}{2} \sin \beta,$$

где c_{ij} – жесткость участка; β – угол наклона конвейера к горизонту.

Работа внешних сил на участке ij определяется суммой сил сопротивления движению и движущей силы привода, которая находится из выражений:

$$A_{ij}(x_i, x_j) = G_{ij}l_{ij}\mu \frac{x_i + x_j}{2} \cos \beta; \quad A_{\text{пр}} = -\frac{M_{\text{пр1}}}{R_{61}}x_1 - \frac{M_{\text{пр2}}}{R_{62}}x_5,$$

где μ – коэффициент сопротивления движению; $M_{\text{пр1}}$ и $M_{\text{пр2}}$ – движущие моменты приводов, приведенные к радиусам R_{61} , R_{62} приводных барабанов.

Работа сил внутреннего трения на участке ij определяется из предположения, что силы внутреннего трения пропорциональны скоростям деформации:

$$A_{ij}(x_i, \dot{x}_i) = 0,5\eta \left[(\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1})(x_i - x_{i+1}) + (\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1})(x_i - x_{i-1}) \right],$$

где η – коэффициент вязкости ленты.

После соответствующих преобразований математическая модель движения загруженной ленты конвейера с двумя приводами и натяжным устройством может быть представлена системой из шести нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} (2m_r + 2m_m + m_{\text{пр1}})\ddot{x}_1 + m_r\ddot{x}_2 + m_n\ddot{x}_5 + 2\eta\dot{x}_1 - \eta\dot{x}_2 - \eta\dot{x}_5 + 2Cx_1 - Cx_2 - Cx_5 + \\ + 0,5(G_r l + G_n l_m)\mu \operatorname{sgn} \dot{x}_1 = \frac{M_{\text{пр1}}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{c1} - \dot{x}_1); \\ m_r\ddot{x}_1 + 4m_r\ddot{x}_2 + m_r\ddot{x}_3 - \eta\dot{x}_1 + 2\eta\dot{x}_2 - \eta\dot{x}_3 - Cx_1 + 2Cx_2 - Cx_3 + G_r l \mu \operatorname{sgn} \dot{x}_2 = 0; \\ m_r\ddot{x}_2 + (2m_r + 2m_n)\ddot{x}_3 + m_n\ddot{x}_4 - \eta\dot{x}_2 + 2\eta\dot{x}_3 - \eta\dot{x}_4 - Cx_2 + (2C + 0,25C_k)x_3 - \\ - (C + 0,25C_k)x_4 - 0,5C_k x_6 + 0,5(G_r + G_n)l\mu \operatorname{sgn} \dot{x}_3 = 0; \\ m_n\ddot{x}_3 + 4m_n\ddot{x}_4 + m_n\ddot{x}_5 - \eta\dot{x}_3 + 2\eta\dot{x}_4 - \eta\dot{x}_5 - (C + 0,25C_k)x_3 + (2C + 0,25C_k)x_4 - \\ - Cx_5 + G_n l \mu \operatorname{sgn} \dot{x}_4 = 0; \\ m_m\ddot{x}_1 + m_n\ddot{x}_4 + (2m_n + 2m_m + m_{\text{пр2}})\ddot{x}_5 - \eta\dot{x}_1 - \eta\dot{x}_4 + 2\eta\dot{x}_5 - Cx_1 - Cx_4 + 2Cx_5 + \\ + 0,5(G_n l + G_n l_m)\mu \operatorname{sgn} \dot{x}_5 = \frac{M_{\text{пр2}}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{c2} - \dot{x}_5); \\ \frac{G_{\text{гв}}}{g} \ddot{x}_6 - 0,5C_k x_3 + 0,5C_k x_4 + C_k x_6 + G_{\text{гв}} + G_{\text{гв}} f \operatorname{sgn} \dot{x}_6 = 0, \end{array} \right.$$

где буквы «г», «п», «м» в индексе обозначают соответственно «грузовой», «порожный», «промежуточный»; f – коэффициент сопротивления движению натяжных грузов.

В целях дальнейшего использования для задач синтеза систем управления составлено матричное представление этой математической модели относительно обобщенного вектора перемещения: $X = (x_1, x_2, \dots, x_6)^T$, которое принимает вид:

$$M\ddot{X} + N\dot{X} + CX + S \operatorname{sgn} \dot{X} + VG_{\text{гв}} = P_1 \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_1)M_{\text{пр1}} + P_2 \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - X_5)M_{\text{пр2}},$$

где

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 2m_r + 2m_m + m_{pp1} & m_r & 0 & 0 & m_m & 0 \\ m_r & 4m_r & m_r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_r & 2m_r + 2m_n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_n & 4m_n & m_n & 0 \\ m_m & 0 & 0 & m_n & 2m_n + 2m_m + m_{pp2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{G_{HY}}{g} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} 2\eta & -\eta & 0 & 0 & -\eta & 0 \\ -\eta & 2\eta & -\eta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\eta & 2\eta & -\eta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\eta & 2\eta & -\eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\eta & 2\eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 2C & -C & 0 & 0 & -C & 0 \\ -C & 2C & -C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -C & 2C + 0,25C_k & -C - 0,25C_k & 0 & -0,5C_k \\ 0 & 0 & -C - 0,25C_k & 2C + 0,25C_k & -C & 0,5C_k \\ -C & 0 & 0 & -C & 2C & 0 \\ 0 & 0 & -0,5C_k & 0,5C_k & 0 & C_k \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{S} = \text{diag}(0,5(G_r l + G_n l_m)\mu \quad G_r l\mu \quad 0,5(G_r + G_n)l\mu \quad G_n l\mu \quad 0,5(G_n l + G_n l_m)\mu \quad G_{HY}f),$$

$$\mathbf{P}_1 = [R_6^{-1} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T, \quad \mathbf{P}_2 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad R_6^{-1} \quad 0]^T,$$

$$\mathbf{V} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]^T.$$

В этом представлении: l – длина конвейера; G_{HY} – вес натяжного устройства; M_{pp1} и M_{pp2} – движущие моменты приводов и барабанов; M_{HY} – движущий момент привода натяжного устройства; η – коэффициент вязкости ленты; C – коэффициент жесткости ленты; μ – коэффициент сопротивления движению; C_k – коэффициент жесткости каната; R_6 – радиусы приводных барабанов; l_m – длина каната натяжного устройства.

Для последующего синтеза системы управления и упрощения процедуры моделирования выполнено представление модели движения конвейерной ленты в пространстве состояний согласно каноническому правилу Коши в виде нелинейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$\dot{X} = -\mathbf{M}^{-1}((\mathbf{N} + \mathbf{C})X + \mathbf{S} \text{sgn } X + \mathbf{V}G_{HY} + \mathbf{P}_1 \text{sgn}(\dot{x}_{c1} - \dot{x}_1)M_{pp1} + \mathbf{P}_2 \text{sgn}(\dot{x}_{c1} - \dot{x}_5)M_{pp2}).$$

В модели внешними воздействиями являются движущие моменты, развиваемые двумя приводами $u_1(t) = M_{pp1}(t)$; $u_2(t) = M_{pp2}(t)$, силы сопротивления движению конвейерной ленты $u_3(t) = \text{sgn } \dot{x}(t)$ и вес натяжного устройства $u_4(t) = G_{HY}(t)$.

В этом случае матрица $-\mathbf{M}^{-1}(\mathbf{N} + \mathbf{C}) = \mathbf{A}$ является матрицей состояния системы, а матрицы $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{P}_1 = \mathbf{B}_1$; $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{P}_2 = \mathbf{B}_2$; $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{S} = \mathbf{B}_3$; $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{V} = \mathbf{B}_4$ – это составляющие матрицы управления.

Матричное представление математической модели движения ленточного конвейера принимает вид:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_{c1} - \dot{x}_1)u_1 + \mathbf{B}_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_{c1} - \dot{x}_5)u_2 + \mathbf{B}_3u_3 + \mathbf{B}_4u_4,$$

в которой

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{E}_{6 \times 6} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{C}_{6 \times 6} & -\mathbf{M}\mathbf{N}_{6 \times 6} \end{pmatrix}_{12 \times 12}; \mathbf{B}_1 = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_{6 \times 1} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{P}_{1 \ 6 \times 1} \end{pmatrix}_{12 \times 1};$$

$$\mathbf{B}_2 = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_{6 \times 1} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{P}_{2 \ 6 \times 1} \end{pmatrix}_{12 \times 1}; \mathbf{B}_3 = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_{6 \times 1} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{S}_{6 \times 1} \end{pmatrix}; \mathbf{B}_4 = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_{6 \times 1} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{V}_{6 \times 1} \end{pmatrix}.$$

Исследование составленной математической модели движения ленты двух-приводного конвейера с целью проверки ее адекватности реальным процессам проводилось моделированием движения ленты с грузом для конвейера 2Л100У-01 программными средствами. Был использован блок, позволяющий задать внутреннюю модель движения конвейерной ленты, блок, объединяющий управляющие воздействия в вектор $U = (u_1, u_2, u_3, u_4)^T$. Для моделирования приводов использовались готовые модели асинхронных короткозамкнутых приводов с частотно-векторным управлением. Схема моделирования приведена на рис. 2.

Моделирование проводилось для числовых значений параметров ленточного конвейера 2Л100У-01.

Технические данные модели

Длина ленты l , м	1500
Масса участка грузовой ветви m_r , кг	1518,5
Масса участка порожней ветви m_p , кг	352,5
Масса участков на промежуточной ветви m_m , кг	2,4
Масса первого привода $m_{пр1}$, кг	3000
Масса второго привода $m_{пр2}$, кг	2000
Момент, создаваемый на первом приводном барабане, $M_{пр1}$, Н·м	20 900
Момент, создаваемый на втором приводном барабане, $M_{пр2}$, Н·м	20 900
Вес груза натяжного устройства $G_{НУ}$, Н	52 000
Радиус приводных барабанов R_b , м	0,5
Вязкость ленты с грузом η , Н·с/м	4000
Жесткость ленты C , Н/м	10 000
Жесткость канатов натяжного устройства C_k , Н/м	10^{10}
Коэффициент сопротивления движению μ	0,03
Коэффициент сопротивления движению натяжных грузов f	0,3

Матрицы $\mathbf{M}, \mathbf{N}, \mathbf{C}, \mathbf{S}, \mathbf{V}, \mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2$ системы уравнений математической модели принимают вид:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 6040 & 1518,5 & 0 & 0 & 352 & 0 \\ 1518,5 & 6072 & 1518,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1518,5 & 3740 & 352 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 352 & 1408 & 352 & 0 \\ 2,4 & 0 & 0 & 352 & 2708 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5200 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} 8000 & -4000 & 0 & 0 & -4000 & 0 \\ -4000 & 8000 & -4000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4000 & 2200 & -4000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -4000 & 8000 & -4000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -4000 & 8000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 20000 & -10000 & 0 & 0 & -10000 & 0 \\ -10000 & 20000 & -10000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -10000 & 25000 & 20000 & -25000 & 10000 & 0 & -5000000000 \\ 0 & 0 & -25000 & 10000 & 25000 & 20000 & -10000 & 5000000000 \\ -10000 & 0 & 0 & -10000 & 20000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -5000000000 & 5000000000 & 0 & 0 & 10000000000 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{S} = \text{diag}[1341,4 \quad 2678,6 \quad 1650,2 \quad 621,8 \quad 313 \quad 15600];$$

$$\mathbf{P}_1 = [2 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]; \quad \mathbf{P}_2 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 2 \quad 0];$$

$$\mathbf{V} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 52000].$$

Результатами компьютерного моделирования явились переходные процессы по скоростям обобщенных координат ленты и натяжного устройства, представленные на рис. 3. Графики соответствуют режиму разгона и режиму работы конвейера с постоянной скоростью. Полученные кривые сравнивались качественно

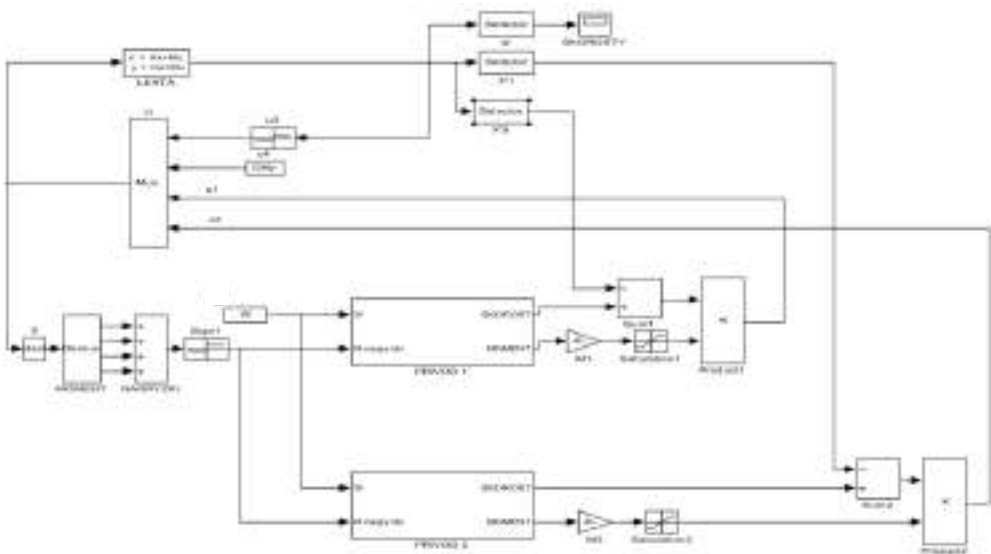


Рис. 2. Схема моделирования движения ленты двухприводного конвейера 2Л100У-01

и количественно с переходными процессами пуска и равномерного движения реального конвейера того же класса. Величина отличия переходных процессов определялась как интегральный квадрат разности этих кривых на достаточно

длительном интервале времени. Эта величина не превысила 8–10 %, что подтверждает заключение об адекватности разработанной модели движения ленты двухприводного конвейера.

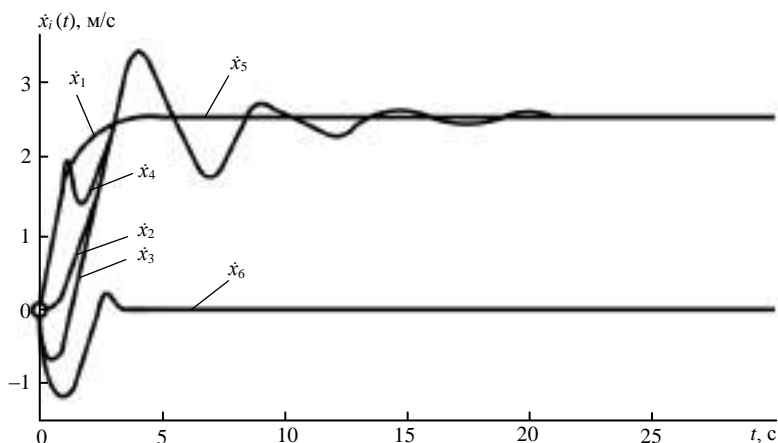


Рис. 3. Переходные процессы по скоростям обобщенных координат при пуске конвейера со скоростью 2,5 м/с

Разработанная модель движения ленты позволяет определять значения скорости движения и натяжения ленты в характерных точках конвейера, что дает возможность использовать эти координаты при разработке системы автоматического управления скоростью движения конвейерной ленты для исключения пробуксовки на приводных барабанах и равномерного распределения нагрузки на ленте при любой скорости движения конвейера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахмейстер Л. Г., Дмитриев В. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. М.: Машиностроение, 1987. 336 с.
2. Галкин В. И., Дмитриев В. Г., Дьяченко В. П., Запенин И. В., Шешко Е. Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. М.: МГГУ, 2005. 543 с.
3. Дмитриева В. В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера: дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 125 с.
4. Дмитриева В. В., Певзнер Л. Д. Автоматическая стабилизация погонной нагрузки ленточного конвейера. М.: МГГУ, 2004. 25 с.
5. Дмитриева В. В. Современные задачи автоматизации ленточного конвейера. ГИАБ. 2014. № 3. С. 65–72.
6. Безбородова М. И. Разработка системы управления скоростью движения конвейерной ленты. ГИАБ. 2006. С. 221–224.
7. Галкин В. И., Шешко Е. Е. Транспортные машины. М.: Горная книга, 2010. 588 с.
8. Ленточный конвейер – устройство, применение. URL: <http://promplace.ru> (дата обращения: 1.11.2017).
9. Quang N. P., Dittrich J.-A. Vector control of three-phase AC machines. Publisher: Springer. ISBN: 978-3-540-79028-0, 2015. P. 61–63.
10. Springer handbook of automation. Publisher: Springer. ISBN: 978-3-540-78830-0. DOI: 10.1007/978-3-540-78831-7, 2009. P. 154–168.
11. Kaung Pyae Aung, Dmitrieva V. V. Maintaining traction factor value of belt conveyor with two-engine drive: 3rd Int. Conf. on Advances in Mechanical and Automation Engineering MAE 2015. Rome, Italy. ISBN: 978-1-63248-080-4. DOI: 10.15224/978-1-63248-080-4-73. P. 45–48.

Поступила в редакцию 7 декабря 2017 года

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE SPEED OF THE BELT OF A TWO-DRIVE BELT CONVEYOR

Kubrin S. S. – Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of RAS, Moscow, the Russian Federation. E-mail: s_kubrin@mail.ru

Pevzner L. D. – Moscow Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation (MIREA), Moscow, the Russian Federation. E-mail: lpevzner@msmu.ru

Dmitrieva V. V. – Russian State University of Oil and Gas named after I. M. Gubkin (RSU), Moscow, the Russian Federation. E-mail: dm_valeriya@msmu.ru

The paper presents the development of an adequate mathematical model of a two-drive belt conveyor with tensioning device, complemented by the model of the controlled electric drives of the belt conveyor, and also the simulation results that allow to determine the speeds and tensions at characteristic points of the belt conveyor model, which will make it possible to synthesize the speed control system of the conveyor belt if there is no slipping on the drive drums at any conveyor speed. Mathematical model allows observing transient processes of an object at various modes of operation of conveyor belt motion and the model of tensioning device. Transient processes on the velocities of the concentrated masses of the conveyor belt motion model were obtained by computer simulation. Computer simulation of the developed system was carried out using Simulink software.

Key words: belt conveyor; modeling; conveyor belt motion; tensioning device; transient processes.

REFERENCES

1. Shakhmeister L. G., Dmitriev V. G. *Teoriia i raschet lentochnykh konveierov* [Theory and calculation of belt conveyors]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 336 p.
2. Galkin V. I., Dmitriev V. G., D'iachenko V. P., Zapenin I. V., Sheshko E. E. *Sovremennaia teoriia lentochnykh konveierov gornyykh predpriyatii* [Modern theory of belt conveyors of mining enterprises]. Moscow, MSMU, 2005. 543 p.
3. Dmitrieva V. V. *Razrabotka i issledovanie sistemy avtomaticheskoi stabilizatsii pogonnoi nagruzki magistral'nogo konveiera: dis. kand. tekhn. nauk* [Development and investigation of the system of automated stabilization of main conveyor unit load. Cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 2005. 125 p.
4. Dmitrieva V. V., Pevzner L. D. *Avtomaticheskaiia stabilizatsiia pogonnoi nagruzki lentochnogo konveiera* [Automated stabilization of belt conveyor unit load]. Moscow, MSMU Publ., 2004. 25 p.
5. Dmitrieva V. V. [Modern aims of belt conveyor automation]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2014, no. 3, pp. 65–72. (In Russ.)
6. Bezborodova M. I. [Development of the system of conveyor belt speed control system]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2006, pp. 221–224. (In Russ.)
7. Galkin V. I., Sheshko E. E. *Transportnye mashiny* [Transport machines]. Moscow, Gornaia kniga Publ., 2010. 588 p.
8. Belt conveyor – structure, application. Available at: <http://promplace.ru> (access date 1.11.2017). (In Russ.)
9. Quang N. P., Dittrich J.-A. *Vector control of three-phase AC machines*. Publisher Springer, 2015, pp. 61–63.
10. *Springer Handbook of Automation*. Publisher Springer, 2009, pp. 154–168.
11. Kaung Pyae Aung, Dmitrieva V. V. Maintaining traction factor value of belt conveyor with two-engine drive. 3rd Int. Conf. on Advances in Mechanical and Automation Engineering MAE 2015. Rome, Italy, pp. 45–48.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОГНЕВОМ ДНИЩЕ КРЫШКИ ЦИЛИНДРА ДИЗЕЛЯ ГОРНОТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

ГУТАРЕВИЧ В. О., РЯБКО Е. В.

Разрушение крышек цилиндров дизелей шахтных подвесных локомотивов или наземного горного транспорта сопровождается образованием сквозных трещин в огневом днище. Для разработки мероприятий, направленных на повышение надежности деталей цилиндропоршневой группы дизелей горнотранспортных машин необходимо выполнить расчет механических напряжений в огневом днище крышки цилиндров. Крышка цилиндра дизельного двигателя горнотранспортной машины представляет собой сложную форму, огневое днище которой можно представить в виде круглой пластины, имеющей четыре круглых отверстия (в некоторых случаях два). Воздействие давления на огневое днище крышки цилиндра дизеля горнотранспортной машины можно сравнить с влиянием распределенных нагрузок на круглые пластины. В статье рассмотрена методика расчета механических напряжений в огневом днище крышки цилиндров дизеля горнотранспортной машины. Для изучения явления возникновения механических напряжений в деталях дизеля горнотранспортных машин за счет их прогрева целесообразно использовать конечно-разностную схему комплекса программ ANSYS.

Ключевые слова: горнотранспортная машина; дизельный двигатель; крышка цилиндра; температурные напряжения; взаимодействие сил; конечно-элементная модель.

В настоящее время шахтные подвесные дороги с дизельвозами находят все большее применение в горной промышленности. Благодаря дизельному приводу они могут осуществлять перевозки по искривленным выработкам со знакопеременным профилем и углами наклона более 15° [1, 2]. Однако тяжелые условия эксплуатации оказывают пагубное воздействие на работу дизеля, приводят к его перегреву и появлению трещин в огневом днище, а также к разрушению крышек цилиндров. Это в полной мере относится не только к монорельсовым дизельвозам, но и к другим дизельным приводам горнотранспортных машин.

Природа образования трещин заключается в их усталостном развитии вследствие того, что огневое днище испытывает знакопеременные нагрузки. При этом знакопеременные нагрузки возникают как от циклических и малоцикловых изменений температуры деталей дизеля, так и от действия механических сил давления газов в цилиндре. В некоторых случаях возможен преждевременный выход из строя крышки цилиндров или головки блока вследствие перегревов или несоблюдения установленного температурного режима. Для разработки мероприятий, направленных на повышение надежности деталей цилиндропоршневой группы дизелей горнотранспортных машин необходимо выполнить расчет механических напряжений в огневом днище крышки цилиндров.

Крышка цилиндра дизельного двигателя горнотранспортной машины имеет сложную форму: ее огневое днище можно представить в виде круглой пластины, имеющей четыре круглых отверстия (в некоторых случаях – два). С принятыми упрощениями огневое днище можно представить в виде, изображенном на рис. 1.

На огневое днище воздействует среднеиндикаторное давление газов, достигающее 2 МПа и более. Наряду с этим присутствуют и большие значения давления

Гутаревич Виктор Олегович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры горнозаводского транспорта и логистики. 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, Донецкий национальный технический университет. E-mail: viktor.gutarevich@mail.ru

Рябко Евгения Владимировна – инженер первой категории. 283018, г. Донецк, ул. Горная, 6, Донецкий институт железнодорожного транспорта. E-mail: railroader@yandex.ru

рабочих газов 12–15 МПа, при этом продолжительность их воздействия составляет менее 10 % продолжительности цикла в цилиндре дизельного двигателя.

Для среднеоборотных двигателей продолжительность цикла в цилиндре составляет 0,12 с, тогда продолжительность воздействия газов на огневое днище с максимальным давлением сгорания будет составлять примерно 0,01 с с повторением через каждые 0,12 с. Для форсированных высокооборотных дизелей шахтных подвесных локомотивов типа Z1303-turbo и Z1404-turbo продолжительность цикла протекает гораздо быстрее.

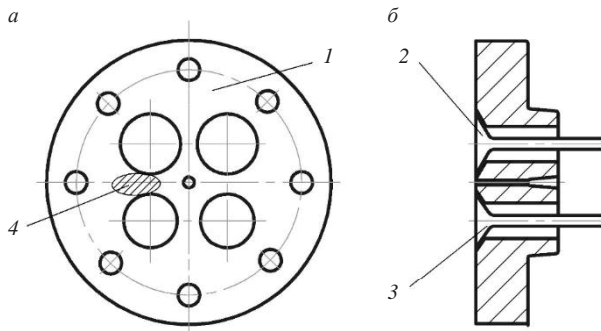


Рис. 1. Схема огневого днища крышки цилиндра:
а – общий вид; б – разрез по клапанным отверстиям; 1 – крышка цилиндра; 2 – впускной клапан; 3 – выпускной клапан; 4 – зона появления усталостных трещин

Огневое днище с такой же периодичностью подвергается воздействию горячих газов с температурой, как правило, выше 1000 °С.

Такое воздействие температуры формирует в огневом днище большие знакопеременные градиенты температур по толщине стенки со стороны камеры сгорания.

При этом при прогреве поверхности огневого днища в ней возникают напряжения сжатия, а при охлаждении – напряжения растяжения.

Согласно теории термоупругости [3], напряжения сжатия или растяжения тем больше, чем больше значения градиентов температур по толщине стенки. Для определения напряжений в огневом днище необходимо изучить закономерности распределения температурных полей, определить значения градиентов температур в нем и значений напряжений сжатия и растяжения.

Появлению напряжений в огневом днище способствует также давление газов. При воздействии высоких давлений (за счет некоторого изгиба огневого днища) возникают напряжения сжатия.

Воздействие давления на огневое днище крышки цилиндра горнотранспортной машины можно сравнить с влиянием распределенных нагрузок на круглые пластины. Как показано в работах [4, 5], распределенные или сосредоточенные нагрузки вызывают в тонкой пластине изгиб с небольшим прогибом ω и соответственно напряжения растяжения.

Схема изгиба круглой пластины под воздействием распределенной нагрузки показана на рис. 2 [5].

Кривизна в некоторой точке пластины выражается соотношением:

$$\frac{1}{\rho_1} = \frac{d^2\omega}{dr^2}, \quad (1)$$

где ρ_1 – радиус изгиба по радиусу r круглой пластины; ω – прогиб пластины в некоторой точке на расстоянии r от ее центра.

Потенциальная кривизна поверхности пластины в направлении, перпендикулярном радиусу r , выражается уравнением:

$$\frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{r} \frac{d\omega}{dr}, \quad (2)$$

где ρ_2 – радиус кривизны по периметру с радиусом r .

Прогиб пластины вызывает в ней нормальные напряжения растяжения σ_r – по радиусу и σ_τ – тангенциальное напряжение:

$$\sigma_r = \frac{E z}{1-\mu^2} \left(\frac{d\varphi}{dr} + \mu \frac{\varphi}{r} \right); \quad (3)$$

$$\sigma_\tau = \frac{E z}{1-\mu^2} \left(\frac{\varphi}{r} + \mu \frac{d\varphi}{dr} \right), \quad (4)$$

где E – модуль Юнга; z – прогиб в центре пластины; φ – угол прогиба на расстоянии r от центра пластины.

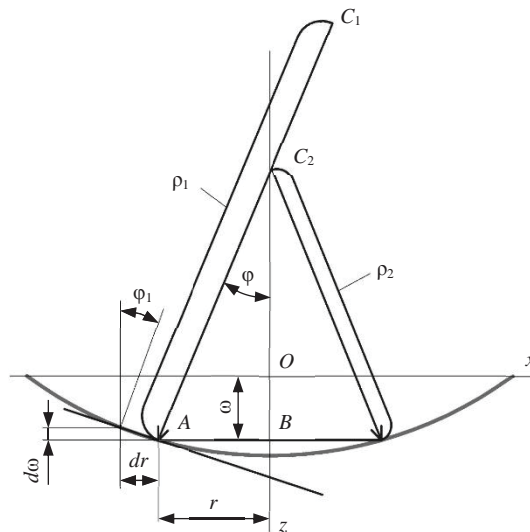


Рис. 2. Элементы круглой пластины при нагружении распределенной нагрузкой:

C_1 – центр окружности с радиусом ρ_1 ; C_2 – центр окружности с радиусом ρ_2 ; ρ_1 – радиус изгиба по радиусу r круглой пластины; ρ_2 – радиус кривизны по периметру с радиусом r ; A, B – характерные точки на круглой пластине

Кроме нормальных напряжений σ_r и σ_τ (формулы (3) и (4)) распределенные нагрузки вызывают касательные напряжения в плоскости $r z$ (рис. 3) [5, 6].

По данным [5], равнодействующая касательных напряжений равна поперечной силе $Q = \tau_{rz} \cdot r \cdot d\varphi \cdot h$, которая играет важную роль в уравнениях равновесия элемента пластины (здесь h – толщина пластины).

Нормальные напряжения σ_r и σ_τ вызывают изгибающие моменты M_r и M_τ . Схема действия этих моментов показана на рис. 4 [5].

В общем случае изгибающие моменты M_r и M_t определяются по формулам:

$$M_r = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_r \cdot z \cdot dz; \quad M_t = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_t \cdot z \cdot dz. \quad (5)$$

После подстановки в интегралы (5) значений нормальных напряжений σ_r и σ_t по формулам (3) и (4) получаем, в частности, следующие выражения для момента M_r :

$$\begin{aligned} M_r &= \int_{-h/2}^{+h/2} \frac{Ez^2}{1-\mu^2} \left(\frac{d\varphi}{dr} + \mu \frac{\varphi}{r} \right) dz = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{d\varphi}{dr} + \mu \frac{\varphi}{r} \right) \frac{z^3}{3} \Big|_{-h/2}^{+h/2} = \\ &= \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{d\varphi}{dr} + \mu \frac{\varphi}{r} \right) = D \left(\frac{d\varphi}{dr} + \mu \frac{\varphi}{r} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

где $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{d\varphi}{dr} + \mu \frac{\varphi}{r} \right)$ – цилиндрическая жесткость.

Для момента M_t можно получить зависимость, аналогичную зависимости (6).

Уравнения (1)–(6) будут иметь место и для пластины с отверстиями. При этом взаимодействие сил на границе отверстий должно быть задано в виде граничных условий. В рассматриваемом случае для решения задачи определения напряжений в пластине огневого днища крышки цилиндра горнотранспортной машины необходимо эти граничные условия выразить в аналитической форме.

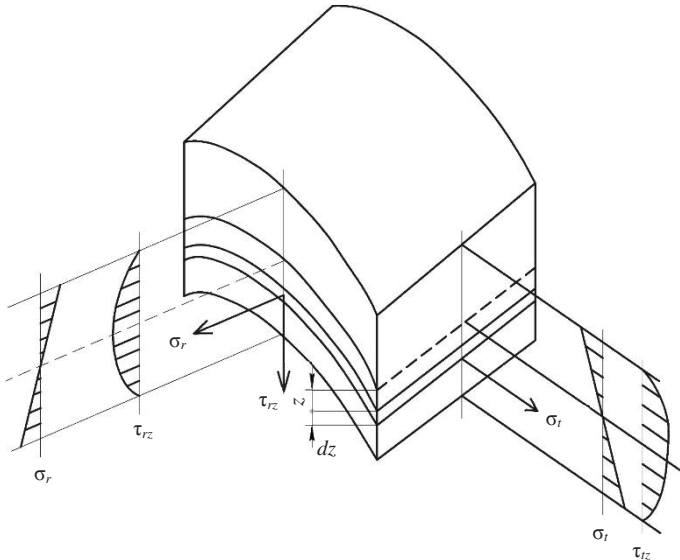


Рис. 3. Схема распределения касательных напряжений в плоской пластине

Выделим элемент периметра отверстия, как показано на рис. 5, и определим силы, действующие на этот элемент.

На выделенный элемент действует распределенная нагрузка от давления газов. При этом часть нагрузки, действующей на клапан, можно считать распределенной по периметру седла.

Общая ее величина

$$F_{\text{общ}} = SP = \frac{\pi d^2}{4} P,$$

где S – площадь клапана и его седла; d – диаметр седла.

Распределенная по периметру клапанного седла нагрузка составит:

$$\frac{F - F_{\text{общ}}}{\pi d} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4} P. \quad (7)$$

Сила F , определенная по формуле (7), будет срезающей по отношению к остальной части крышки цилиндра.

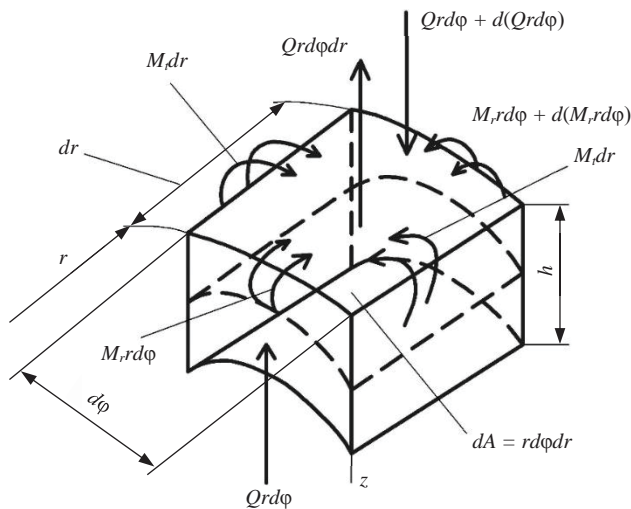


Рис. 4. Схема изгибающих моментов M_r и M_t

Примем допущение, что седло клапана под действием внешней нагрузки (давления газов) не деформируется, однако при его нагревании возникают внутренние напряжения P_1 . Эти силы, в свою очередь, формируют распределенную силу P_2 , действующую на огневое днище.

Таким образом, наличие отверстий в огневом днище можно учитывать действием на плоскость крышки цилиндра двух сил: срезающей силы F и радиальной силы P_2 , сформированной за счет линейного расширения седла клапана на кромке отверстий в огневом днище.

Учитывая то, что отверстий в огневом днище не одно, а четыре (для некоторых дизелей горных машин – два), совместное решение основных уравнений (3)–(6) и граничных условий на кромках отверстий в аналитической форме невозможно [7].

Для изучения явления возникновения механических напряжений в деталях дизеля горнотранспортных машин за счет их прогрева целесообразно использовать конечно-разностную схему комплекса программ ANSYS. В процессе исследований температурных полей и полей механических напряжений целесообразно принимать среднюю за цикл температуру газов и среднее за цикл значение суммарного коэффициента теплоотдачи α_{Σ} . Так, например, средняя за цикл температура поверхности крышки цилиндра лежит в пределах 300–350 °С [8].

В системе прочностного анализа ANSYS разработана конечно-элементная модель крышки цилиндра. Составлены алгоритмы расчета в виде отдельных подпрограмм. В качестве внешних нагрузок, действующих на крышку, принимается температура и рабочее давление газов в цилиндре. При расчете напряженного состояния задается температура на поверхностях днища и на внешних поверхностях крышки. Производится расчет температурного поля по всему объему крышки. При этом объем крышки разбивался на конечные термоэлементы SOLID90. Затем выполнялся прочностной расчет. Термоэлементы заменялись соответствующими им прочностными элементами SOLID186. Было установлено, что уровень расчетных температур газов в цилиндре значительно влияет на напряжения в огневом днище крышки цилиндров. Так, снижение расчетной температуры с 300 до 250 °С приводит к снижению напряжений в огневом днище на 24 %. Напряжения от рабочего давления газов в цилиндре на порядок ниже температурных напряжений.

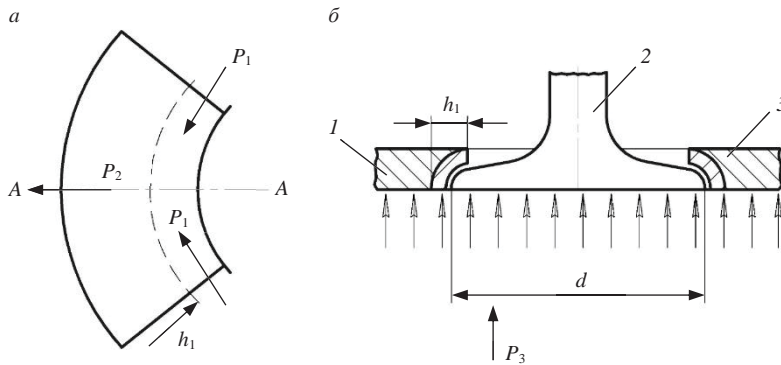


Рис. 5. Схема взаимодействия сил на сопряжении огневого днища крышки цилиндра горнотранспортной машины с седлом клапана на границе отверстия: *а* – часть огневого днища в плане; *б* – разрез огневого днища; 1 – пластина огневого днища между клапанными отверстиями; 2 – клапан; 3 – седло клапана

В статье рассмотрена методика расчета механических напряжений в огневом днище крышки цилиндра дизеля горнотранспортной машины. Воздействие давления на огневое днище крышки цилиндра дизеля горнотранспортной машины можно сравнить с влиянием распределенных нагрузок на круглые пластины.

Для изучения явления возникновения механических напряжений в деталях дизеля горнотранспортных машин за счет их прогрева целесообразно использовать конечно-разностную схему комплекса программ ANSYS. Составлены алгоритмы расчета в виде отдельных подпрограмм. Получена конечно-элементная модель крышки цилиндра дизеля карьерного тепловоза. Уровень расчетных температур газов в цилиндре значительно влияет на напряжения в огневом днище, снижение расчетной температуры с 300 до 250 °С приводит к снижению напряжений в огневом днище на 24 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баус-Нойфанг Б., Великанов Д. В., Русинек Ю. Подвесные и напочвенные дизель-гидравлические локомотивы для ремонтных механизированных комплексов «тяжелого» класса // Уголь. 2011. № 2. С. 9–21.
2. Гутаревич В. О. Динамика шахтных подвесных монорельсовых дорог. Донецк: ЛАНДОН-XXI, 2014. 205 с.
3. Коваленко А. Д. Основы термоупругости. Киев: Наукова думка, 1970. 308 с.
4. Чижевский К. Г. Расчет круглых и кольцевых пластин. Л.: Машиностроение, 1977. 184 с.
5. Громовик А. И. Расчет круглых пластин. Омск: СибАДИ, 2011. 33 с.
6. Бояршинов С. В. Основы строительной механики машин. М.: Машиностроение, 1973. 453 с.

7. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания / Н. Х. Дьяченко [и др.]. Л.: Машиностроение, 1979. 392 с.

8. Тимохин Ю. В., Савенков В. Н., Гущин А. М., Рябко Е. В. Напряженно-деформированное состояние крышки цилиндра дизеля тепловоза // Вестник ИрГТУ. 2017. Т. 21. № 4. С. 198–207.

Поступила в редакцию 17 января 2018 года

MECHANICAL TENSION CALCULATION METHODOLOGY FOR THE MINING TRANSPORT MACHINE DIESEL ENGINE CYLINDER COVER FIRE BOTTOM

Gutarevich V. O. – Donetsk National Technical University. E-mail: viktor.gutarevich@mail.ru

Riabko E. V. – Donetsk Railway Transport Institute. E-mail: railroader@yandex.ru

Destruction of cylinder covers of diesel engines of mine suspension locomotives or ground mining transport is accompanied by the formation of through cracks in the fire bottom. For the development of measures aimed to increase in reliability of details of the cylinder-piston group of diesel engines of mining transport machines, it is necessary to calculate the mechanical tension in the fire bottom of the cylinder cover. Mining transport machine diesel engine cylinder cover represents irregular shape the fire bottom of which can be represented as a circular plate having four round holes (in some cases two). Influence of pressure on the fire bottom of a mining transport machine diesel cylinder cover can be compared to the influence of the distributed loads on round plates. In the article the calculation technique of mechanical tension in the mining transport machine diesel engine cylinder cover fire bottom is considered. For studying of the phenomenon of the occurrence of mechanical stresses in the details of the diesel engine of mining machines due to their heating, it is advisable to use the finite-difference scheme of the ANSYS program complex.

Key words: mining transport machine; diesel engine; cylinder cover; temperature stresses; force interaction; finite element model.

REFERENCES

1. Baus-Noifang B., Velikanov D. V., Rusinek Iu. [Suspension and ground diesel-hydraulic locomotives for the reinstallation of mechanized complexes of “heavy” class]. *Ugol – Coal*, 2011, no. 2, pp. 9–21. (In Russ.)
2. Gutarevich V. O. *Dinamika shakhtnykh podvesnykh monorel'sovykh dorog* [The dynamics of shaft suspension monorail roads]. Donetsk, LANDON–XXI Publ., 2014. 205 p.
3. Kovalenko A. D. *Osnovy termouprugosti* [The fundamentals of thermoelastic behavior]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1970. 308 p.
4. Chizhevskii K. G. *Raschet kruglykh i kol'tsevykh plastin* [The calculation of circular and ring plates]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1977. 184 p.
5. Gromovik A. I. *Raschet kruglykh plastin* [Circular plates calculation]. Omsk, SibADI Publ., 2011. 33 p.
6. Boiarshinov S. V. *Osnovy stroitel'noi mekhaniki mashin* [The fundamentals of machines structural mechanics]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 453 p.
7. D'iachenko N. Kh., and others. *Konstruirovaniye i raschet dvigatelei vnutrennego sgoraniia* [Design and calculation of combustion engines]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1979. 392 p.
8. Timokhin Iu. V., Savenkov V. N., Gushchin A. M., Riabko E. V. [Stress-strained state of a locomotive diesel cylinder cover]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 198–207. (In Russ.)

РУДОПОДГОТОВКА И ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.765.4

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-4-72-81

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОВ МЕДИ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА И ФЛОТИРУЕМОСТЬ МОЛИБДЕНИТА

ПЕСТРЯК И. В., МОРОЗОВ В. В.

Исследованы процессы окисления и активации ионами меди поверхности молибденита в операции коллективной флотации при обогащении медно-молибденовых руд. Обоснована термодинамическая вероятность и подтверждена кинетическая возможность процесса активации молибденита ионами меди. С применением рентгенофазового анализа подтверждено образование на молибдените фазы сульфида меди. С применением ИК-спектроскопии показано, что на активированном молибдените адсорбируется аллиловый эфир амилксантогеновой кислоты, являющийся основой применяемого при флотации медно-молибденовых руд неионогенного собирателя. Флотационными исследованиями показано, что активированный молибденит более эффективно извлекается в операции коллективной сульфидной флотации, но теряется в более значительной мере при разделении медно-молибденового концентрата. Причиной потерь молибденита в цикле селекции является приближение флотационных свойств активированного молибденита к флотирiuемости сульфидных минералов меди.

Ключевые слова: молибденит; термодинамическое моделирование; активация; окисление; адсорбция собирателя; флотация.

При обогащении медно-молибденовых руд часто возникает проблема увеличения потерь молибдена [1, 2]. Причинами снижения извлечения молибдена обычно считаются наличие труднофлотирiuемых минеральных форм и тонкая вкрапленность молибденита в породообразующих минералах [2, 3]. Однако данные причины не объясняют существенных падений извлечения молибдена при стабильном составе руды в потоке, а также наличия так называемых «сезонных» колебаний извлечения молибдена и качества получаемых концентратов [4].

Весьма вероятной причиной изменения флотационного поведения молибденита является воздействие на него ионов тяжелых металлов, содержание которых нестабильно и повышается в зимне-весенний период работы обогатительной фабрики. Выбор в качестве объекта исследования процесса активации молибденита ионами меди обусловлен как распространенностью процесса активации сульфидных минералов во флотации [5, 6], так и отчетливо видимым снижением показателей обогащения при вовлечении в переработку окисленных руд с повышенным содержанием окисленных медных минералов [7] и оборотных вод с высокой концентрацией ионов меди [8, 9].

Пестряк Ирина Васильевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общей и неорганической химии. 117049, г. Москва, Ленинский проспект, 4, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». E-mail: spestryak@mail.ru

Морозов Валерий Валентинович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общей и неорганической химии. 117049, г. Москва, Ленинский проспект, 4, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». E-mail: dchmggu@mail.ru

Активация поверхности сульфидных минералов является сложным процессом, зависящим от состава водной фазы [10]. В операциях измельчения и коллективной флотации вероятность активации велика и обусловлена сохранением участков неизменной сульфидной поверхности, на которых протекают ионообменные процессы с компонентами жидкой фазы пульпы, в первую очередь ионами меди [11, 12].

Анализ результатов измерений ионного состава жидкой фазы в операции измельчения на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт» показал, что в водной среде присутствуют заметные концентрации ионов меди (до 4 мг/л), железа (до 10 мг/л) и молибдена (до 4,4 мг/л). Источником этих ионов являются как процессы измельчения, сопровождающиеся растворением окисленных минералов, так и обратная вода.

Таблица 1

Реакции активации молибденита ионами меди и уравнения связи между параметрами жидкой фазы

Номер п/п	Уравнения реакций	ΔG^0 , КДж/моль	E^0
1	$\text{MoS}_2 + 2\text{Cu}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuS} + \text{H}_2\text{MoO}_4 + 6\text{H}^+ + 2\text{e}$	83,571	0,433
2	$\text{MoS}_2 + 2\text{Cu}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuS} + \text{HMoO}_4^- + 7\text{H}^+ + 2\text{e}$	115,023	0,596
3	$\text{MoS}_2 + 2\text{Cu}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuS} + \text{MoO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 2\text{e}$	150,196	0,778
4	$\text{MoS}_2 + 2\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuS} + \text{MoO}_2 + 4\text{H}^+$	-4,56	$\lg K = -3,35$
5	$\text{MoS}_2 + (\text{CuOH})_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuS} + 3\text{H}^+ + \text{HMoO}_4^- + \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{e}$	102,245	0,529
6	$\text{MoS}_2 + (\text{CuOH})_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuS} + 4\text{H}^+ + \text{MoO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{e}$	87,846	0,455
7	$\text{MoS}_2 + (\text{CuOH})_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuS} + 5\text{H}^+ + \text{MoO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- + 2\text{e}$	124,256	0,644

В операции коллективной медно-молибденовой флотации щелочность среды выше, но и в этих условиях присутствуют обнаруживаемые концентрации ионов меди и железа, а концентрация растворимого молибдена в форме преимущественно молибдатных ионов практически не изменяется.

Имеющиеся данные по ионному составу жидкой фазы пульпы делают возможным оценку вероятности изменения состава поверхности молибденита вследствие протекания процессов активации ионами меди. Для проведения теоретического исследования вероятности процессов активации применена классическая методика расчетов на основе термодинамического анализа вероятных реакций на границе раздела *твердое–жидкое* [11].

Ранее проведенными расчетами установлено, что в рассматриваемых условиях измельчения и коллективной флотации конечным продуктом окисления молибденита является молибдат-ион [9, 12, 13]. Последнее соответствует результатам анализа жидкой фазы, согласно которым в жидкой фазе пульпы в операциях измельчения и флотации присутствует заметное количество молибдена в растворенной форме – MoO_4^{2-} . Однако кинетика окисления молибденита весьма медленная, что обуславливает преобладание на поверхности минерала самого молибденита или диоксида молибдена, являющегося относительно устойчивой в нейтральной и слабокислой средах промежуточной формой стадийной реакции окисления молибденита.

Реакции активации молибденита ионами меди сопровождаются протеканием окислительно-восстановительных процессов. Предполагая стадийное протекание реакций активации и несоответствие концентраций в объеме жидкой среды и на поверхности минерала, рассматривают три группы реакций активации (табл. 1). Первая группа (1–3) предполагает действие на молибденит ионов Cu^{2+} и протекание окислительно-обменной реакции с образованием H_2MoO_4 , HMoO_4^- , MoO_4^{2-} . Вторая группа реакций предполагает действие на молибденит ионов Cu^{2+} и образование MoO_2 по обменной реакции (4). Третья группа реакций предполагает действие на молибденит ионов Cu^{2+} , находящихся в равновесии и осажденной форме – $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$, и протекание окислительно-обменной реакции с образованием HMoO_4^- и MoO_4^{2-} [5–7].

Таблица 2

Реакции уравнения связи между параметрами жидкой фазы в граничных условиях активации молибденита ионами меди

Номер п/п	Уравнения связи между параметрами жидкой фазы
1	$E = 0,216 - 0,177\text{pH} - 0,059 \lg [\text{Cu}^{2+}]$
2	$E = 0,596 - 0,2065 \text{pH} + 0,0295 \lg [\text{HMoO}_4^-] - 0,059 \lg [\text{Cu}^{2+}]$
3	$E = 0,389 - 0,236\text{pH} - 0,0295 \lg [\text{Cu}^{2+}] + 0,0295 \lg [\text{MoO}_4^{2-}]$
4	$\text{pH} = -0,8375 - 0,5 \lg [\text{Cu}^{2+}]$
5	$E = 0,529 - 0,0885\text{pH} + 0,0295 \lg [\text{H}_2\text{CO}_3] + 0,0295 \lg [\text{HMoO}_4^-]$
6	$E = 0,228 - 0,118\text{pH} + 0,0295 \lg [\text{H}_2\text{CO}_3] + 0,0295 \lg [\text{MoO}_4^{2-}]$
7	$E = 0,322 - 0,1475\text{pH} + 0,0295 \lg [\text{HCO}_3^-] + 0,0295 \lg [\text{MoO}_4^{2-}]$

Результаты расчетов, представленные в виде уравнений для электродных потенциалов и граничных значений pH среды (табл. 2), а также диаграммы E–pH для молибденита позволяют сделать вывод, что молибденит является минералом, весьма склонным к активации ионами меди. Полученная диаграмма показывает, что молибденит будет взаимодействовать с ионами меди как в условиях измельчения, так и в условиях коллективной медно-молибденовой флотации, о чем говорит расположение фактически измеренных значений E молибденита и pH среды выше линий уравнений реакций активации молибденита с одновременным протеканием окислительно-восстановительного процесса (1, 2, 3, 5, 6, 7) и расположения pH среды слева от линии уравнения реакции 4 (рис.1).

Поскольку условием протекания реакции активации является наличие неокисленной поверхности сульфидного минерала, необходимо оценить кинетическую возможность активации минералов. Для такой оценки проведено сравнение продолжительности окисления монослоя поверхности молибденита и процесса его активации ионами меди. Измерены параметры окислительных процессов на сульфидных минералах и рассчитаны продолжительности окисления монослоя.

Скорость окисления монослоя поверхности по электрохимическому механизму рассчитывалась по величинам токов коррозии:

$$\Gamma_{\text{ox}} = gnC/I_k = (gn/I_k)(N_A\rho/M)^{2/3},$$

где g – количество электричества, протекающего через систему, в которой по одноэлектронной реакции выделяется 1 моль вещества; n – число электронов, участвующих в реакции; I_k – плотность тока коррозии, $\text{A}/\text{м}^2$; C – поверхностная кон-

центрация соединения, моль/м³; N_A – число Авогадро; ρ – плотность минерала, кг/м³; M – молекулярная масса минерала, кг·моль/м³.

Число электронов, принимающих участие в реакции окисления, составляет 2–4 для нейтральных и слабощелочных сред, что связано с окислением серы минерала преимущественно до S^0 и $S_2O_3^{2-}$ и 6–9 для сильнощелочных сред (окисление серы до ионов SO_3^{2-}) [9].

Определение тока электрохимической коррозии проводилось путем снятия и анализа потенциодинамических поляризационных кривых [14]. Искомая величина определялась после выделения Тафелевских участков на поляризационных кривых.

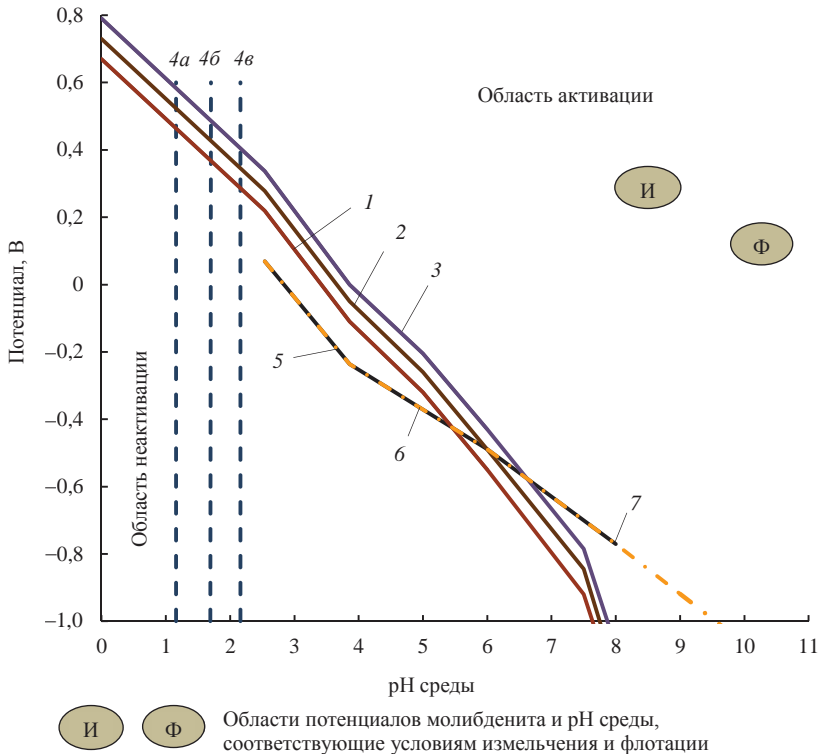


Рис. 1. Границы области активации молибденита ионами меди в различных условиях:

1–3 – по данным о соотношениях средних концентраций ионов Cu^{2+} и H_2MoO_4 , $HMoO_4^-$, MoO_4^{2-} ; 4а, б, в – по данным о средних концентрациях ионов Cu^{2+} в области устойчивости MoO_2 ; 5, 6, 7 – по средней концентрации ионов $H_nMoO_4^{n-}$ в области устойчивости $(CuOH)_2CO_3$

Потенциодинамические кривые получали на потенциостате по трехэлектродной схеме в 0,1 М растворе сульфата натрия. Измерения проводили в циклическом режиме развертки в диапазоне потенциалов $-800 \dots +800$ мВ относительно хлор-серебряного электрода (рис. 2). Перед измерениями электроды зачищались, и в течение 5 мин достигалось установление стационарного потенциала непосредственно в растворе.

Коррозионный ток и потенциал определялись как координаты точки пересечения анодного и катодного Тафелевских участков поляризационной кривой (прямолнейных в полулогарифмической системе координат $\lg I-E$).

Обобщенные результаты расчетов представлены в табл. 3. Константа окисления монослоя поверхности представляет собой плотность тока, при которой ско-

рость окисления составит 1 монослой в секунду. Время окисления монослоя рассчитывалось как частное от деления константы окисления на приведенную плотность тока коррозии.

Полученные результаты показали, что поверхность минерала характеризуется заметной продолжительностью времени окисления. Так, для условий измельчения ($\text{pH} = 8,5$) продолжительность окисления монослоя поверхности минералов составляет 6 с. С учетом того, что поверхность сульфидных минералов окисляется неоднородно, продолжительность окисления монослоя поверхности для «катодных» участков может увеличиваться до десятков секунд.

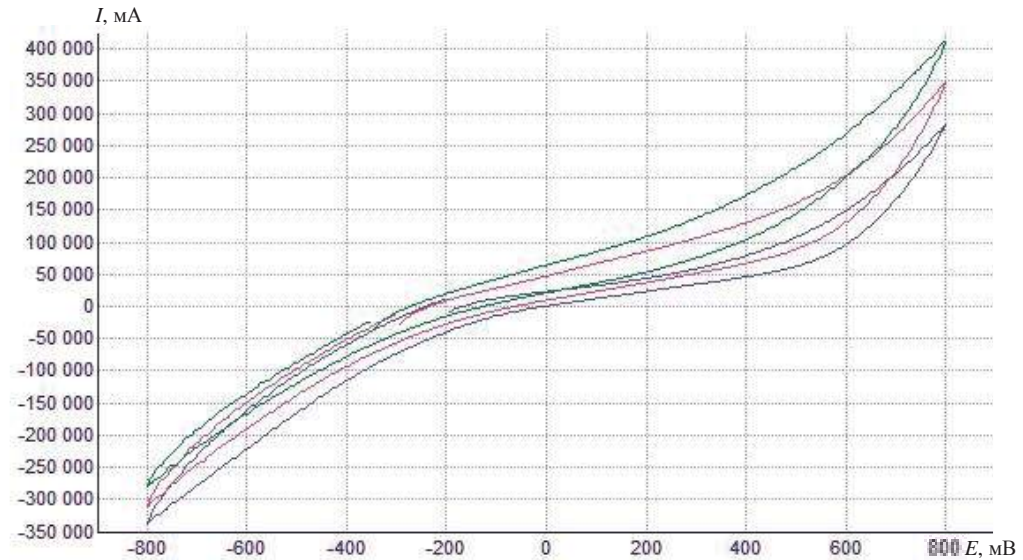


Рис. 2. Циклические потенциодинамические поляризационные кривые молибденита при разных pH среды: $\text{pH} = 7,3$; $\text{pH} = 8,5$; $\text{pH} = 10,1$

Кинетическая вероятность процессов активации пирита и молибденита оценивалась путем сравнения времени окисления монослоя минерала с продолжительностью процесса активации, которую можно измерить как время переходного процесса при изменении потенциала минерального электрода при подаче в раствор ионов меди.

Таблица 3

Параметры окисления и активации молибденита

pH среды	Плотность тока коррозии, мкА/см^2	Константа окисления монослоя, мкА/см^2	Продолжительность окисления монослоя, с	Продолжительность активации, с
7,3	7,02	42,8	6,1	4,1
8,6	9,1	54,7	6,0	5,0
10,1	13,54	66,7	4,9	6,9

Измерение продолжительности переходного процесса проводилось в амперстатическом режиме ($I = 0$), создаваемом потенциостатом. Продолжительность процесса активации принималась равной полупериоду «скачка потенциала», наблюдаемому при подаче соли меди.

Полученные результаты показывают, что продолжительность процесса активации для пирита и халькопирита при $\text{pH} = 7,3$ составляет 4,1–6,9 с (табл. 3).

Сравнение продолжительности окисления минералов и времени их активации ионами меди (табл. 3) показывает, что эти величины близки и активация молибдена ионами меди кинетически вполне вероятна.

Результаты термодинамических расчетов справедливы для систем, находящихся в равновесии, достигаемом при относительно долгом течении реакций в рассматриваемой системе, и требуют проверки [9, 12]. Для экспериментальной проверки

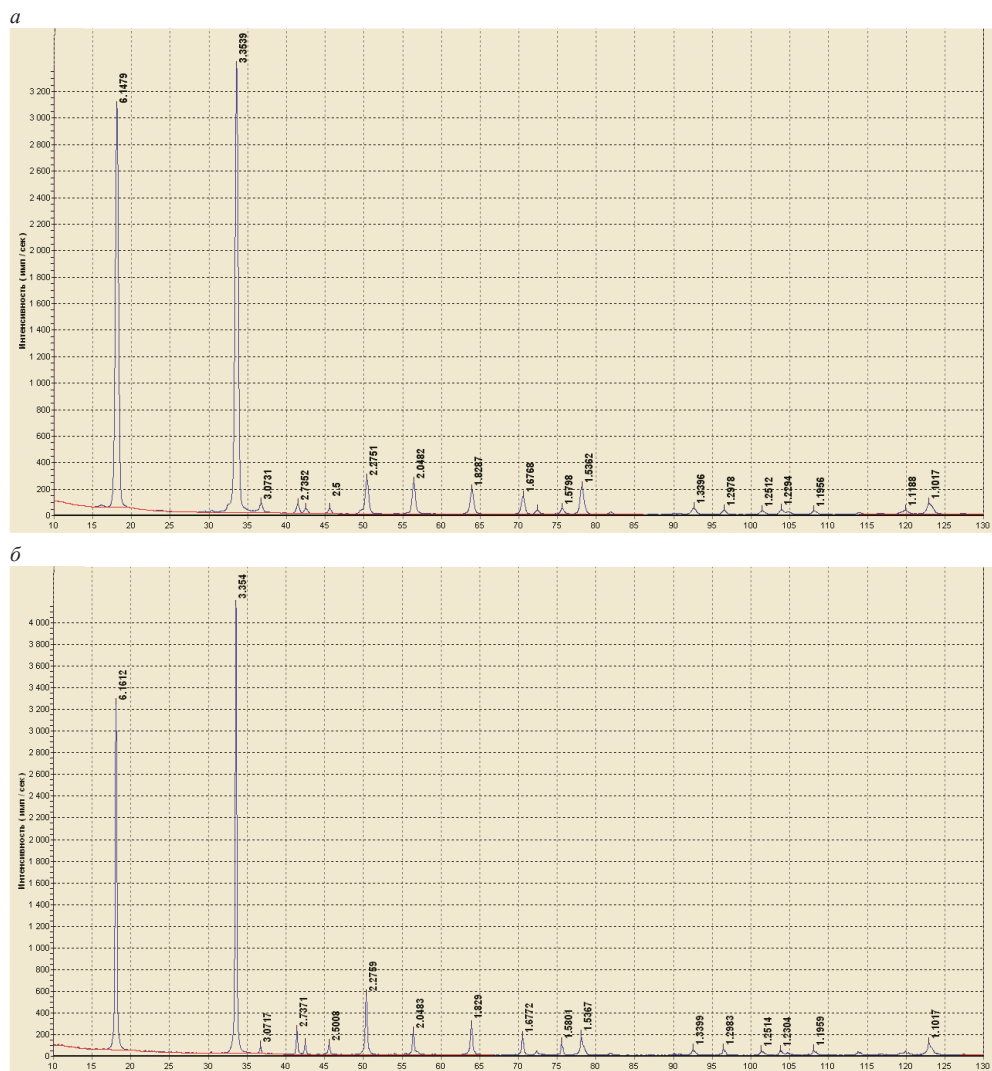


Рис. 3. Рентгенограммы порошка молибдена до – а и после взаимодействия с раствором с содержанием меди 10 мг/л – б

были поставлены опыты по взаимодействию шламовой фракции молибдена (-1 мкм) с растворами, содержащими ионы меди. В эксперименте проводился качественно-количественный анализ соединений меди на молибдените методом рентгенофазового анализа. Съемка спектра проводилась на компьютеризированном комплексе рентгеновской дифрактометрии ADP-2 с использованием Fe-K α -излучения (рис. 3).

Рентгенограммы обрабатывались в автоматическом режиме при помощи программы PDWin (качественный, количественный фазовый анализ), входящей в комплект программного обеспечения ADP-2.

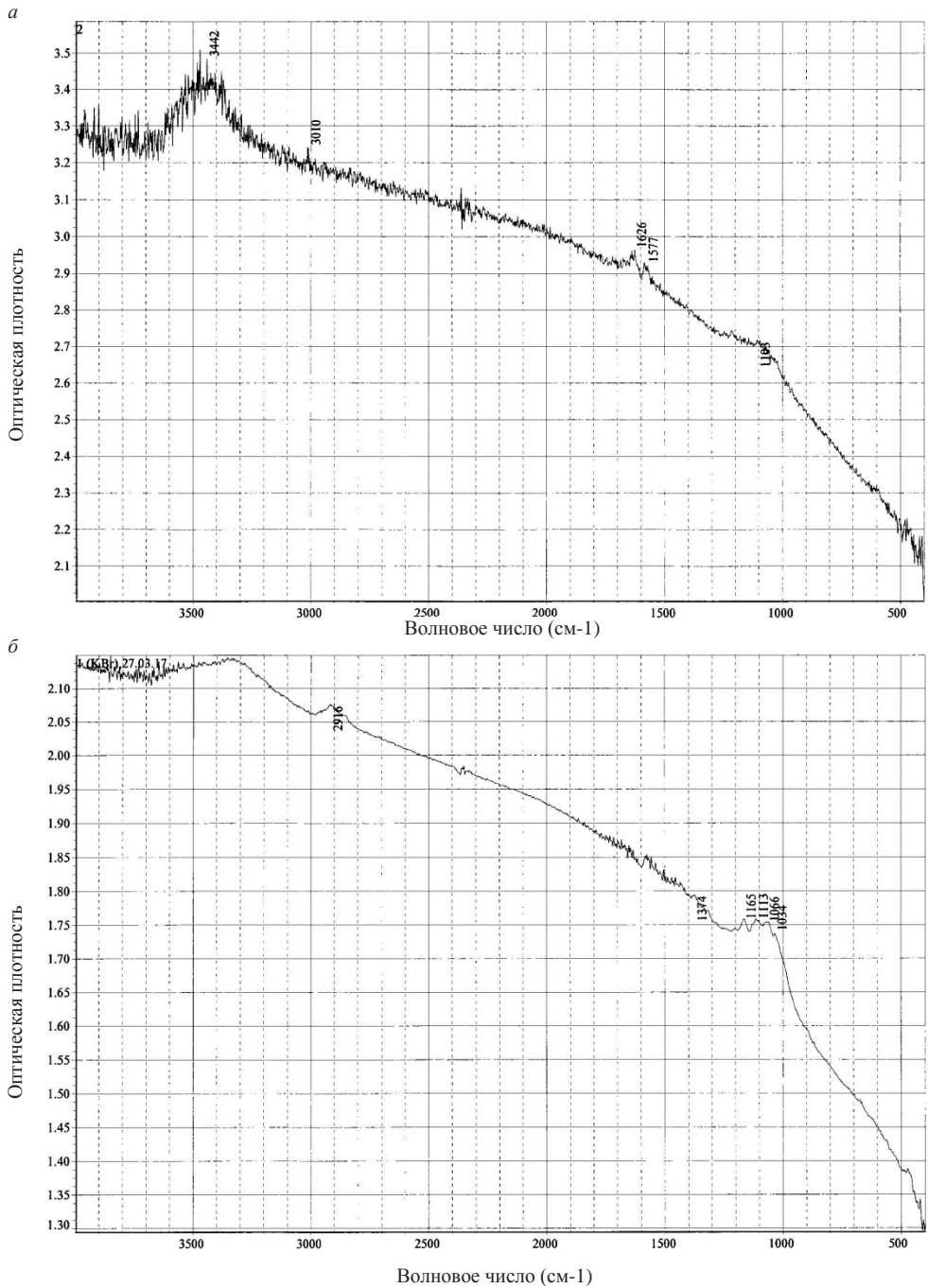


Рис. 4. ИК-спектры порошка молибденита после взаимодействия с модельным раствором, содержащим аллиловый эфир ксантогеновой кислоты:
a – без предварительной обработки раствором; *б* – после предварительной обработки раствором с содержанием меди 10 мг/л

Результаты рентгенофазового анализа показали, что ушедшая из раствора медь закрепляется на поверхности молибденита с образованием сульфидного соединения, близкого к ковеллину. После активации молибденита ионами меди доля сульфидов молибдена на поверхности снизилась с 89,1 до 71,7 %, а доля сульфидов меди возросла с 9,6 до 28,3 %.

Образовавшийся сульфид меди активен по отношению к флотационным реагентам, в частности к собирателю, в качестве которого использовался реагент АегоМХ-5140, представляющий собой аллиловый эфир амилксантогеновой кислоты с добавками аполярных масел. Как видно из ИК-спектров шламового класса молибденита, обработанного в растворе собирателя с концентрацией 10 мг/л, активация ионами меди ведет к существенному увеличению закрепления сераорганических соединений, вероятно ксантогеновых эфиров, диагностируемых по поглощению в области частот от 1014–1165 см⁻¹ (рис. 4). Весьма характерно, что на поверхности активированного молибденита существенно уменьшается количество соединений, содержащих ОН-группу или Н₂О, диагностируемых по поглощению в области частот 3400–3650 см⁻¹, предположительно окисленных соединений, адгезионно закрепляющихся на окисленных участках поверхности молибденита.

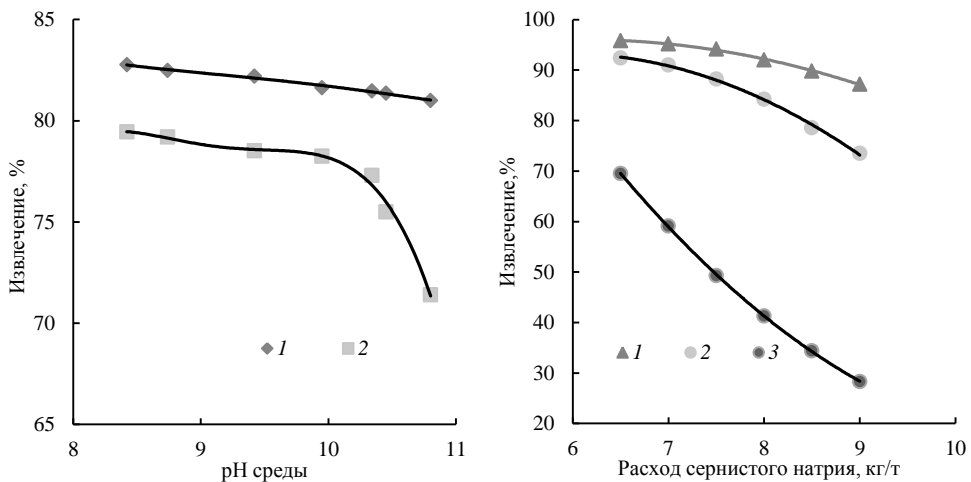


Рис. 5. Зависимости извлечения молибденита (1, 2) и меди (3): а – от рН среды в коллективной флотации; б – от расхода сернистого натрия в разделении медно-молибденового концентрата; 1 – базовый опыт, без добавок солей меди; 2, 3 – с подачей солей меди (10 мг/л Cu^{2+})

Для определения степени влияния процесса активации ионами меди на флотацию молибденита поставлены флотационные опыты. В экспериментах флотация молибденита проводилась в режиме коллективной сульфидной флотации на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт». Флотация проводилась в интервале рН от 8,3 до 10,8 при концентрации собирателя АегоМХ-5140 15 мг/л с использованием в качестве вспенивателя реагента МИБК. Перед флотацией навеска минерала обрабатывалась раствором медного купороса с концентрацией 10–20 мг/л при разных рН, регулируемой добавками раствора NaOH. Сфлотированный концентрат перечищался при добавках извести (1–2 кг/т), обрабатывался сернистым натрием при температуре 55° С. После десорбции собирателя проводилась флотация молибденита при добавках керосина.

Активация и закрепление собирателя на поверхности молибденита способствуют изменению характера зависимости его флотиремости от щелочности

среды. Как видно из рис. 5, а, при флотации активированного молибденита реагентом AeroMX-5140 наблюдается как увеличение извлечения молибденита в концентрат, так и устойчивая флотация минерала в щелочной среде при pH более 10,4, не характерная для неактивированного минерала.

Результаты флотационных опытов на медно-молибденовой руде, проведенных по фабричному режиму, показали, что присутствие катионов меди и активация минерала в операции измельчения увеличивают извлечение молибденита в операции коллективной флотации на 2,5 %. Однако вследствие одновременного увеличения извлечения пирита массовая доля молибдена в коллективном концентрате снижается на 0,012 %. Извлечение молибдена в коллективный медно-молибденовый концентрат увеличивается в меньшей мере (на 1,4 %) вследствие возрастания его потерь в пересортичных операциях при выделении из коллективного концентрата пиритного продукта. В еще более сильной степени негативное влияние процесса активации наблюдается при разделении медно-молибденового концентрата, где активированный медью молибденит по флотационным свойствам приближается к сульфидным минералам меди. Снижение извлечения активированного ионами меди молибденита в молибденовый концентрат составило 0,75 %.

Таким образом, полученные результаты показывают, что содержащиеся в жидкой фазе ионы меди приводят к активации поверхности и повышению флотиремости молибденита. Несмотря на то что такие процессы первоначально способствуют увеличению извлечения молибденита в коллективный и медно-молибденовый концентрат, в дальнейшем, в селективном цикле, вследствие сближения флотационных свойств медных минералов и активированного ионами меди молибденита показатели процесса ухудшаются и наблюдаются потери молибдена. Полученные результаты ставят задачу снижения концентраций катионов меди в операции измельчения и флотации при обогащении медно-молибденовых руд за счет предотвращения попадания минералов и растворимых солей меди с рудой или оборотной водой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баатархуу Ж. Влияние вещественного состава перерабатываемых руд на технологию обогащения // Цветные металлы. 2007. № 9. С. 38–43.
2. Бочаров В. А., Хачатрян Л. С., Игнаткина В. А., Баатархуу Ж. Исследования усовершенствованного реагентного режима флотации порфирировых медно-молибденовых руд // Физико-технические проблемы переработки рудных полезных ископаемых. 2008. № 1. С. 27–31.
3. Изоитко В. М. Технологические особенности молибденовых руд // Горный журнал. 1997. № 4. С. 20–24.
4. Ганбаатар З., Зимин А. В., Соловьева Л. М., Назаров Ю. П. Совершенствование технологии обогащения медно-молибденовых руд месторождения Эрдэнэтийн-Овоо // Горный журнал. 2010. № 10. С. 34–36.
5. Морозов В. В., Колоколенков А. А., Сидоркин А. В. Моделирование процессов активации пирита и разработка комплексных оптимизационных параметров ионного состава для циклов измельчения и флотации // Совершенствование технологии обогащения комплексных полезных ископаемых: сб. науч. трудов МГТУ. М.: МГТУ, 1996. С. 75–83.
6. Albrecht T.W.J., Addai-Mensah J., Fornasiero D. Critical copper concentration in sphalerite flotation: Effect of temperature and collector // Int. J. Miner. Process., 2016, 146. P. 15–22.
7. Bokanyi L. Effect of CuSO₄ on surface properties and recycling flotation of copper and lead // Proc. of XXIII Int. Mineral Proc. Congress. Ed. Onal. Promed. Ad. Ageincy, Istanbul, 2006. P. 2147–2151.
8. Морозов В. В., Авдохин В. М. Оптимизация обогащения полиметаллических руд на основе контроля и регулирования ионного состава пульпы и оборотных вод // ГИАБ. М.: МГТУ, 1998. № 1. С. 27–32.
9. Гээзгт Ш., Соколов В. И., Ганбаатар З., Баатархуу Ж. Совершенствование процесса коллективной медно-молибденовой флотации // Горный журнал. 2004. № 8. С. 63–65.
10. Wei Y. H., Zhou G. Y., Roelf F. S. Effects of recycled water on flotation of a complex sulphide ore // Non-ferrous Metals, 2006, 58(2). P. 82–85.
11. Абрамов А. А. Флотация. Физико-химическое моделирование процессов. Т. 6. М.: МГТУ, 2010. 607 с.
12. Zanin M., Ametov I., Grano S., Zhou L., Skinner W. A study of mechanisms affecting molybdenite recovery in a bulk copper-molybdenum flotation circuit // Int. J. Miner. Process., 2009, 93. P. 256–266.

13. Mailula T. D., Bradshaw D. J., Harris P. J. & Laskowski J. S. Copper ions in flotation of sulfide ores // Proc. of Int. Conf. Copper 2003, Santiago, Chile. Vol. 3. P. 243–256.
14. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия. М.: Химия, 2001. 624 с.

Поступила в редакцию 29 декабря 2017 года

STUDY OF THE EFFECT OF COPPER IONS ON THE SURFACE PROPERTIES AND FLOTATION OF MOLYBDENITE

Pestriak I. V., Morozov V. V. – National University of Science and Technology (MISiS), Moscow, the Russian Federation. E-mail: spetryak@mail.ru

The processes of oxidation and activation of molybdenite surface by copper ions in a collective flotation operation in the enrichment of copper-molybdenum ores are studied. The thermodynamic probability is substantiated and the kinetic possibility of the activation process of molybdenite by copper ions is confirmed. With the use of x-ray phase analysis, the formation of copper sulfide phase on the molybdenite is confirmed. Using IR spectroscopy, it has been shown that allyl ester of amyloxanthogenic acid is adsorbed on activated molybdenite; the allyl ester of amyloxanthogenic acid is the basis for nonionic collector used in flotation of the copper-molybdenum ores. Flotation studies have shown that activated molybdenite is recovered more efficiently in the operation of collective sulfide flotation, but is lost to a greater extent through the separation of copper-molybdenum concentrate. The reason for the loss of molybdenite in the separation cycle is the convergence of the flotation properties of activated molybdenite and flotation of copper sulphide minerals.

Key words: molybdenite; thermodynamic modeling; activation; oxidation; collector adsorption; flotation.

REFERENCES

1. Baatarkhuu Zh. [The influence of the material composition of processed ore on the technology of concentration]. *Tsvetnye metally – Non-ferrous Metals*, 2007, no. 9, pp. 38–43. (In Russ.)
2. Bocharov V. A., Khachatryan L. S., Ignatkina V. A., Baatarkhuu Zh. [Modified reagent mode in porphyry copper-molybdenum ore flotation]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Journal of Mining Science*, 2008, no. 1, pp. 27–31. (In Russ.)
3. Izoitko V. M. [Technological properties of molybdenite ore]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 1997, no. 4, pp. 20–24. (In Russ.)
4. Ganbaatar Z., Zimin A. V., Solov'eva L. M., Nazarov Iu. P. [Developing the technology of copper-molybdenite ore of Erdenetiyn-Ovoo field concentration]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2010, no. 10, pp. 34–36. (In Russ.)
5. Morozov V. V., Kolokolnikov A. A., Sidorkin A. V. [Simulating the processes of pyrite activation and the development of integrated optimizing parameters of ion composition for the cycles of grinding and flotation]. *Sovershenstvovanie tekhnologii obogasheniia kompleksnykh poleznykh iskopaemykh: sb. nauch. trudov MGGU* [Collected works of MSMU “Developing the technologies of integrated minerals concentration”]. Moscow, MSMU Publ., 1996, pp. 75–83. (In Russ.)
6. Albrecht T. W. J., Addai-Mensah J., Fornasiero D. Critical copper concentration in sphalerite flotation: Effect of temperature and collector. *Int. J. Miner. Process.* 2016, 146, pp. 15–22.
7. Bokanyi L. Effect of CuSO₄ on surface properties and recycling flotation of copper and lead. Proc. of XXIII Int. Mineral Proc. Congress. Ed. Onal. Promed. Ad. Ageincy, Istanbul, 2006, pp. 2147–2151.
8. Morozov V. V., Avdokhin V. M. [Optimization of polymetallic ore concentration by means of controlling and regulating ion composition of pulp and circulating water]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 1998, no. 1, pp. 27–32. (In Russ.)
9. Gezegt Sh., Sokolov V. I., Ganbaatar Z., Baatarkhuu Zh. [Developing the process of bulk copper-molybdenum flotation]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2004, no. 8, pp. 63–65. (In Russ.)
10. Wei Y. H., Zhou G. Y., Roelf F. S. Effects of recycled water on flotation of a complex sulphide ore. *Non-ferrous Metals*, 2006, no. 58(2), pp. 82–85.
11. Abramov A. A. *Flotatsiia. Fiziko-khimicheskoe modelirovanie protsessov. T. 6* [Flotation. Physical-chemical simulation of the processes. Vol. 6]. Moscow, MSMU Publ., 2010. 607 p.
12. Zanin M., Ametov I., Grano S., Zhou L., Skinner W. A study of mechanisms affecting molybdenite recovery in a bulk copper-molybdenum flotation circuit. *Int. J. Miner. Process.* 2009, 93, pp. 256–266.
13. Mailula T. D., Bradshaw D. J., Harris P. J. & Laskowski J. S. Copper ions in flotation of sulfide ores. Proc. of Int. Conf. Copper 2003, Santiago, Chile, vol. 3, pp. 243–256.
14. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. *Электрохимия* [Electrochemistry]. Moscow, Khimiia Publ., 2001. 624 p.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ РЕАГЕНТОВ НА ФЛОТАЦИЮ ГРАФИТА

ЧИЖЕВСКИЙ В. Б., ФАДЕЕВА Н. В., ГМЫЗИНА Н. В.

Определение флотационной активности различных реагентов произведено на приборе для беспенной флотации. Установлено, что наиболее флотоактивны высокомолекулярные алканы, алкены и алкилбензолы. Альдегиды, кетоны и простые эфиры низкоэффективны, и их наличие в керосине будет снижать эффективность его действия. Составлена классификация изученных реагентов по эффективности их действия при флотации графита. В результате анализа продуктов различных производств для исследований приняты продукты, содержащие в основном высокомолекулярные парафиновые и ароматические углеводороды. Использовалась руда Тайгинского месторождения, минералогический анализ которой показал, что основными минералами являются кварц, полевой шпат и слюды. Установлено, что применение выбранных реагентов – циркуляционного газойля, раствора крекинг-остатка и кубового остатка ректификации полиалкилбензолов – обеспечивает повышение извлечения углерода в концентрат по сравнению с использованием керосина. Изучен состав и флотационная активность реагента ВКП. Реагент является полноценным заменителем Т-80 при флотации графита и обеспечивает снижение расхода керосина. Использование реагента ВКП на фабриках при флотации графитовых руд Тайгинского, Завальевского и Ботокольского месторождений позволило исключить из процесса Т-80, снизить расход керосина и повысить извлечение углерода в концентратах.

Ключевые слова: графит; углеводороды; реагенты; флотация; углерод; зольность; извлечение.

На предприятиях извлечение углерода в концентрат при флотации графитовых руд нестабильное и не превышает 75–88 %, что обусловлено различием качества перерабатываемых руд и непостоянством состава основного собирателя – осветительного керосина, в котором кроме углеводородов присутствуют кислородсодержащие соединения, такие как спирты, кислоты, альдегиды и кетоны [1]. Действие его компонентов при флотации графита не изучено, что сдерживает подбор эффективных собирателей из продуктов нефтепереработки и нефтехимических производств. Целью данного исследования является определение наиболее флотоактивных для графита углеводородов и кислородсодержащих соединений с целью изыскания эффективных реагентов.

При флотации графитовой руды из Восточной Индии [2] с использованием механической и колонной флотомашин получен концентрат с выходом 7,44 % и массовой долей углерода 89,65 %. Использовалось сосновое масло и дизельное топливо. Отмечено, что двухстадийная схема обогащения может снизить затраты на измельчение. Оптимальный реагентный режим при флотации графитовой руды месторождения Акдагмадени (Йозгат, Турция) включал силикат-глыбу (500 г/т),

Чижевский Владимир Брониславович – доктор технических наук, профессор кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет. E-mail: magtu_ori@mail.ru

Фадеева Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет.

Гмызина Наталья Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых. 455000, г. Магнитогорск, просп. Ленина, 38, Магнитогорский государственный технический университет.

керосин (250 г/т), сосновое масло (100 г/т) и обеспечил получение грубого концентрата с массовой долей углерода до 37,93 % [3]. Рекомендована дальнейшая его переработка, например кислотным выщелачиванием. Для выделения графита из графитовых сланцев предложена его флотация с использованием керосина и соснового масла [4] по схеме, включающей основную и контрольную операции флотации с тремя перемешиваниями пенных продуктов. Выход концентрата с промпродуктом составил 16,63 %. Вопросу разделения графита и серицита, являющегося одним из основных загрязнителей концентрата, посвящена работа [5]. Показана возможность использования флотации, кислотной и щелочной обработки, но первый процесс является менее затратным и более экологически чистым. В другой работе [6] для разделения серицита и графита использовали реагент atlox4862 (formaldehyde condensate of methyl naphthalene sulfonic sodium salt) (MF). При применении целлюлозы, pH = 8 и реагента MF при концентрации 250 мг/дм³ извлечение серицита составило 89,7 %. Для выделения слюды и кальцита из графитовой

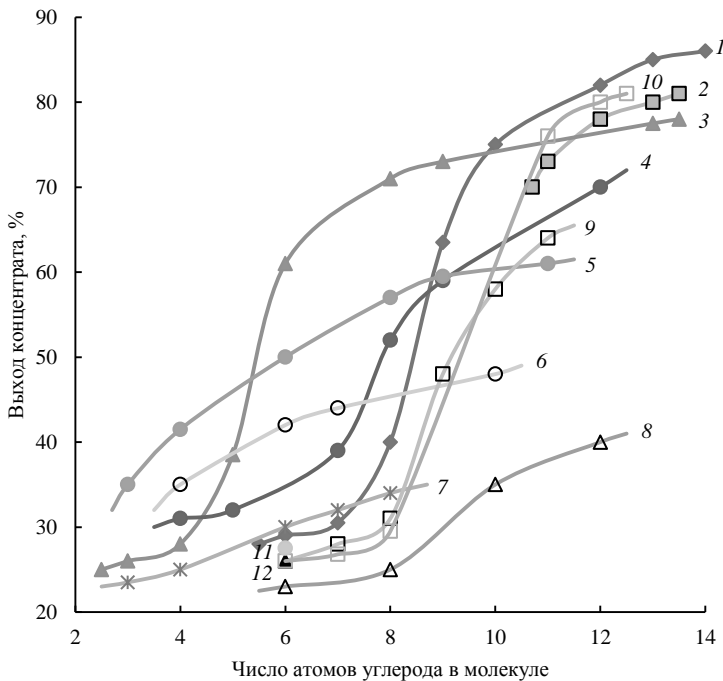


Рис. 1. Влияние числа атомов углерода в молекулах реагентов на выход концентрата:

1 – алканы; 2 – алкены; 3 – спирты; 4 – сложные эфиры; 5 – карбоновые кислоты; 6 – альдегиды; 7 – кетоны; 8 – простые эфиры; 9 – полиметилбензолы; 10 – алкилбензолы; 11 – циклогексан; 12 – бензол

руды предложена технология, предусматривающая флотацию слюды и кальцита и химическое обогащение [7], обеспечивающая повышение массовой доли углерода в концентрате до 91 %. Для получения низкозольных концентратов рекомендуется химическое рафинирование [8, 9], обеспечивающее снижение зольности концентратов до 3 %.

Важным условием успешной флотации частиц является сохранность комплекса *пузырек–частица*, которая, в свою очередь, зависит от устойчивости пузырька и величины капиллярного давления [10]. Сохранность пузырька в значительной степени определяется способностью его оболочки изменять величину поверхностного натяжения и отвечать таким образом на воздействия внешней среды, что наиболее

значимо в случае поверхностно-активных соединений. Одновременно поверхностное натяжение определяет величину капиллярного давления, влияющего на отрыв пузырька от частицы. Значимость поверхности раздела *жидкость–газ* показана и при флотации графитовых руд [11–13]. В работе [11] изучена флотируемость графита и определено поверхностное натяжение в зависимости от концентрации ацетата натрия. Установлено, что для гидрофобных минералов, каким является графит, флотируемость в значительной степени определяется величиной поверхностного натяжения. Указаны гипотезы, рассматривающие дегидратацию гидрофобных поверхностей, снижение коалесценции пузырьков и повышение прочности их закрепления на гидрофобных поверхностях. Дополнительное использование метилизобутилкетона (ММДЦ) в смеси с этиловым спиртом в соотношении 9 : 1 позволило перерабатывать низкосортные графитовые руды месторождения Тамилнаду [12]. Массовая доля углерода во флотационном концентрате составила 96,24 % при извлечении 89 %. Влияние поверхностно-активных свойств реагентов установлено и при флотации сульфидов [13]. В работе показано, что изменение поверхностной активности реагентов на границе раздела *жидкость–газ* позволяет регулировать селективность разделения минералов. Поэтому представляется целесообразным изучить флотацию графитовой руды с использованием реагентов, содержащих спирты.

Таблица 1

Классификация углеводородов и кислородсодержащих соединений по эффективности их действия при флотации графита

Очень эффективные	Эффективные	Низкоэффективные
Алканы $C_{12}-C_{14}$	Алифатические спирты C_6-C_{13}	Карбоновые кислоты C_3-C_7
Алкены $C_{11}-C_{13}$	Сложные эфиры C_9-C_{12}	Сложные эфиры C_4-C_8
Алкилбензолы $C_{11}-C_{12}$	Алканы C_9-C_{11}	Альдегиды C_4-C_{10}
	Карбоновые кислоты C_8-C_{11}	Алифатические спирты C_3-C_5
	Полиметилбензолы $C_{10}-C_{11}$	Кетоны C_3-C_8
	Алкилбензол C_{10}	Алканы C_6-C_8
		Алкил- и полиметилбензолы C_7-C_9
		Простые эфиры C_6-C_{12}

Для определения флотационной активности различных реагентов выполнены опыты по флотации графита на приборе для беспенной флотации [14]. Крупность графита составляла 0,3–0,1 мм, зольность – 3,85 %. Доверительный интервал по выходу концентрата при доверительной вероятности 0,95 не превышал 0,53 %. Результаты приведены на рис. 1.

Из рисунка видно, что в каждом диапазоне значений числа атомов углерода наиболее эффективны определенные соединения. Так, при числе атомов углерода 3–4 наиболее эффективны карбоновые кислоты, а при 6–10 атомах углерода лучшие показатели флотации обеспечивают спирты, которые в первом диапазоне числа атомов углерода являются вместе с кетонами самыми неэффективными. Высокая эффективность флотации при использовании спиртов отмечена и в работе [15]. При числе атомов 12 и более наиболее эффективны алканы, алкены и алкилбензолы. Простые эфиры, альдегиды и кетоны, имеющиеся в составе осветительного керосина, обладают низкой флотационной способностью и будут снижать эффективность его действия при флотации.

Проведенные исследования позволили расклассифицировать изученные реагенты по эффективности их действия при флотации графита (табл. 1).

С использованием данных классификации проанализированы продукты нескольких нефтеперегонных, нефтехимических и других производств и приняты к исследованию по флотации продукты, содержащие в основном высокомолекулярные парафиновые и ароматические углеводороды (табл. 2).

Таблица 2

Состав и свойства изученных продуктов

Наименование	Основные компоненты	Массовая доля компонентов, %	Свойства
Циркуляционный газойль – продукт очистки пирогаза	Высокомолекулярные парафиновые углеводороды с числом атомов углерода ≥ 10	33–37	Темно-коричневая жидкость плотностью 0,95–0,97 кг/дм ³ . Температура начала кипения 453 К, замерзания – 332 К. Вязкость при 341 К – $1,15 \cdot 10^{-6}$ м ² /с. Имеет характерный запах ароматических углеводородов
	Полициклические парафиновые углеводороды	13–16	
	Алкилзамещенные ароматические углеводороды с числом атомов углерода ≥ 12	14–17	
	Полициклические ароматические углеводороды	9–12	
Раствор крекинг-остатка – продукт переработки нефти	Высококипящие парафиновые углеводороды	16,2–28,2	Подвижная жидкость темно-коричневого цвета с характерным запахом мазута и плотностью 0,89–0,90 кг/дм ³ . Температура вспышки 353 К, начала кипения – 491 К. Вязкость при 323 К – $0,9 \cdot 10^{-6}$ м ² /с.
	Высокомолекулярные ароматические углеводороды	32,0–41,8	
	Высокомолекулярные нафтеновые углеводороды	18,0–25,4	
Кубовый остаток ректификации полиалкилбензолов	Тяжелые продукты замещения в бензольном кольце $C_6H_mR_1R_2$, где $m = 2-5$, $R_1 - CH_3$, C_2H_5 , $R_2 -$ углеводородный радикал нормального строения, до 80 %	73–84	Темно-коричневая маслянистая жидкость плотностью 0,92–0,94 кг/дм ³ . Температура вспышки 368 К, замерзания – 328 К. Вязкость при 338 К – $1,2 \cdot 10^{-6}$ м ² /с.
	Бутил- и дибутылбензол	14–19	

При флотации использовалась графитовая руда Тайгинского месторождения с массовой долей углерода 2,65 %. В пробе содержится $SiO_2 - 77,43$ %; $Al_2O_3 - 6,66$ %; $CaO - 5,81$ %; $MgO - 3,43$ %; $Fe_2O_3 - 1,89$ %. Минералогический состав пробы изучался на установке Минерал C7 SIAMS Photolab™ [16]. Основными минералами являются кварц 45–50 %, полевой шпат 30–35 %, слюды 9–11 %, глинистые минералы 3–4 %, пирит 2–3 % и тальк 1–2 %. Характерны ассоциации графита с полевым шпатом, биотитом, мусковитом и кварцем. Имеются чистые зерна графита. Глинистые минералы представлены каолинитом и монтморрилонитом и являются цементом для минералов.

Флотация выполнялась на флотомашине ФМЛ-3 с объемом камеры 2 дм³. Измельчение руды производилось на лабораторной мельнице периодического действия при соотношении Т : Ж : Ш, равном 1 : 1 : 6, до крупности 42 % класса –0,074 мм. Для оценки эффективности действия изучаемых реагентов выполнены опыты с осветительным керосином. Доверительный интервал по извлечению углерода в концентрат при доверительной вероятности 0,95 не превышал 0,31 %. Результаты флотации приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что предложенные собиратели при расходах $0,23 \cdot 10^{-3}$ и $0,25 \cdot 10^{-3}$ кг/т обеспечивают повышение извлечения углерода

в концентрат на 1,03–7,64 % при некотором снижении зольности концентратов. Наиболее эффективен циркуляционный газойль, содержащий высокомолекулярные парафиновые и алкилзамещенные ароматические углеводороды.

Таблица 3

Сравнительные результаты флотации графитовой руды

Наименование собирателя	Расход · 10 ⁻³ , кг/т		Извлечение углерода в концентрат, %	Зольность концентрата, %
	собирателя	Т-80		
Осветительный керосин	0,15	0,16	77,04	37,16
	0,20	0,16	79,31	40,04
	0,25	0,16	82,64	43,72
	0,28	0,18	83,41	46,64
Циркуляционный газойль	0,15	0,12	82,64	36,43
	0,20	0,12	86,37	38,29
	0,23	0,12	90,28	39,61
	0,25	0,15	91,07	43,12
Раствор крекинг-остатка	0,15	0,16	78,47	39,54
	0,20	0,16	81,32	41,65
	0,23	0,16	86,15	42,22
	0,28	0,18	87,85	47,72
Кубовый остаток ректификации полиалкилбензолов	0,15	0,10	77,02	34,85
	0,20	0,10	79,34	36,12
	0,25	0,10	83,67	37,83
	0,28	0,15	54,18	42,54

Для флотации графита предложен реагент ВКП, являющийся кубовым остатком ректификации продуктов синтеза 2-этилгексанола из масляного альдегида. Реагент представляет подвижную жидкость от желтого до коричневого цвета. Плотность 0,854 кг/дм³; вязкость $4,5 \cdot 10^{-7}$ м²/с; температура вспышки 351 К; заморозания 329 К; начала кипения 513 К. Растворимость в воде 2 %.

Состав реагента ВКП и массовая доля компонентов, %

Масляный альдегид	0,15
Изомасляный альдегид	0,08
Бутанол	0,20
Изобутанол	0,12
2-этилгексаналь	0,16
2-этилгексанол	14,12
Бутилформиат	9,44
Этилвалерант	7,87
Бутилбутират	0,81
Димеры 2-этилгексанола	26,13
Тримеры 2-этилгексанола	12,35

Из данных видно, что основными компонентами реагента ВКП являются 2-этилгексанол, его димеры и тримеры и сложные эфиры.

Результаты флотации графитовой руды с использованием реагента ВКП приведены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что реагент ВКП заменяет Т-80 при расходе керосина $0,25 \cdot 10^{-3}$ кг/т и обеспечивает повышение извлечения углерода в концентрат с 82,64 % до 85,79 % при одновременном снижении зольности с 43,72 % до 41,24 %.

Использование реагента ВКП на фабриках при флотации графитовых руд Тайгинского, Завальевского и Ботогольского месторождений позволило исключить из процесса Т-80, снизить расход керосина с 0,23 кг/т до 0,12 кг/т, с 0,396 кг/т до 0,197 кг/т и с 2,45 кг/т до 1,53 кг/т соответственно и повысить извлечение углерода в концентратах на 2,5 % и 0,71 % в случае переработки руд Тайгинского и Ботогольского месторождений. Одновременно зольность Тайгинского концентрата снизилась с 10,1 % до 9,3 %, а Ботогольского – с 6,96 % до 5,84 %.

Таблица 4

Показатели флотации графитовой руды с использованием реагентов ВКП, осветительного керосина и Т-80

Наименование и расход реагентов · 10 ⁻³ , кг/т			Извлечение углерода в концентрат, %	Зольность концентрата, %
Осветительный керосин	Т-80	ВКП		
0,25	0,16	–	82,64	43,72
0,25	–	0,16	85,79	41,24
0,15	–	0,16	83,81	40,04
0,10	–	0,16	78,34	37,27

Итак, эффективными собирателями для графита являются циркуляционный газойль, раствор крекинг-остатка и кубовый остаток ректификации полиалкилбензолов, содержащие в основном высокомолекулярные парафиновые и ароматические углеводороды и обладающие более высокой флотационной способностью по отношению к графиту, чем осветительный керосин.

Реагент ВКП, содержащий 2-этилгексанол, его димеры и тримеры, а также сложные эфиры, позволяет заменить Т-80 и снизить расход осветительного керосина при одновременном повышении технологических показателей флотации графитовых руд.

Альдегиды, кетоны и простые эфиры, имеющие низкую флотационную способность по отношению к графиту и содержащиеся в осветительном керосине, снижают его флотационную активность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хан Г. А., Габриелова Л. И., Власова Н. С. Флотационные реагенты и их применение. М.: Недра, 1986. 271 с.
2. Vasumathi N., Vijaya Kumar T. V., Ratchambigai S., Subba Rao S., Bhaskar Raju G. Flotation studies on low grade graphite ore from Eastern India // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 25. Issue 3. P. 415–420.
3. Kaya Ö. M., Canbazoglu M. A study on the floatability of graphite ore from yozgat akdağmadeni (turkey) // The Journal of Ore Dressing. 2007. Vol. 9. Issue 17. P. 40–44.
4. Ханчук А. И., Диденко А. Н., Рассказов И. Ю., Бердников Н. В., Александрова Т. Н. Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 3–12.
5. Hongqiang L. I., Leming O. U., Qiming Feng, Ziyong Chang. Recovery mechanisms of sericite in microcrystalline graphite flotation // Physicochem. Probl. Miner. Process. 2015, 51(2). P. 387–400.
6. Yangshuai Qiu, Yongfu Yu, Lingyan Zhang, Yupeng Qian, Zhijun Ouyang. An investigation of reverse flotation separation of sericite from graphite by using a surfactant: MF // Minerals, 2016, 6, 57. Doi:10.3390/min6030057.
7. Брагина В. И., Бакшеева И. И. Разработка технологии обогащения графитовых руд // ГИАБ. 2012. № 9. С. 133–137.
8. Dmitriev A., Basharin I., Bocharnikov V. Chemical purification of flakelike cryptocrystalline graphite powder // Annual World Conf. on Carbon 2011, Shanghai, China. Vol. 1. P. 180–182.
9. Дмитриев А. В., Бочарников В. А., Великоднева Е. Д., Башарин И. А. Химическое рафинирование чешуйчатого скрытокристаллического графита // Вестник Югорского государственного университета. 2014. Вып. 2 (33). С. 24–26.
10. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. М.: Горная книга, 2008. 710 с.

11. Grabowski B., Drzymala J. Graphite flotation in the presence of sodium acetate // *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia Wrocław Technical University*. Wrocław, Poland. 2008. Vol. LXIII, 6 sectio AA. P. 68–72.
12. Ravichandran V., Eswaraiiah C., Manisankar P. Beneficiation of low grade graphite ore deposits of Tamilnadu (India) // *Ultra Chemistry*. 2012. Vol. 8(2). P. 159–168.
13. Ryaboy V. I., Shepeta E. D., Kretov V. P., Levkovets S. E., Ryaboy I. V. Influence of the surface-active properties of the reagents containing sodium dialkyl-dithiophosphates on the flotation of sulfides // *Balkan Mineral Processing Congress*, 2015. Belgrade, June 17–19, 2015. Vol. 1. P. 321–326.
14. Чижевский В. Б. Физико-химические основы и интенсификация процесса флотации графитовых руд: дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 1990. 416 с.
15. Чижевский В. Б. Флотационные свойства спиртов // *Обогащение руд*. 1988. № 3. С. 16–19.
16. Чижевский В. Б., Шавакулева О. П. Влияние магнитно-импульсной обработки на измельчаемость и обогатимость титано-магнетитовой руды // *Обогащение руд*. 2016. № 4. С. 3–10.

Поступила в редакцию 26 января 2018 года

EFFECT OF COMPOSITION AND PROPERTIES OF REAGENTS ON FLOTATION OF GRAPHITE

Chizhevskii V. B., Fadeeva N. V., Gmyzina N. V. – Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, the Russian Federation. E-mail: magtu_opt@mail.ru

Determination of the flotation activity of various reagents was carried out on a device for free flotation. It was found that high-molecular alkanes, alkenes and alkylbenzenes are the most flotation-active. Aldehydes, ketones and ethers are ineffective and their presence in kerosene will reduce the effectiveness of its action. There was made a classification of the studied reagents in accordance with the effectiveness of their action in flotation of graphite. As a result of the analysis of products of various productions, products containing mainly high molecular weight paraffinic and aromatic hydrocarbons have been accepted for research. The ore of the Taiginskoye deposit was used, its mineralogical analysis showed that the main minerals are quartz, feldspar and mica. It was established that the use of selected reagents – circulating gas oil, cracked residue solution and polyalkylbenzenes distillation residue, provides an increase of carbon extraction into the concentrate compared to using kerosene. The composition and flotation activity of the reagent-VKP was studied. The reagent is a full-fledged substitute for T-80 for flotation of graphite and provides a reduction in kerosene consumption. The use of VKP reagent in factories during the flotation of graphite ores from the Taiginskoye, Zavalievsky and Botogolskoye fields allowed to exclude the T-80 from process, to reduce the kerosene consumption and increase the carbon extraction in the concentrates.

Key words: graphite; hydrocarbons; reagents; flotation; carbon; ash content; retrieval.

REFERENCES

1. Khan G. A., Gabriellova L. I., Vlasova N. S. *Flotatsionnye reagenty i ikh primeneniye* [Flotation reagents and their application]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 271p.
2. Vasumathi N., Vijaya Kumar T. V., Ratchambigai S., Subba Rao S., Bhaskar Raju G. Flotation studies on low grade graphite ore from Eastern India. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2015, vol. 25, issue 3, pp. 415–420.
3. Kaya Ö. M., Canbazoglu M. A study on the floatability of graphite ore from yozgat akdagmadeni (turkey). *The Journal of Ore Dressing*, 2007, vol. 9, issue 17, pp. 40 – 44.
4. Khanchuk A. I., Didenko A. N., Rasskazov I. Iu., Berdnikov N. V., Aleksandrova T. N. [Graphite shales as a prospective source of precious metals at the Far East of Russia]. *Vestnik DVO RAN – Bulletin of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2010, no. 3, pp. 3–12. (In Russ.)
5. Hongqiang L. I., Leming O. U., Qiming Feng, Ziyong Chang. Recovery mechanisms of sericite in microcrystalline graphite flotation. *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 2015, 51(2), pp. 387–400.
6. Yangshuai Qiu, Yongfu Yu, Lingyan Zhang, Yupeng Qian, Zhijun Ouyang. An investigation of reverse flotation separation of sericite from graphite by using a surfactant: MF. *Minerals*, 2016, 6, 57. Doi:10.3390/min6030057.
7. Bragina V. I., Baksheeva I. I. [Development of graphite ore concentration technology]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2012, no. 9, pp. 133–137. (In Russ.)
8. Dmitriev A., Basharin I., Bocharnikov V. Chemical purification of flakelike cryptocrystalline graphite powder. Annual World Conf. on Carbon 2011, Shanghai, China, vol. 1, pp. 180–182.
9. Dmitriev A. V., Bocharnikov V. A., Velikodneva E. D., Basharin I. A. [Chemical refining of flaky cryptocrystalline graphite]. *Vestnik Iugorskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Yugra State University*, 2014, issue 2 (33), pp. 24–26. (In Russ.)
10. Abramov A. A. *Flotatsionnye metody obogashcheniia* [Flotation methods of concentration]. Moscow, Gornaia kniga Publ., 2008. 710 p.
11. Grabowski B., Drzymala J. Graphite flotation in the presence of sodium acetate. *Annales universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia Wrocław Technical University*. Wrocław, Poland. 2008, vol. LXIII, 6 sectio AA, pp. 68–72.
12. Ravichandran V., Eswaraiiah C., Manisankar P. Beneficiation of low grade graphite ore deposits of Tamilnadu (India). *Ultra Chemistry*, 2012, vol. 8(2), pp. 159–168.

13. Ryaboy V. I., Shepeta E. D., Kretov V. P., Levkovets S. E., Ryaboy I. V. Influence of the surface-active properties of the reagents containing sodium dialkyl-dithiophosphates on the flotation of sulfides. Balkan Mineral Processing Congress, 2015. Belgrade, June 17–19, 2015, vol. 1, pp. 321–326.
 14. Chizhevskii V. B. *Fiziko-khimicheskie osnovy i intensivatsiia protsessy flotatsii grafitovykh rud: dis. d-ra tekhn. nauk* [Physical and chemical foundations and the intensification of the process of graphite ore flotation. Doc. eng. sci. diss.]. Magnitogorsk, 1990. 416 p.
 15. Chizhevskii V. B. [Spirits flotation properties]. *Obogashchenie Rud – Mineral Processing*, 1988, no. 3, pp. 16–19. (In Russ.)
 16. Chizhevskii V. B., Shavakuleva O. P. [The effect of pulse-magnetic processing of the grindability and dressability of titanomagnetite ore]. *Obogashchenie Rud – Mineral Processing*, 2016, no. 4, pp. 3–10. (In Russ.)
-

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.278.06: 662.746.6

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-3-90-99

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ УГЛЯ В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ДЕФИЦИТЕ НЕОБХОДИМЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

ЗАКОРШМЕННЫЙ И. М., КУБРИН С. С., ЯНЧЕНКО Г. А.

При переходе горных работ на большие глубины, в более сложные горно-геологические условия, возрастает риск аварий, связанных с простоями, поломкой или утратой горно-технологического оборудования, возможными травмами и человеческими жертвами. В последние годы выполняется «Комплексная программа поэтапной ликвидации убыточных шахт, расположенных на территории городов Прокопьевска, Киселевска, Анжеро-Судженска, и переселения жителей с подработанных территорий». В Программу попали 12 шахт, при этом некоторые из них являются градообразующими. Представляется перспективным для отработки оставшихся запасов угля использовать технологии, предусматривающие термическую переработку угля в месте его залегания с помощью подземной газификации. Экономическая эффективность работы подземного газогенератора зависит от многих факторов: геометрических, технологических, технических параметров; марки угля и его физико-химических свойств, которые в той или иной мере характеризуют показатели материального баланса процесса сжигания угля в подземных условиях. Для конкретного вида угля разработаны подходы к расчету показателей материального баланса при сжигании угля. Однако достоверные данные о некондиционных запасах и запасах в маломощных пластах практически отсутствуют. Статья посвящена разработке схемы расчета показателей материального баланса процесса сжигания угля в подземных условиях, когда отсутствует требуемый объем исходных данных. Проведен анализ существующих подходов, выявлены их достоинства и недостатки. Получены соотношения, связывающие объем сухого воздуха, объем продуктов сгорания, объем паров воды с теплотой сгорания угля и с учетом марочного состава. Анализ точности расчетов объема продуктов сгорания по полученной формуле на основе данных натуральных экспериментов показал, что средняя погрешность составляет 1,5 %, а наибольшая не превышает 5 %. Полученная схема может быть использована при расчете показателей материального баланса процесса сжигания угля в подземных условиях для ликвидируемых шахт согласно «Комплексной программе».

Ключевые слова: подземный газогенератор; подземное сжигание угля; материальный баланс сжигания угля; объем воздуха для сжигания; элементный состав угля; объем продуктов сгорания; влагосодержание; температура сгорания; объем паров воды.

В настоящее время в России значительная часть добычи угля осуществляется подземным способом. Переход на глубокие горизонты, большая газоносность пластов, высокая нарушенность, пожароопасность, выбросоопасность и обводненность месторождений сопровождается снижением технико-экономических

Закоршменный Иосиф Михайлович – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник. 111020, г. Москва, Крюковский туп., 4, Институт проблем комплексного освоения недр РАН. E-mail: i_zakorshmenniy@mail.ru

Кубрин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией. 111020, г. Москва, Крюковский туп., 4, Институт проблем комплексного освоения недр РАН. E-mail: s_kubrin@mail.ru

Янченко Геннадий Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля. 119991, г. Москва, Ленинский просп., 4, Горный институт Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». E-mail: yanchenkoga@kmail.ru

показателей, несмотря на огромные затраты по разработке и внедрению средств комплексной механизации очистных работ. Негативным фактором является высокий уровень потерь угля. Анализ списка ликвидируемых убыточных шахт показывает, что некоторые из них являются градообразующими и поставляют энергетические угли для местных нужд. В этих условиях перспективным представляется использование технологий, предусматривающих термическую переработку угля в месте его залегания [1, 2]. Данная технология активно развивается с 1980-х гг. [3]. Промышленное использование технологии показало ее эффективность и возможность применения в регионах с быстрорастущим спросом на энергию [4]. Накопленный опыт термической переработки угля в местах его залегания позволил выявить ряд характерных недостатков этой технологии и показал, что их устранение принципиальных трудностей не вызывает. Это позволяет утверждать об эффективном ее применении в большинстве угольных бассейнов РФ [5, 6, 7]. При этом в сферу промышленного производства может быть вовлечена часть оставшихся в целиках балансовых и забалансовых запасов. Пласты, опасные по геогазодинамическим явлениям, высокогазоносные пласты, пласты, горные работы на которых осложнены горно-геологическими условиями, не являются препятствием для организации безопасного производства. Анализ результатов выполненных промышленных и экспериментальных исследований показал необходимость поиска новых подходов к расчетам параметров подземных газогенераторов [8]. С целью оптимизации параметров процессов исследования ведутся по многим направлениям. Важное значение имеет шаг заложения скважин и расход дутья [9]. Оценивается влияние состава агентов, подаваемых в подземный генератор, например кислорода, на состояние вмещающих пород [10], использование CO_2 для этих целей [11] и т. д. Одним из важнейших этапов определения эффективности технологии термической переработки угля в месте его залегания является расчет показателей материального баланса.

Определение теоретически необходимого объема воздуха для полного сжигания 1 кг рабочей массы угля, т. е. при отсутствии потерь воздуха и продуктов сгорания в окружающую среду, проводится без учета того, находятся ли горючие элементы угля в каких-либо определенных соединениях или химическая формула этих соединений неизвестна. Принимают во внимание только содержание горючих элементов в рабочей массе угля и стехиометрические соотношения между расходом воздуха и горючих элементов при полном окислении последних.

При известном элементном составе сжигаемого угля расчет теоретического объема сухого воздуха, отнесенного к нормальным физическим условиям, $V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)$, нор. м³/кг угля, где $P_0 = 273,15$ К; $T_0 = 101325$ Па – абсолютные давление и температура, определяющие нормальные физические условия, осуществляется по известной нормативной формуле [4, 5, 6]:

$$V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0) = 0,0889C^r + 0,265H^r + 0,0333(S_c^r - O^r), \quad (1)$$

где C^r, H^r, S_c^r, O^r – содержание углерода, водорода, горючей серы и кислорода в рабочей массе угля, массовая доля, %.

Переход к теоретическому объему реального атмосферного воздуха $V_{\text{в.}}^0(P_0, T_0)$ осуществляется следующим образом [7, 8]:

$$V_{\text{в.}}^0(P_0, T_0) = V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)(1 + 1,607d_{\text{м.в.}}) = V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)(1 + 1,243d_{\text{а.в.}}),$$

где $d_{\text{м.в.}}$ – размерное массовое влагосодержание воздуха, кг пара/кг сух. возд.; $d_{\text{а.в.}}$ – отнесенное к нормальным физическим условиям абсолютное влагосодержание воздуха, кг пара/нор. м³ сух. возд.

При нормативном влагосодержании воздуха, когда $d_{м.в} = 10$ г пара/кг сух. возд., а $d_{а.в} = 12,928$ г пара/нор. м³ сух. возд., $V_B^0(P_0, T_0) \approx 1,016 V_{с.в}^0(P_0, T_0)$.

Анализ отношений $V_B^0(P_0, T_0) / V_{с.в}^0(P_0, T_0)$ показывает, что при относительно невысоких температурах поступающего в зону горения (ЗГ) воздуха ($T_B \leq 300$ К), что имеет место при отсутствии его подогрева, $V_B^0(P_0, T_0)$ превышает $V_{с.в}^0(P_0, T_0)$ не более чем на 2–4 %. Поэтому в расчетах, не претендующих на высокую точность, при этих T_B можно принимать $V_B^0(P_0, T_0) = V_{с.в}^0(P_0, T_0)$.

Реальные условия сгорания угля в ЗГ довольно сильно отличаются от идеальных, поэтому реальный теоретический объем воздуха V_B , обеспечивающий сгорание 1 кг рабочей массы угля, отличается от V_B^0 и определяется как

$$V_B(P_0, T_0) = \alpha_B V_B^0(P_0, T_0),$$

где α_B – коэффициент избытка воздуха, при наличии в продуктах сгорания свободного кислорода $\alpha_B > 1,0$, $\alpha_B < 1,0$ при появлении в продуктах сгорания горючих газов. Определяется α_B только экспериментально на основании данных газового анализа продуктов сгорания на выходе из ЗГ.

Расчет $V_B^0(P_0, T_0)$ по приведенным ранее формулам несложен, однако требует знания элементного состава углей. В современной технической литературе имеются данные об элементном составе всех углей бывшего СССР. Однако эти данные усреднены в целом по месторождению и в основном характеризуют балансовые запасы углей. Технология подземного сжигания угля для получения тепловой энергии зачастую предназначена для отработки тех угольных запасов и месторождений, которые не относились изначально к балансовым. Элементный состав этих углей может довольно сильно отличаться от справочных данных. Определение элементного состава углей – задача довольно трудоемкая. Однако большой необходимости в этом нет.

Проведенный анализ литературных источников показал, что к настоящему времени в литературе предложено несколько методов приближенных расчетов $V_B^0(P_0, T_0)$ в основу которых положены низшая теплота сгорания рабочей массы углей Q_i^r и общая влага W_i^r рабочей массы углей.

Методы приближенных расчетов $V_{с.в}^0(P_0, T_0)$ основаны на правиле Вельтера–Бертье, которое линейно связывает физическую сторону процесса горения (расходы воздуха и продуктов сгорания) с химической (количество тепла, выделенного при сгорании).

Первым формулу для приближенного расчета $V_{с.в}^0(P_0, T_0)$ предложил Д. И. Менделеев [12], в системе СИ она записывается как

$$V_{с.в}^0(P_0, T_0) = 2,65 \cdot 10^{-4} Q_i^r, \quad (2)$$

где Q_i^r – низшая теплота сгорания рабочей массы угля, кДж/кг угля.

Аналогичная формула для углей была предложена учеником Д. И. Менделеева Д. П. Коноваловым [12]:

$$V_{с.в}^0(P_0, T_0) = 2,63 \cdot 10^{-4} Q_i^r. \quad (3)$$

В работе [13] для расчета $V_{с.в}^0(P_0, T_0)$ при сжигании углей предложена формула в виде:

$$V_{с.в}^0(P_0, T_0) = 2,4 \cdot 10^{-4} Q_i^r + 0,5. \quad (4)$$

Анализ этих формул показывает следующие их недостатки. В них не учитывается, что угли при $Q_i^r = \text{const}$ могут содержать разное количество связанного O_2 , а также не учтена величина W_i^r углей.

Эти факторы были учтены при разработке теплотехнических расчетов по приведенным характеристикам топлива. Работы в этом направлении были начаты С. Я. Корницким [14] и продолжены Я. Л. Пеккером [15]. Проведенные ими статистические исследования углей бывшего СССР позволили получить формулу для расчета $V_{с.в.}^0(P_0, T_0)$ в виде:

$$V_{с.в.}^0(P_0, T_0) = a(Q_i^r + 25,1W_i^r)/4186, \quad (5)$$

где a – обобщенный статистический коэффициент, усредненный по базовым группам углей; W_i^r – массовая доля общей влаги, %. При этом С. Я. Корницкий разбил все угли на четыре базовые группы, а Я. Л. Пеккер – на восемь. Значения коэффициентов a , по С. Я. Корницкому, приведены в табл. 1, а по Я. Л. Пеккеру – в табл. 2.

Таблица 1

Значения обобщенных статистических коэффициентов для расчетов $V_{с.в.}^0(P_0, T_0)$ и $V_{г.}^0(P_0, T_0)$, по С. Я. Корницкому

Угли	a	b
Бурые	1,085	1,166
Каменные пламенные	1,095	1,160
Каменные тощие	1,100	1,149
Антрациты	1,100	1,133

В группу пламенных углей включены угли с выходом летучих на сухое беззольное состояние $V^{daf} > 20\%$, а в группу тощих – с $V^{daf} \leq 20\%$ (массовая доля).

В справочном пособии [16] для расчета $V_{с.в.}^0(P_0, T_0)$ при сжигании углей предложены следующие эмпирические формулы:

для бурых и каменных углей с $Q_i^r \leq 21770$ кДж/кг

$$V_{с.в.}^0(P_0, T_0) = 2,6 \cdot 10^{-4} Q_i^r + 0,0066W_i^r - 0,03; \quad (6)$$

для бурых и каменных углей с $Q_i^r > 21770$ кДж/кг

$$V_{с.в.}^0(P_0, T_0) = 2,68 \cdot 10^{-4} Q_i^r + 0,0066W_i^r - 0,19; \quad (7)$$

для антрацитов

$$V_{с.в.}^0(P_0, T_0) = 2,62 \cdot 10^{-4} Q_i^r + 0,0066W_i^r - 0,01.$$

Оценка погрешностей ε_n рассмотренных приближенных формул (2)–(8) была сделана путем сравнения значений $V_{с.в.}^0(P_0, T_0)$, рассчитанных по нормативной формуле (1) и по приближенным формулам. Анализ полученных результатов показал следующее. При сгорании каменных углей и антрацитов все приближенные формулы дают приблизительно одинаковую погрешность. В среднем она не превышает 1%. Исключение составляет формула (4) для антрацитов. В них погреш-

ность формулы (4) увеличивается в несколько раз. В бурых углях, характеризующихся довольно большими величинами W_i^r наименьшую погрешность дают формулы (5)–(8). У них погрешность определения $V_{с.в}^0(P_0, T_0)$ не превышает 1,5 %, что в 2–4 раза меньше погрешности формул (2)–(4).

Таким образом, при расчетах $V_{с.в}^0(P_0, T_0)$ отпадает необходимость знать точный элементный состав углей. Вполне достаточно знать вид сжигаемого угля и два показателя – Q_i^r и W_i^r . Определение Q_i^r углей в настоящее время не составляет большой трудности, так как разработан метод довольно точной оценки этой величины на базе трех основных показателей технического анализа углей: W_i^r , V^{daf} и зольности углей на сухое состояние A^d . Определение этих трех показателей осуществляется довольно легко.

Таблица 2

Значения обобщенных статистических коэффициентов для расчетов $V_{с.в}^0(P_0, T_0)$ и $V_r^0(P_0, T_0)$, по Я. Л. Пеккеру

Угли	a	b	Δ	$x, \%$
Донецкие антрациты	1,11	1,14	0,013	19,9
Донецкие полуантрациты	1,11	1,14	0,018	19,0
Донецкие тощие угли	1,11	1,16	0,036	18,5
Недонецкие тощие угли	1,10	1,16	0,038	18,7
Каменные угли	1,10	1,16	0,050	18,2
Бурые угли с $V^{daf} \leq 45 \%$ (массовая доля)	1,09	1,18	0,055	19,4
Бурые угли с $V^{daf} > 45 \%$ (массовая доля)	1,10	1,19	0,075	18,6
Бурые угли Канско-Ачинского бассейна ($V^{daf} \approx 48 \%$ (массовая доля))	1,08	1,17	0,070	19,4

В группу тощих углей включены каменные угли с $V^{daf} \leq 20 \%$ (массовая доля).

Теоретический объем продуктов полного сгорания 1 кг рабочей массы угля $V_r^0(P_0, T_0)$ имеет место при сгорании угля в теоретическом объеме воздуха $V_B^0(P_0, T_0)$ при отсутствии потерь воздуха и продуктов сгорания в окружающую среду:

$$V_r^0(P_0, T_0) = V_{с.г}^0(P_0, T_0) + V_{п.в}^0(P_0, T_0),$$

где $V_{с.г}^0(P_0, T_0)$, $V_{п.в}^0(P_0, T_0)$ – отнесенные к нормальным физическим условиям теоретические объемы сухих продуктов сгорания и паров воды, нор. м³/кг угля.

При известном элементном составе угля величина $V_r^0(P_0, T_0)$ применительно к процессу сжигания угля в подземных условиях определяется по известной нормативной формуле с дополнительным слагаемым, учитывающим увеличение объема продуктов сгорания за счет испарения воды внешнего водопритока:

$$V_r^0(P_0, T_0) = 0,0187(C^r + 0,375S_c^r) + 0,008N^r + 0,79V_{с.в}^0(P_0, T_0) + 0,111H^r + 0,01243W_i^r + 1,243d_{ав} V_{с.в}^0(P_0, T_0) + 1,243g_{вод} \quad (9)$$

где N^r, H^r – содержание азота и водорода в рабочей массе угля, массовая доля, %; $g_{вод}$ – величина удельного внешнего водопритока в ЗГ, т. е. масса воды, приходящаяся на 1 кг сгораемого угля, кг воды/кг угля.

Реальный теоретический объем продуктов полного сгорания $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ больше $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ на величину объема избыточно поступающего в зону горения сухого воздуха $\Delta V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0) = (\alpha_{\text{в}} - 1)V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)$ и объема содержащихся в избыточном воздухе паров воды $\Delta V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0) = 1,243d_{\text{а.в.}}(\alpha_{\text{в}} - 1)V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)$. Соответственно:

$$\begin{aligned} V_{\Gamma}(P_0, T_0) &= V_{\Gamma}^0(P_0, T_0) + \Delta V_{\text{с.в.}}(P_0, T_0) + \Delta V_{\text{п.в.}}(P_0, T_0) = \\ &= V_{\Gamma}^0(P_0, T_0) + (\alpha_{\text{в}} - 1)V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)(1 + 1,243d_{\text{а.в.}}). \end{aligned}$$

Расчет $V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)$ и $V_{\text{с.г.}}^0(P_0, T_0)$ с использованием формул (1) и (9), проведенный для абсолютного большинства углей бывшего СССР, показывает, что $V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0) > V_{\text{с.г.}}^0(P_0, T_0)$. Разница между ними тем больше, чем выше содержание в угле так называемого свободного водорода (Н – 0,1250), т. е. H_2 за вычетом эквивалентного по массе O_2 . Однако разница между $V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)$ и $V_{\text{с.г.}}^0(P_0, T_0)$ не очень большая, не более 4 % по объему. В среднем можно принять $V_{\text{с.г.}}^0(P_0, T_0) \approx 0,98V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)$. Учитывая, что для воздуха с нормативным влагосодержанием $V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0) \approx 0,98V_{\text{в.}}^0(P_0, T_0)$ получим взаимосвязь между $V_{\text{с.г.}}^0(P_0, T_0)$ и $V_{\text{в.}}^0(P_0, T_0)$ в следующем виде: $V_{\text{с.г.}}^0(P_0, T_0) \approx 0,96V_{\text{в.}}^0(P_0, T_0)$.

Разница между $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ и $V_{\text{с.г.}}^0(P_0, T_0)$ даже при $g_{\text{вод}} = 0$ изменяется в довольно широких пределах – от 4–6 % у антрацитов с $W_{\Gamma}^r = 4–7$ % до 20–30 % у бурых углей с $W_{\Gamma}^r = 20–50$ %. Также сильно влияет на величину $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ и внешний водоприток. Один килограмм поступающей в ЗГ воды увеличивает $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ на 10–40 %. Поэтому для уменьшения ошибки в расчетах $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ нужно обеспечить максимальную точность в определении $g_{\text{вод}}$.

Для приближенных расчетов $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ также предложено несколько формул, в основу которых положены те же принципы, что и для приближенных расчетов $V_{\text{с.в.}}^0(P_0, T_0)$.

В работе [16] для углей предложена формула:

$$V_{\Gamma}^0(P_0, T_0) = 2,1 \cdot 10^{-4} Q_{\Gamma}^r + 0,5. \quad (10)$$

В рассмотренных ранее работах [6, 10] для расчетов $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ предложена однотипная формула:

$$V_{\Gamma}^0(P_0, T_0) = b \frac{Q_{\Gamma}^r + 25,1W_{\Gamma}^r}{4186} + 0,01243W_{\Gamma}^r, \quad (11)$$

где b – обобщенный статистический коэффициент, усредненный по базовым группам углей, значения которого приведены в табл. 1 и 2.

В работе [17] предложено рассчитывать величину $V_{\Gamma}^0(P_0, T_0)$ с помощью показателя максимального теплосодержания 1 нор. м³ сухих продуктов сгорания, которая, по утверждению автора, является обобщенной константой для каждого вида углей. Использованный М. Б. Равичем показатель теплосодержания на самом деле есть изменение объемной энтальпии сухих продуктов сгорания угля в воздухе $\Delta i_{\text{с.г.}}$ в диапазоне температур от T_0 до конечной температуры продуктов сгорания T_{Γ} . Формула предложена в виде:

$$V_{\text{с.г.}}^0(P_0, T_0) = \frac{Q_{\Gamma}^r}{\Delta i_{\text{с.г.}}}. \quad (12)$$

Для бурых углей $\Delta_{c.g} = 3705$ кДж/нор. м³, каменных – 3823 кДж/нор. м³, антрацитов – 3801 кДж/нор. м³.

Формулы (10) и (11) справедливы для воздуха с нормативным влажосодержанием $d_n^b = 0,012928$ кг пара/нор. м³ сух. возд. и $g_{\text{вод}} = 0$. Во всех приведенных ранее формулах Q_i^r измеряется в кДж/нор. м³.

Выполненная оценка точности формул (10)–(12) показала, что все они дают вполне приемлемую для практики точность в расчетах $V_{c.g}^0(P_0, T_0)$ и $V_r^0(P_0, T_0)$ – $\varepsilon_n = 1,20$ – $5,26$ %. Наименьшую погрешность, $\varepsilon_n = 1,34$ – $1,61$ % дает формула (11) с обобщенным коэффициентом Я. Л. Пеккера.

Формулы (10) и (11) можно легко преобразовать для приближенных расчетов $V_r^0(P_0, T_0)$ при подземном сжигании угля. Для этого в них надо добавить слагаемое $(\alpha_b - 1)[1,243(d_{a.b} - d_n^b)]V_{c.b}^0 + 1,243g_{\text{вод}}$.

Дальнейший статистический анализ, устанавливающий взаимосвязь между Q_i^r , W_t^r разных марок углей и компонентами продуктов полного их сгорания, позволил получить Я. Л. Пеккеру [15] также и приближенные формулы для расчетов

теоретического объема сухих трехатомных газов $V_{\text{RO}_2}^0 = V_{\text{CO}_2}^0 + V_{\text{SO}_2}^0$:

$$V_{\text{RO}_2}^0(P_0, T_0) = 0,01ax \frac{Q_i^r + 25,1W_t^r}{4186};$$

теоретического объема сухих продуктов сгорания:

$$V_{c.g}^0(P_0, T_0) = (0,79 + 0,01x)a \frac{Q_i^r + 25,1W_t^r}{4186}; \quad (13)$$

теоретического объема паров воды при $d_{a.b} = 0$ и $g_{\text{вод}} = 0$:

$$V_{п.в}^0(P_0, T_0) = [\Delta + 0,01a(21 - x)] \frac{Q_i^r + 25,1W_t^r}{4186} + 0,01243W_t^r, \quad (14)$$

где $V_{\text{RO}_2}^0(P_0, T_0)$, $V_{c.g}^0(P_0, T_0)$, $V_{п.в}^0(P_0, T_0)$ – нор. м³/кг угля; a , Δ , x – обобщенные статистические коэффициенты, приведенные в табл. 2.

Формула (14) учитывает объем паров воды, образованных путем сгорания водорода угля и испарения общей влаги. Учитывая дополнительное поступление паров воды в продукты сгорания с воздухом и за счет испарения воды подземного водопритока, получим формулу для приближенного расчета теоретических продуктов сгорания в подземных условиях в виде:

$$V_r^0(P_0, T_0) = [\Delta + a] \frac{Q_i^r + 25,1W_t^r}{4186} + 0,01243W_t^r + 1,243d_{a.b} V_{c.b}^0 + 1,243g_{\text{вод}}.$$

Учитывая формулу (5), представим (15) в окончательном виде:

$$V_r^0(P_0, T_0) = [\Delta + a(1 + 1,243d_{a.b})] \frac{Q_i^r + 25,1W_t^r}{4186} + 0,01243W_t^r + 1,243d_{a.b} V_{c.b}^0 + 1,243g_{\text{вод}}. \quad (16)$$

Принимая во внимание уравнения (5) и (13), получим приближенную взаимосвязь между $V_{c.в}^0(P_0, T_0)$ и $V_{c.г}^0(P_0, T_0)$:

$$\frac{V_{c.в}^0(P_0, T_0)}{V_{c.г}^0(P_0, T_0)} = \frac{100}{79 + x}, \quad (17)$$

учитывая которую, получим выражение для приближенного расчета реального объема сухих продуктов сгорания $V_{c.в}^0(P_0, T_0)$ при $\alpha_B > 1,0$:

$$V_{c.г}(P_0, T_0) = (\alpha_B + 0,01x - 0,21)V_{c.в}^0(P_0, T_0).$$

Наличие довольно большого различия в величинах левой и правой частей взаимосвязи (17) является косвенным показателем наличия в уходящих из ЗГ газах продуктов неполного сгорания угля. Их содержание определяется при газовом анализе.

Анализ точности расчетов $V_{c.г}^0(P_0, T_0)$ по формуле (16), выполненный с использованием данных, полученных в ходе натуральных экспериментов [18, 19], показал, что средняя погрешность в расчетах имеет место при $g_{\text{вод}} = 0$ и составляет 1,5 %, а наибольшая не превышает 5 %. При увеличении $g_{\text{вод}}$ она резко снижается и при $g_{\text{вод}} \geq 2,0$ погрешность приближенной формулы (16) становится практически такой же, как и точной формулы (9). Таким образом, при отсутствии сведений по элементному составу сжигаемых углей расчет $V_{c.г}^0(P_0, T_0)$ принципиальных затруднений также не вызовет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крейнин Е. В. Нетрадиционные термические технологии добычи трудноизвлекаемых топлив: уголь, углеводородное сырье. М.: ИРЦ Газпром, 2004. 302 с.
2. Ржевский В. В. Проблемы горной промышленности и комплекса горных наук. М.: Ладья, 1991. 244 с.
3. Vyas D. U. and Singh R. P. Worldwide developments in UCG and Indian initiative. Proc. Earth Planet Sci. 2015. Vol. 11. P. 29–37.
4. Greg Perkins, Ernest du Toit, Greg Cochrane, and Grant Bollaert Overview of underground coal gasification operations at Chinchilla, Australia. Energy sources, part A: Recovery, utilization, and environmental effects 2016. Vol. 38. No. 24. P. 3639–3646.
5. Прошунин Ю. Е., Потурилов А. М. О перспективах и направлениях развития технологии подземной газификации каменных и бурых углей // Кокс и химия. 2016. № 10. С. 11–22.
6. Белов А. В., Гребенюк И. В., Кинаев Н. Н., Бабаев А. Ю. Перспективы применения технологии подземной газификации в условиях угольных месторождений Дальнего Востока России // ГИАБ. 2015. № S7-31. С. 14–20.
7. Качурин Н. М., Богданов С. М., Воробьев С. А., Васильев П. В. Перспективы восстановления и комплексного развития Подмосковского буроугольного бассейна // Горный журнал. 2016. № 2. С. 30–35.
8. Загоршменный И. М., Кубрин С. С. Расчет диффузии кислорода к углеродной стенке с помощью дробной производной Летникова // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 6. С. 105–115.
9. Ковалев Р. А., Болотов Г. С., Кононенко И. А., Савин В. И. Оценка параметров, влияющих на газификацию твердых топлив // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. Вып. 8. Ч. 2. С. 132–144.
10. Liu S., Qi C., Zhang S., Deng Y. Minerals in the ash and slag from oxygen-enriched underground coal gasification. Minerals, 2015. Vol. 11. 27 p.
11. Duan T. H., Lu C. P., Xiong S., Fu Z. Bin, and Chen Y. Z. Pyrolysis and gasification modelling of underground coal gasification and the optimization of CO₂ as a gasification agent. Fuel, 2016. Vol. 183. P. 557–567.
12. Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования. М.: Наука, 1971. 358 с.
13. Расчеты нагревательных печей / под ред. Н. Ю. Тайца. Киев: Техника, 1979. 540 с.
14. Корницкий С. Я. Унификация паровых котлов. М.: Госэнергоиздат, 1947. 132 с.
15. Пеккер Я. Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива (обобщенные методы). М.: Энергия, 1977. 256 с.
16. Панин В. И. Справочное пособие теплоэнергетика жилищно-коммунального хозяйства. М.: Стройиздат, 1970. 415 с.

17. Равич М. Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. Теплотехнические расчеты по обобщенным константам продуктов горения. М.: Наука, 1964. 366 с.

18. Селиванов Г. И., Загоршменный И. М., Янченко Г. А. Анализ извлечения энергии при подземном сжигании угольных охранных целиков газогенератора № 15 Южно-Абинской станции «Подземгаз» // Защита окружающей среды при разработке угольных месторождений: сб. статей. Караганда: Карагандинское обл. правление Союза научн. и инж. обществ СССР, 1991. С. 32–42.

19. Загоршменный И. М., Янченко Г. А. Определение области эффективного использования технологии термохимической переработки оставленных запасов угля с получением электрической энергии // Тез. докл. отчетной конф.-выставки по подпрограмме «Топливо и энергия» науч.-техн. программы «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники». М.: МЭИ, 2001. С. 132–133.

Поступила в редакцию 26 декабря 2017 года

PERFORMANCE CALCULATION OF THE MATERIAL BALANCE OF COMBUSTION PROCESS OF COAL IN UNDERGROUND CONDITIONS WITH A DEFICIT OF NECESSARY SOURCE DATA

Zakorshmennyi I. M., Kubrin S. S. – Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, the Russian Federation. E-mail: i_zakorshmennyi@mail.ru

Ianchenko G. A. – Mining Institute, National Research Technological University “MISIS”, Moscow, the Russian Federation. E-mail: yanchenkoga@kmail.ru

Mining to greater depths, into more difficult mining-geological conditions, leads to increased accident risks associated with downtime, damage or loss of mining process equipment, and injuries and victims of mining workers. In recent years, “Integrated program for the phased elimination of unprofitable mines, located in the territory of cities of Prokopyevsk, Kiselevsk, Anzhero-Sudzhensk, and relocation of residents of undermined areas” is carried out. The Program includes 12 mines; at that, some of them are town-forming. For the extraction of the remaining reserves it seems to be promising to use technologies involving thermal processing of coal in the place of its occurrence using the technology of underground gasification of coal. The economic efficiency of underground gas generator depends on many factors: geometric, technological, and engineering parameters, grade of coal, its physical and chemical properties that in varying degrees characterize the indicators of a material balance of coal combustion process in underground conditions. For a specific type of coal, approaches to calculation of indicators of material balance in coal combustion have been developed. However, reliable data about non-conforming stocks and stocks in the low layers are virtually absent. The article is devoted to the development of the scheme of calculating the material balance of coal combustion in underground conditions, when there is no required amount of input data. The analysis of existing approaches has been fulfilled; their strengths and weaknesses have been identified. The ratio between the volume of dry air, the volume of combustion products, and the amount of water vapor with the heat of coal combustion and with the account of grade composition has been obtained. Analysis of the accuracy of calculations of combustion products volume obtained by the formula based on the data of field experiments showed that the average error in the calculations is 1.5%, and the largest does not exceed 5%. The calculated scheme can be used in the calculation of indicators of material balance of the combustion process of coal in underground conditions for liquidated mines in accordance with “Integrated program”.

Key words: underground gas generator; underground coal combustion; material balance of coal combustion; air volume for combustion; elemental composition of the coal; combustion products volume; moisture content; combustion temperature; amount of water vapor.

REFERENCES

1. Kreinin E. V. *Netraditsionnye termicheskie tekhnologii dobychi trudnoizvlekaemykh topliv: ugol', uglevodorodnoe syr'e* [Unconventional thermal technologies of mining hard-to-recover reserves: coal and hydrocarbon crude]. Moscow, IRTs Gazprom Publ., 2004. 302 p.
2. Rzhenskii V. V. *Problemy gornoi promyshlennosti i kompleksa gornykh nauk* [Problems of the mining industry and the complex of mining sciences]. Moscow, Lad'ia Publ., 1991. 244 p.
3. Vyas D. U. and Singh R. P. Worldwide developments in UCG and Indian initiative. *Proc. Earth Planet Sci.*, 2015, vol. 11, pp. 29–37.
4. Greg Perkins, Ernest du Toit, Greg Cochrane, and Grant Bollaert Overview of underground coal gasification operations at Chinchilla, Australia. *Energy sources, part A: Recovery, utilization, and environmental effects* 2016, vol. 38, no. 24, pp. 3639–3646.
5. Proshunin Iu. E., Poturilov A. M. [Regarding the prospects and the directions of mineral coal and brown coal underground gasification technology]. *Koks i khimiia – Coke and Chemistry*, 2016, no. 10, pp. 11–22. (In Russ.)
6. Belov A. V., Grebeniuk I. V., Kinaev N. N., Babaev A. Iu. [Application problems of the technology of underground gasification in conditions of the coal deposits of the Russian Far East]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, no. S7-31, pp. 14–20. (In Russ.)
7. Kachurin N. M., Bogdanov S. M., Vorob'ev S. A., Vasil'ev P. V. [The prospects of reconstructing and integrated development of Podmoskovye basin of brown coal]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2016, no. 2, pp. 30–35. (In Russ.)

8. Zakorshmennyy I. M., Kubrin S. S. [Calculation of oxygen diffusion to carbon wall with the help of Letnikov fractional derivative]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyy zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no. 6, pp. 105–115. (In Russ.)
 9. Kovalev R. A., Bolotov G. S., Kononenko I. A., Savin V. I. [Estimating the parameters which influence the gasification of solid fuel]. *Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki – Proceedings of the TSU. Engineering Science*, 2015, issue 8, pt. 2, pp. 132–144. (In Russ.)
 10. Liu S., Qi C., Zhang S., Deng Y. Minerals in the ash and slag from oxygen-enriched underground coal gasification. *Minerals*, 2015, vol. 11. 27 p.
 11. Duan T. H., Lu C. P., Xiong S., Fu Z. Bin, and Chen Y. Z. Pyrolysis and gasification modelling of underground coal gasification and the optimization of CO₂ as a gasification agent. *Fuel*, 2016, vol. 183, pp. 557–567.
 12. Ravich M. B. *Toplivo i effektivnost' ego ispol'zovaniia* [Fuel and its application efficiency]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 358 p.
 13. *Raschety nagrevatel'nykh pechei / pod red. N. Iu. Taitsa* [Heating furnace calculation. Edited by N. Iu. Taita]. Kiev, Tekhnika Publ., 1979. 540 p.
 14. Kornitskii S. Ia. *Unifikatsiia parovykh kotlov* [Steam boilers unification]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1947. 132 p.
 15. Pekker Ia. L. *Teplotekhnicheskie raschety po privedennym kharakteristikam topliva (obobshchennye metody)* [Heat power engineering calculation over the given characteristics of fuel (generalized methods)]. Moscow, Energiia Publ., 1977. 256 p.
 16. Panin V. I. *Spravochnoe posobie teploenergetika zhilishchno-kommunal'nogo khoziaistva* [A reference book of municipal engineering heat power engineering]. Moscow, Stroizdat Publ., 1970. 415 p.
 17. Ravich M. B. *Uproshchennaia metodika teplotekhnicheskikh raschetov. Teplotekhnicheskie raschety po obobshchennym konstantam produktov goreniia* [Simple methods of heat power engineering calculations. Heat power engineering calculations over the generalized constants of combustion products]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 366 p.
 18. Selivanov G. I., Zakorshmennyy I. M., Ianchenko G. A. [Analysis of energy extraction at underground combustion of coal protective pillars of gas generator no. 15 of the South-Abinsk station “Podzemgaz”]. *Zashchita okruzhaiushchei sredy pri razrabotke ugol'nykh mestorozhdenii: sb. statei* [Collection of works “Environmental protection under the exploitation of coal deposits”]. Karaganda, Karagandinskoe obl. pravlenie Soiuzna nauchn. i inzh. obshchestv SSSR Publ., 1991, pp. 32–42. (In Russ.)
 19. Zakorshmennyy I. M., Ianchenko G. A. [Determination of the sphere of efficient application of the technology of thermochemical processing of abandoned coal reserves with the production of electric energy]. *Tez. dokl. otchetnoi konf.-vystavki po podprogramme «Toplivo i energiya» nauch.-tekhn. programmy «Nauchnye issledovaniia vysshei shkoly po prioritnym napravleniiam nauki i tekhniki»* [Proc. of reporting conf.-exhibition on the subprogram “Fuel and Energy” of the scientific-engineering program “Scientific Investigations of a Higher School on the Priority Directions of Science and Technology”]. Moscow, MEI Publ., 200, pp. 132–133. (In Russ.)
-

ИССЛЕДОВАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ СПОСОБОВ ОГРАНИЧЕНИЯ РАСТЕКАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ И ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

АЛИКУЛОВ Ш. Ш., СОБИРОВ Ж., ХАЙДАРОВА М. Э.

В статье представлены результаты моделирования на основе программы 3D MAX. Моделируемый опытно-промышленный участок расположен на блоке месторождения. На участке расположены девять технологических скважин (шесть закачных и три откачных) с вертикальными протяженными коллекторами. Моделируемый участок приурочен к центральной части продуктивного горизонта, подошва которого залегает на глубине 95–97 м, верхний и нижний водоупоры выдержаны, литологические окна отсутствуют. В процессе моделирования изучалась структура подземного потока растворов, формирующихся при включении в работу протяженных коллекторов разной длины и проницаемости. Полученная в результате решения начального варианта гидродинамическая картина потока в пределах опытно-промышленного участка показала симметричное распространение растворов по единичным гидродинамическим ячейкам поля.

Ключевые слова: коллектор; выщелачивание урана; моделирование; коэффициент фильтрации; глубина залегания рудного тела; продуктивный горизонт.

В статье представлены результаты анализа применения вертикальных протяженных коллекторов. Оценка влияния протяженности (длины) и степени проницаемости коллекторов на основные геотехнологические показатели отработки для условий месторождения выполнена экспериментальным путем с использованием моделирования. Промоделировано семь основных вариантов задачи, взаимосвязывающих длину и проницаемость коллектора (таблица).

Коэффициент фильтрации заполнителя протяженного коллектора (гранулированного полиэтилена) определен на приборе КФ-ООМ в химико-грунтоведческой лаборатории предприятия. По результатам моделирования построены гидродинамические сети потоков, формирующихся под влиянием протяженных коллекторов, выполнены расчеты времени закисления и времени отработки единичной гидродинамической ячейки, а также расхода реагента и средней концентрации полезного компонента в продуктивных растворах.

Моделирование выполнено с использованием программы 3D MAX. Моделируемый опытно-промышленный участок расположен на блоке месторождения. В состав участка входят девять технологических скважин (шесть закачных и три откачных) с вертикальными протяженными коллекторами. Моделируемый участок приурочен к центральной части продуктивного горизонта, подошва которого

Аликулов Шухрат Шарофович – кандидат технических наук, доцент кафедры техники и технологии добычи руд редких и радиоактивных металлов. 210100, Республика Узбекистан, г. Навои, ул. Южная, 27а, Навоийский государственный горный институт. E-mail: sharofovich@mail.ru

Собиров Жасур – магистрант кафедры техники и технологии добычи руд редких и радиоактивных металлов. 210100, Республика Узбекистан, г. Навои, ул. Южная, 27а, Навоийский государственный горный институт. E-mail: jasur@mail.ru

Хайдарова Малохат Эркиновна – магистрант кафедры техники и технологии добычи руд редких и радиоактивных металлов. 210100, Республика Узбекистан, г. Навои, ул. Южная, 27а, Навоийский государственный горный институт. E-mail: maloxat@mail.ru

залегает на глубине 95–97 м, верхний и нижний водоупоры выдержаны, литологические окна отсутствуют. Воды горизонта напорные, глубина залегания пьезометрического уровня от 48–57 м (на севере) до самоизлива (на юге), напор над кровлей увеличивается в том же направлении от 35–50 до 130–140 м. Водовмещающими породами являются песчано-глинистые отложения с коэффициентом фильтрации 4–12 м/сут. Мощность горизонта, изменяющаяся от 6,5–7,5 м на левом фланге участка до 4,5 м на правом, идентична для каждой группы из трех скважин, образующих элементарные гидродинамические ячейки. Водообильность пород, по данным опытных работ, изменяется от 1,2 до 5,6 л/с при понижении уровня 1,63–8,34 м. Удельные дебиты скважин составляют 0,26–1,28 л/с. Дебиты при самоизливе изменяются от 1,8 л/с на границе самоизлива до 50–72 л/с в юго-восточной части горизонта [1–4].

**Основные варианты моделирования систем ПВ
с вертикальными коллекторами**

Проницаемость, м/сут	Длина протяженного коллектора, м (%)		
	5,2 (20)	11,6 (46)	25,0 (100)
144	I	II	III
280	IV	V	VI

Начальный вариант – без протяженных коллекторов.

При схематизации природной обстановки для моделирования приняты следующие осредненные значения параметров: размеры единичной гидродинамической ячейки – 25 × 45 м; мощность продуктивного горизонта – 6 м; коэффициент фильтрации – 8 м/сут; расходы технологических скважин в зависимости от их местоположения в пласте – 25, 50 и 100 м³/сут. Рассчитанные фильтрационные сопротивления переводились с помощью масштабных коэффициентов в электрические, которые набирались на сетках электроинтегратора, соединенных в плановую модель. Изменение проницаемости при задании протяженных коллекторов учитывалось пересчетом и заменой соответствующих сопротивлений в зоне действия коллектора. Съемы электрических потенциалов: в начальном варианте без протяженных коллекторов – во всех узлах модели для оценки возможного влияния граничных условий применительно к единичной гидродинамической ячейке, в остальных вариантах – только для расчетной единичной ячейки.

Полученные потенциалы использовались для построения гидродинамических сеток и последующих расчетов времени и скорости закисления. Достоверность измеряемых электрических показателей обеспечивалась балансовым заданием граничных условий II рода, а точность проверялась балансовыми расчетами по закону Кирхгофа для электрических цепей (по варианту с самораспределением расхода по совершенной галерее).

В процессе моделирования изучалась структура подземного потока растворов, формирующихся при включении в работу протяженных коллекторов различной длины и проницаемости. Полученная в результате решения начального варианта гидродинамическая картина потока в пределах опытно-промышленного участка показала симметричное распространение растворов по единичным гидродинамическим ячейкам поля. Поэтому для удобства расчета показателей принята ячейка размерами 12,5 × 45 м.

Время продвижения растворов между технологическими скважинами рассчитывалось конечно-разностным методом с помощью известной зависимости по

основным лентам тока, выделенным на гидродинамических сетках с учетом самораспределения расхода по длине протяженного коллектора:

$$t_i = \frac{P_{\text{эф}}}{k} \sum_{i=0}^n \frac{\Delta l_i^2}{\Delta U_i},$$

где $P_{\text{эф}}$ – эффективная пористость пласта, доли ед., $P_{\text{эф}} = 0,2$; k – коэффициент фильтрации, м/сут; Δl_i – расстояние между соседними эквипотенциалами данной ленты тока, м; ΔU_i – разность потенциалов на участке ленты тока длиной Δl_i , м; n – число ячеек в ленте тока.

Построение лент тока определялось условием равенства расходов, поступающих в каждую из них из протяженных коллекторов, $Q_{\text{нТ}} = 6,25$ м³/сут (0,25 мА). Для расчетов геотехнологических показателей было принято равномерное распределение запасов полезного компонента в полуячейке. Таким образом, время отработки полуячейки для 80 % извлечения ее запасов определяется по формуле:

$$T_{80\%} = Nt,$$

где N – число циклов.

Расчет удельного расхода реагента на единицу массы извлекаемого полезного компонента осуществляется по формуле:

$$K = \frac{\bar{C}QT_{80\%}}{P_{80\%}},$$

где \bar{C} – средняя концентрация реагента, $\bar{C} = 10$ г/л; Q – расход реагента технологической скважины, поступающего в полуячейку, $Q = 50$ м³/сут, %; $P_{80\%}$ – извлекаемые запасы ячейки.

Средняя концентрация (содержание) полезного компонента в продуктивных растворах определяется по формуле:

$$\bar{C} = \frac{P_{80\%}}{QT_{80\%}}.$$

Время распространения растворов является важнейшим геотехнологическим показателем, характеризующим закисление и проработку продуктивного горизонта [5, 6].

В любой ячейке пласта раствор движется с максимальными скоростями по кратчайшим лентам тока между технологическими скважинами, что происходит под влиянием действующих в этом направлении наибольших градиентов напора.

Удаленность рабочих частей скважин от границ пласта (ячейки) и связанное с этим растекание растворов приводит к разубоживанию, неравномерной проработке пласта и образованию так называемых застойных зон, движения в которых почти не происходит, что исключает такие зоны из сферы эксплуатации.

Оптимальные случаи – совершенные галереи, соединяющие скважины в откачных и закачных рядах, – технически невозможны. Поэтому протяженные коллекторы позволяют в известной степени приблизить решение задачи равномерной отработки пластовых залежей.

В то же время идеальные по размерам (длине и ширине) и проницаемости коллекторные полости не могут быть созданы практически. В реальных условиях

всегда будут иметь место непредсказуемые отклонения проектных параметров протяженных коллекторов, обусловленные невыдержанностью их размеров и невозможностью добиться равномерной проницаемости.

В связи с некоторыми условно принятыми исходными показателями ($P_{80\%} = 400$ кг; $N = 8$; $C = 10$ г/л) сравнительную оценку полученных зависимостей удобнее выполнить в относительных единицах, приняв за основу показатели начального варианта (без протяженных коллекторов).

Цель опытно-промышленных работ по сооружению участков с протяженными коллекторами – создание и освоение технологии и технического оснащения строительства протяженных коллекторов, освоение системы ПВ с вертикальными протяженными коллекторами в рядах технологических скважин.

Основные задачи опытно-промышленных работ:

- сооружение специальных скважин для коллекторов;
- применение в качестве фильтрующего материала гранулированного полиэтилена как инертного по отношению к действию серной кислоты и имеющего положительную плавучесть материала, что не требует применения высоковязких жидкостей для доставки в крылья коллекторов материалов с высоким удельным весом;
- определение параметров процесса возникновения зон повышенной проницаемости и режимов основных технологических процессов.

Для прогнозирования параметров давления разрыва была теоретически решена следующая задача: в массив через вертикальные щели нагнеталась жидкость под давлением P .

В полярной системе координат (r, β) распределение радиальных, тангенциальных и касательных напряжений имеет вид:

$$G_{rr} = G_{cr} \left[1 - \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right] + C_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 + 2 \sum_2^{\infty} C_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \cos n\beta +$$

$$+ \left[1 - \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right] \sum_2^{\infty} n C_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \cos n\beta;$$

$$G_{\beta\beta} = G_{cr} \left[1 + \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right] - C_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 + 2 \sum_2^{\infty} C_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \cos n\beta -$$

$$- \left[1 - \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right] \sum_2^{\infty} n C_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \cos n\beta;$$

$$G_{r\beta} = \left[1 - \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right] \sum_2^{\infty} n C_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \sin n\beta,$$

где $C_0 = \frac{P_0 \alpha_0}{\pi}$; P_0 – атмосферное давление; $C_n = C_{-n} \frac{P_0}{\pi n} \sin \alpha$, $n = 2, 4, 6, 8 \dots$;

$G_{cr} = \lambda \gamma H$ – боковое горное давление; r_0 – радиус скважины; r – расстояние от оси скважины; β – полярный угол; G_{rr} , $G_{\beta\beta}$ – нормальные радиальные и тангенциальные напряжения; $G_{r\beta}$ – касательные напряжения; α_0 – половина угла раствора щели; λ – коэффициент бокового распора пород; H – глубина интервала обработки.

Зная распределение напряжений в массиве, можно определить главные напряжения G_1 и G_2 по следующим формулам:

$$G_{1,2} = \frac{G_{rr} + G_{\beta\beta}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{G_{rr} - G_{\beta\beta}}{2}\right)^2 + G_{r\beta}^2}.$$

Для определения критического давления разрыва был выбран следующий критерий:

$$\begin{aligned} (G_{\max} - G_{\min})^2 + 8T_0(G_{\max} + G_{\min}) &= 0, & \text{если } 3G_{\min} + G_{\max} > 0; \\ G_{\min} &= T_0, & \text{если } 3G_{\min} + G_{\max} > 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где G_{\max} – максимальное главное напряжение; G_{\min} – минимальное главное напряжение; T_0 – критическое напряжение на разрыв при растяжении.

Таким образом, при соблюдении приведенных условий в горном массиве произойдет нарушение.

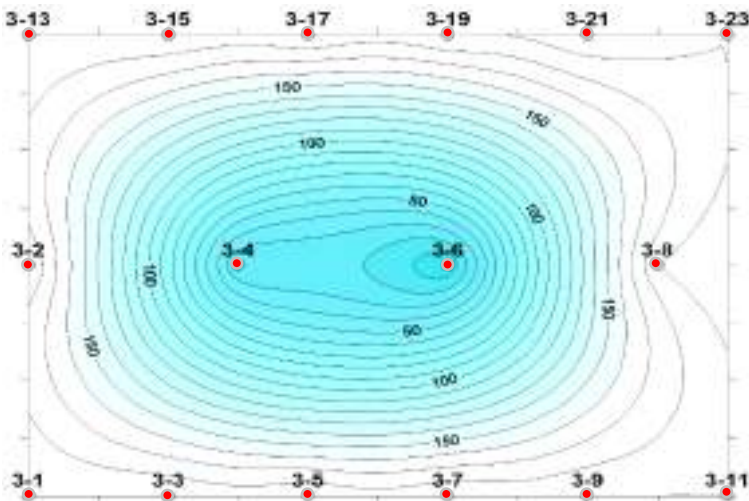


Рис. 1. Пути растекания растворов подземного выщелачивания урана: цифры на осях – номер блока, номер скважины

Обработка решения проводилась с применением программы Matlab. По формуле (1) рассчитывалась функция разрушения ψ при следующих входных данных: $G_{cr} = 0,93$ МПа; $\alpha_0 = 0,3125$ рад; $T_0 = 2,25$ МПа; $P_0 = 4,0; 5,0; 6,0$ МПа.

Для выборочных модулей функции разрушения построены изолинии. На рис. 1 изображены изолинии $\psi = -0,51; -1,05; -2,13; -2,44$ при давлении нагнетания 4,0 МПа. Знак «минус» в данном случае указывает на то, что порода окружающего массива находится в предкритическом состоянии равновесия. Как видно из рисунка, по мере приближения к стенкам скважины ψ стремится к нулю, т. е. к состоянию нарушения сплошности. На стенке скважины, на срединной оси, функция ψ принимает свое минимальное значение для давления 4,0 МПа и равна $-0,51$, что очень близко к нулю [7, 8].

Тем не менее разрушения массива еще не происходит. С повышением давления до 5,0 МПа на стенке скважины появляется точка, координаты которой $(r_0, 0)$ имеют уже положительное, близкое к нулю значение функции разрушения

$\psi = 0,15$. Это свидетельствует о том, что при значениях $P_0 = 4,8-5,0$ МПа на стенке скважины (на оси с углом 0° при принятой на рисунке ориентации щелей) появляется поверхность разрушения или трещина гидроразрыва. И наконец, на рис. 1 при давлении 6,0 МПа поверхность разрушения охватывает значительную зону, по размеру приблизительно равную размеру полукруга с радиусом $(1,3-1,4)r_0$, где r_0 – радиус скважины. В этом диапазоне давлений (5,0–6,0 МПа) полость начинает быстро развиваться, и в массиве образуется магистральная трещина, вследствие чего давление на забое резко падает. Таким образом, для данного вида воздействия на забой и при принятых прочностных характеристиках окружающих пород трещина в массиве начинает возникать при критическом давлении разрыва около 5,0 МПа, что согласуется с экспериментом, проведенным на скважине, где давление разрыва составило 5,0 МПа.

С повышением прочностных характеристик пород, а именно критического напряжения на разрыв $T_0 = 5,7$ МПа, что характерно для цементного камня, образовавшегося в результате длительного простоя скважин, картина изолиний для функции разрушения идентична изолиниям на рис. 1 для давлений вплоть до 10,5 МПа. И только при давлении 11,0 МПа в цементном камне начнет развиваться трещина, которая его разрушит.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексы подземного выщелачивания / И. Г. Абдульманов [и др.]. М.: Недра, 1992. 264 с.
2. Абрамов С. К., Алексеев В. С. Забор воды из подземного источника. М.: Колос, 1980. 256 с.
3. Алексеев В. С., Гаврилко В. М., Гребенников В. Т. Рекомендации по восстановлению производительности скважин реагентными методами. М.: НИИ ВОДГЕО, 1975. 275 с.
4. Алексеев В. С., Гребенников В. Т. Восстановление дебита водозаборных скважин. М.: Агропромиздат, 1987. 315 с.
5. Алексеев В. С., Ткаченко В. П. Оценка изменения фильтрационных свойств призабойных зон скважин при различных способах их бурения и освоения // Труды НИИ ВОДГЕО. 1972. Вып. 3. С. 90–92.
6. Аликулов Ш. Ш., Маркелов С. В., Нарзиев А. С. Кольматация пород продуктивного горизонта при подземном выщелачивании урана // ГИАБ. 2011. № 3. С. 239–241.
7. Аликулов Ш. Ш., Маркелов С. В., Халимов И. У., Баймурзаев Х. Р., Казаков. Т. А. Влияние химической кольматации порово-трещинного массива на производительность блоков подземного выщелачивания // ГИАБ. 2011. № 6. С. 211–215.
8. Халимов И. У. Совершенствование технологии скважинного подземного выщелачивания на основе развития процесса гидравлического разрыва пласта: дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 92 с.

Поступила в редакцию 15 января 2018 года

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF THE METHODS OF LIMITING THE DIFFLUENCE OF PRODUCT SOLUTIONS AND THE INTENSIFICATION OF UNDERGROUND LEACHING WORKFLOWS

Alikulov Sh. Sh., Sobirov Zh., Khaidarova M. E. – Navoiy State Mining Institute, Navoiy, Republic of Uzbekistan.
E-mail: sharofovich@mail.ru

In this paper, the results of modeling based on the 3D MAX program are presented. The simulated experimental-industrial sector is located on the block of the field. The site includes nine technological wells (six injection wells and three extraction wells) with vertical extended collectors. The simulated site is confined to the central part of the productive horizon, the sole of which lies at a depth of 95–97 m, the upper and lower water bodies are sustained, lithological windows are absent. In the process of modeling, the structure of the underground flow of solutions has been studied, which are formed when long collectors of various lengths and permeability are being involved in operation. The hydrodynamic flow pattern obtained within the experimental-industrial sector, obtained as a result of the solution of the initial variant, showed the symmetric propagation of solutions over single hydrodynamic cells of the field.

Key words: collector; uranium leaching; modeling; filtration coefficient; depth of ore body; productive horizon.

REFERENCES

1. Abdul'manov I. G., and others. *Kompleksy podzemnogo vyshchelachivaniia* [Complexes of underground leaching]. Moscow, Nedra Publ., 1992. 264 p.

2. Abramov S. K., Alekseev V. S. *Zabor vody iz podzemnogo istochnika* [Water withdrawal from the underground source]. Moscow, Kolos Publ., 1980. 256 p.
 3. Alekseev V. S., Gavrilko V. M., Grebennikov V. T. *Rekomendatsii po vosstanovleniiu proizvoditel'nosti skvazhin reagentnymi metodami* [Recommendations on the wells capacity restoration with reagent methods]. Moscow, NII VODGEO Publ., 1975. 275 p.
 4. Alekseev V. S., Grebennikov V. T. *Vosstanovlenie debita vodozabornykh skvazhin* [Water supply wells production rate restoration]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987. 315 p.
 5. Alekseev V. S., Tkachenko V. P. [Estimation of filtration properties alteration of wells borehole zones under various methods of drilling and exploitation]. *Trudy NII VODGEO – Proceedings of All-Russian Scientific Research Institute VODGEO*, 1972, issue 3, pp. 90–92. (In Russ.)
 6. Alikulov Sh. Sh., Markelov S. V., Narziev A. S. [Productive horizon rock colmatage at the underground uranium leaching]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2011, no. 3, pp. 239–241. (In Russ.)
 7. Alikulov Sh. Sh., Markelov S. V., Khalimov I. U., Baimurzaev Kh. R., Kazakov T. A. [The influence of chemical colmatage of porous-fissured massif on the capacity of underground leaching blocks]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2011, no. 6, pp. 211–215. (In Russ.)
 8. Khalimov I. U. *Sovershenstvovanie tekhnologii skvazhinnogo podzemnogo vyshchelachivaniia na osnove razvitiia protsessa gidravlicheskogo razryva plasta: dis. kand. tekhn. nauk* [Development of the technology of downhole underground leaching based on the development of the process of hydraulic seam fracturing. Cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 2013. 92 p.
-

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В ГЕОДЕЗИИ (к 90-летию со дня введения в СССР системы плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера)

КЛЕПКО В. Л., КОНОВАЛОВ В. Е.

В основе развития всех направлений геодезии лежит создание систем координат и построение опорных геодезических сетей, являющихся их физической реализацией на поверхности Земли. Так как требования к точности определения координат пунктов постоянно растут, необходимо совершенствовать существующие системы координат. В статье обозначен процесс установления государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 ноября 2016 года № 1240). Статья приурочена к 90-летию со дня введения в СССР системы плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера. В настоящее время эта система широко применяется при топографо-геодезическом обеспечении кадастровой деятельности для ведения Единого государственного реестра недвижимости, при выполнении землеустроительных и маркшейдерских работ на территории горнопромышленных комплексов, а также для решения самых разных инженерных задач.

Ключевые слова: геодезическая система координат 2011 года; общеземная геоцентрическая система координат; плоские прямоугольные координаты Гаусса–Крюгера.

Одной из научно-практических задач геодезии является создание на территории страны сети геодезических пунктов в единой системе координат. Длительное время эта задача решалась с помощью системы геодезических координат, т. е. системы, в которой положение пунктов сети определяется их геодезической широтой B , долготой L и высотой H . Такими системами являлись единая государственная система геодезических координат 1942 года (СК-42), введенная постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 года № 760 и единая система геодезических координат 1995 года (СК-95), установленная постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 года № 568.

Эти системы координат применялись для определения размеров и фигуры Земли, общего картографирования земной поверхности, при решении геодезических задач, связанных с большими расстояниями и т. д. Именно в этой системе получены координаты пунктов астрономо-геодезической сети страны.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 ноября 2016 года № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы» с 1 января 2017 года установлены следующие государственные системы координат:

– геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011) для использования при осуществлении геодезических и картографических работ;

Клепко Владлен Лазаревич – доцент кафедры геодезии и кадастров. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

Коновалов Владимир Ефимович – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастров. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: vek-1951@mail.ru

– общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11) для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

Это Постановление обеспечивает широкое применение глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и решение практических задач геодезии, картографии, навигации.

ПЗ-90.11 и ГСК-2011 являются геоцентрическими экваториальными пространственными прямоугольными системами координат (рис. 1).

Положения отсчетных линий и плоскостей в ПЗ-90.11 и ГСК-2011 установлены на основе обработки реальных траекторных наблюдений согласно рекомендациям Международной службы вращения Земли и Международного бюро времени. Координаты пунктов в этих системах получили высокую сходимость с координатами пунктов в аналогичных международных системах координат WGS 84 и ITRS.

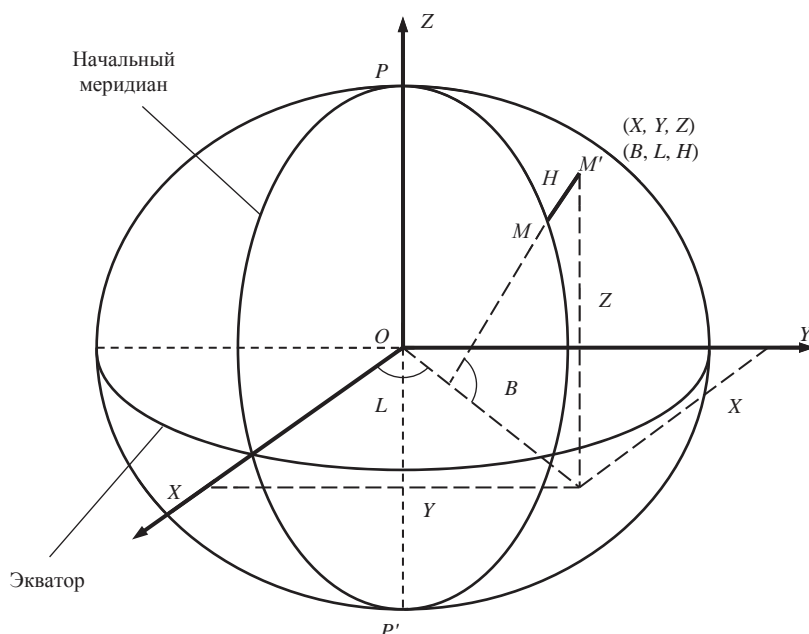


Рис. 1. Геоцентрические экваториальные пространственные прямоугольные координаты XYZ

Начало отсчета координат находится в центре масс Земли. Главная плоскость OXY совмещена с плоскостью экватора, а главная ось – ось Z – совмещена с осью вращения Земли и направлена к северному полюсу. Ось X лежит в плоскости экватора и направлена в точку пересечения этой плоскости с начальным меридианом. Ось Y также находится в плоскости экватора и дополняет систему XYZ до правой системы координат [1].

Параметры общего земного эллипсоида:

- в ГСК-2011 большая полуось $a = 6\,378\,136,5$ м, сжатие $\alpha = 1 : 298,2564151$;
- ПЗ-90.11 большая полуось $a = 6\,378\,136$ м, сжатие $\alpha = 1 : 298,25784$.

Особенности установления двух систем координат во многом связаны с их предназначением.

ГСК-2011 должна обслуживать сегмент потребителя ГЛОНАСС, обеспечивать единство представления пространственных данных в гражданском секторе экономики страны.

Основу ГСК-2011 составляет государственная геодезическая сеть (ГГС), которая состоит из пунктов:

- фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) – 50 пунктов;
- высокоточной геодезической сети (ВГС) – 300 пунктов;
- спутниковой геодезической сети первого класса (СГС-1) – 4500 пунктов.

ПЗ-90.11 является рабочей системой координат ГЛОНАСС, служит для решения задач глобальной навигации, находится в ведении Министерства обороны РФ.

Единая государственная система при выполнении кадастровых работ используется, согласно [2], только для получения сведений о местоположении Государственной границы Российской Федерации.

В качестве государственной системы высот используется Балтийская система высот 1977 года, отсчет нормальных высот которой ведется от нуля Кронштадтского футштока, являющегося горизонтальной чертой на медной пластинке, укрепленной в устье моста через обводный канал в г. Кронштадте.

В качестве государственной гравиметрической системы используется система, определенная по результатам гравиметрических измерений на пунктах государственной гравиметрической сети, выполненных в гравиметрической системе 1971 года, исходными пунктами которой являются пункты, расположенные в городах Москва и Новосибирск.

Постановление ограничило период применения государственных систем координат СК-42 и СК-95 до 1 января 2021 года при выполнении геодезических и картографических работ в отношении материалов (документов), созданных с их использованием. Одна из причин такого ограничения заключается в том, что государственная геодезическая сеть, закрепляющая системы координат СК-42 и СК-95, создавалась методами триангуляции и полигонометрии. Полученные координаты геодезических пунктов, являясь исходными геодезическими данными, значительно уступали по точности более высокоточным спутниковым определениям. Существование этого противоречия потребовало пересмотра системы координатного обеспечения страны.

Значительные различия между СК-42, СК-95 и ГСК-2011 в параметрах применяемых эллипсоидов, а также их ориентировке, привели к тому, что координаты одних и тех же объектов будут отличаться на величину до 100 м и более. Такие погрешности существенно превышают графическую точность топографических карт масштабов 1 : 10 000–1 : 200 000.

При переиздании топографических карт масштабов 1 : 10 000–1 : 200 000 целесообразно сохранить проекцию Гаусса и систему плоских прямоугольных координат в 6-градусной зоне [3].

Система прямоугольных координат Гаусса–Крюгера введена в СССР в марте 1928 года Постановлением Третьего геодезического совещания и апробирована многолетней практикой производства топографо-геодезических и маркшейдерских работ на протяжении 90 лет.

Введение системы плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера нашло отражение в острых дискуссиях в геодезической печати, в выступлениях известных профессоров В. И. Баумана, Н. Г. Келля, В. В. Каврайского, Н. Н. Матусевича и других инженеров-маркшейдеров и геодезистов. Этой теме посвящена статья Н. Г. Келля «Материал по введению общей системы координат Гаусса–Крюгера применительно к маркшейдерским планам» [4].

Далее приводится фрагмент постановления, подготовленного Геодезическим комитетом Госплана СССР.

Постановление Третьего геодезического совещания (март 1928 г.) «Раздел VI. О введении в СССР единообразной системы прямоугольных координат:

...14. Признать, что наиболее приемлемыми для немедленного применения в СССР являются прямоугольные координаты Гаусса–Крюгера.

15. Рекомендовать ширину координатных полос в 6° по долготе. При этом допускать применение и 3-градусных полос.

16. В изменение решения Второго геодезического совещания признать, что средние меридианы должны совпадать со средними меридианами листов международной карты в масштабе 1:1 000 000. Для 3-градусных полос допустить средние меридианы, совпадающие с крайними меридианами листов миллионной карты.

П р и м е ч а н и е. Долгота среднего меридиана листов международной карты равна $6n + 3^\circ$, где n – целое число.

.....

20. Принимая во внимание большое практическое значение введения системы плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера, поручить Геодезическому комитету Госплана СССР озаботиться скорейшим опубликованием соответствующего практического руководства, составлением и изданием необходимых таблиц и вообще популяризацией идеи этих координат».

Для выполнения пункта 20 этого постановления Геодезический комитет Госплана поручил Н. Г. Келлю составить руководство. Оно было составлено в 1929 году и получило название *Координаты Гаусса–Крюгера и их применение*.

В настоящее время в системе плоских прямоугольных координат задаются координаты пунктов государственной геодезической сети (ГГС) наряду с пространственными прямоугольными координатами X , Y , Z и геодезическими (эллипсоидальными) координатами B , L , H .

В системе плоских прямоугольных координат выполняются все маркшейдерско-геодезические работы на горных предприятиях, составляются все топографические планы и карты.

Так, например, учитывая, что на краю 3-градусной зоны искажения значительно меньше, чем в 6-градусной зоне, в практике маркшейдерских работ при подземном способе разработки месторождений полезных ископаемых достаточно часто используются именно 3-градусные зоны в системе прямоугольных координат Гаусса–Крюгера.

При выполнении кадастровых работ использование 6- или 3-градусных зон зависит от площади и местоположения субъекта Российской Федерации относительно меридианов и определяется возможностью получить как можно меньшие искажения при применении местных систем координат в пределах территории субъекта Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев В. К. Роль и место в исследованиях по геодезическому обеспечению системы ГЛОНАСС в рамках НИР «Развитие» государственных единых систем координат ГСК-2011 и ПЗ-90.11, высокоточного определения координат и гравитационного поля Земли // Общий замысел геодезических направлений исследований в рамках НИР «Развитие» от 28 мая 2013 года: докл. на заседании секции № 3 НТС ФГУП ЦНИИмаш. [Электронный ресурс]: Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Об установлении случаев использования единой государственной системы координат для ведения единого государственного реестра недвижимости [Электронный ресурс]: приказ Минэкономразвития России от 14 марта 2016 № 142. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Фонарев В. М., Яблонский Л. И. О создании новой Единой системы государственных карт Российской Федерации // Геодезия и картография. 2015. № 7. С. 24–30.

4. Келль Н. Г. Избранные труды. М.: Недра, 1964. 311 с.

COORDINATE SYSTEMS IN GEODESY
(to the 90th anniversary of establishing of plane rectangular
Gauss–Kruger coordinates system in the USSR)

Klepko V. L., Kononov V. E. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation.
E-mail: vek-1951@mail.ru

At the heart of all geodesy disciplines there is a creation of the coordinate systems and the construction of geodetic networks being their physical realization on the Earth's surface. As the demands to the accuracy of the points coordinates determination constantly rise, it is required to develop the existing coordinate systems. The article indicates the process of establishing the state coordinate systems, state height system, and state gravimetric system (Russian Federation Government Decree of November 24, 2016 No. 1240). The article is devoted to the 90th anniversary of establishing of plane rectangular Gauss–Kruger coordinate system in the USSR. Currently, the system is widely used at topographic-geodetic support of cadastral activity to introduce Unified State Register of Immovable Property; it is also used when performing land use planning and surveying at the territory of mining complexes, and to solve various engineering problems.

Key words: geodetic coordinate system of 2011; global geocentric coordinate system; plane rectangular Gauss–Kruger coordinates system.

REFERENCES

1. Andreev V. K. [The role and place of high precision coordinate setting and the Earth's gravitational field in the researches on the geodetic supply of GLONASS system within the limits of Scientific Research Razvitie of state unified coordinate systems GSK-2011 and PZ-90.11]. *Obshchii zamysel geodezicheskikh napravlenii issledovaniy v ramkakh NIR «Razvitie» ot 28 maia 2013 goda: dokl. na zasedanii sektiis № 3 NTS FGUP TsNIImash* [General concept of geodetic exploration trends within Scientific Research Razvitie of May 28, 2013: report at the meeting of the section no. 3 of Scientific and Engineering Board of Federal State Unitary Enterprise TSNIImash]. Access from the legal reference system ConsultantPlus.
 2. On the determination of the events of the use of the unified state coordinate system for the maintenance of a Unified State Register of Immovable Property [electronic source]: the Ministry of Economic Development of the Russian Federation Decree of March 14, 2016 No. 142. Access from the legal reference system ConsultantPlus.
 3. Fonarev V. M., Iablonskii L. I. [Regarding the creation of a new Unified system of state maps of the Russian Federation]. *Geodeziia i kartografiia – Geodesy and Cartography*, 2015, no. 7, pp. 24–30. (In Russ.)
 4. Kell' N. G. *Izbrannye trudy* [Selected works]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 311 p.
-

К ЮБИЛЕЮ АНАТОЛИЯ ДМИТРИЕВИЧА САШУРИНА



80 лет исполнилось Сашурину Анатолию Дмитриевичу – одному из ведущих представителей Уральской школы геомеханики, ведущему ученому России в области механики горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых, известному исследователю напряженно-деформированного состояния массива горных пород на Урале, заслуженному деятелю науки РФ, действительному члену Академии горных наук, члену Международной ассоциации по механике скальных пород.

Анатолий Дмитриевич 58 лет посвятил горному делу – стратегическому направлению в развитии России. С 1960 года он трудится в Институте горного

дела – центральном научно-исследовательском институте МЧМ СССР, ныне – ИГД УрО РАН. В 1960-е годы А. Д. Сашурин активно участвует в становлении Уральской научной школы геомехаников, сформированной под руководством Н. П. Влоха, и со временем становится общепризнанным лидером. В 1971 году защитил кандидатскую диссертацию, в 1995 году – докторскую, в которых впервые были рассмотрены геомеханические модели и методы расчета смещений горных пород при разработке месторождений в скальных массивах.

Методы исследования напряженного состояния массива горных пород, разработанные А. Д. Сашуриным, уже в начальный период нашли широкое применение в ряде институтов и организаций СССР.

В 1992 году при поддержке коллектива А. Д. Сашурин стал директором института. С учетом негативного опыта уже приватизированных отраслевых институтов было принято решение о необходимости сохранения института как исследовательской организации. Администрация Свердловской области, Президиум УрО РАН и Президент РАН поддержали трудовой коллектив, и в 1994 году решением Правительства РФ Институт горного дела был введен в состав Уральского отделения РАН.

Под руководством Анатолия Дмитриевича Сашурина выполнено множество исследований, в результате которых за последние годы:

- выявлены источник, причина и механизм природно-техногенных катастроф на объектах недропользования, в том числе крупнейших катастроф последних десятилетий на поверхностных и подземных сооружениях по добыче полезных ископаемых, магистральных газопроводах, транспортных сооружениях, гидравлических и атомных электростанциях, в жилых и общественных зданиях;

- установлено наличие депрессионно-деструктивных областей в массиве горных пород, формирующихся в граничных зонах геодинамически активных тектонических нарушений; экспериментально подтверждено, что в результате современных трендовых геодинамических движений в зонах тектонических нарушений, имеющих фрактальную геометрию контактов, на фронтальной части

выступов формируются зоны концентрации горизонтальных сжимающих напряжений; в тыловой части выступов образуются депрессионные области, где горизонтальные сжатия либо существенно снижаются, либо вовсе снимаются, сохраняя лишь боковой распор нарушенного массива;

– теоретически обоснованы положения и предложены принципиально новые алгоритмы, на основе которых разработана комплексная экспериментально-аналитическая технология диагностики вторичного структурирования и формирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в районе объекта недропользования для выбора благоприятного участка его размещения, предотвращающего аварии и катастрофы при строительстве и эксплуатации;

– на основе накопленного фактического материала о деформациях породного массива на различных пространственно-временных интервалах измерений создана «База экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений», включающая информацию о величинах трендовых и циклических геодинамических движений, основанная на идее создания прогностического аппарата, подобного картам ОСР; в настоящее время база данных насчитывает информацию по более чем 40 объектам России (от Урала до Якутии) и Казахстана – короткопериодные движения и 25 объектам – трендовые движения.

При активном участии Анатолия Дмитриевича организован и сертифицирован как научная организация филиал ИГД УрО РАН в республике Казахстан. А. Д. Сашурин и его коллеги являются признанными экспертами в области обеспечения геомеханической безопасности недропользования, в том числе при оценке допустимости вовлечения в хозяйственный оборот подработанных территорий.

Анатолий Дмитриевич Сашурин является автором более 130 научных трудов, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе 6 монографий, 1 учебного пособия и 4 изобретений.

Результаты научных разработок А. Д. Сашурина отмечены большим количеством наград, за коллективную работу «Внедрение результатов фундаментальных исследований в практику крепления тоннелей, обеспечение сохранности подрабатываемых зданий и сооружений на основе оперативных методов контроля технологических процессов строящегося Свердловского метрополитена» он награжден премией В. Н. Татищева и Г. В. де Геннина. А. Д. Сашурин является кавалером знака «Шахтерская слава» и лауреатом Уральской горной премии.

С целью популяризации науки и обмена мнениями между наукой, образованием и производством под руководством А. Д. Сашурина создан и ежемесячно проводится Региональный семинар по механике горных пород. В 1994 году организована и регулярно проводится в рамках Уральского горнопромышленного форума Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Геомеханика в горном деле».

Сердечно поздравляем Вас, уважаемый Анатолий Дмитриевич, и желаем долгих лет жизни, отличного здоровья, счастья и благополучия Вам и Вашим близким, а также успехов в Вашей ответственной деятельности на благо Урала и России!

*Уральское отделение РАН
НП «Горнопромышленники России»
Институт горного дела УрО РАН
Уральский государственный горный университет*

**ПАМЯТИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
МИХАИЛ ВИКТОРОВИЧ КОРНИЛКОВ
23.01.1958–29.03.2018**

Ушел из жизни главный редактор издания «Известия вузов. Горный журнал» доктор технических наук, профессор Михаил Викторович Корнилков – известный специалист в области технологии и безопасности взрывных работ, крепления подземных горных выработок, освоения подземного пространства крупнейших городов, действительный член Академии горных наук, руководитель Уральского регионального отделения Тоннельной ассоциации России, один из создателей Концепции освоения подземного пространства г. Екатеринбурга, являющейся основой раздела Генерального плана развития города Екатеринбурга до 2025 г., безупречный организатор и талантливый педагог.



Родился М. В. Корнилков 23 января 1958 года в г. Свердловске. В 1974 году Михаил Викторович поступил в Свердловский горный институт на кафедру шахтного строительства и закончил его с отличием в 1979 году по специальности «Строительство подземных сооружений и шахт». В этот же год был принят на должность младшего научного сотрудника на кафедру шахтного строительства и прошел путь от аспиранта и ассистента (1984–1988) до доцента кафедры (1988–1998), заместителя декана горного факультета, заведующего кафедрой, директора Института дополнительного профессионального образования (2002–2007), проректора по научной работе УГГУ (2007–2008). С 1996 года М. В. Корнилков руководил кафедрой шахтного строительства, с 2009 года являлся главным редактором издания «Известия вузов. Горный журнал».

В 1987 году М. В. Корнилков защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка способов крепления горизонтальных выработок при нисходящей слоевой выемке с твердеющей закладкой», в 1999 году – докторскую на тему «Управление напряженно-деформированным состоянием рамных крепей».

Михаил Викторович Корнилков – видный ученый в области шахтного и подземного строительства, основные труды посвящены вопросам безопасности взрывных работ, разработке способов повышения несущей способности металлической арочной крепи горизонтальных выработок, обоснованию эффективных способов комплексного освоения подземного пространства городов Уральского региона. Под его руководством подготовлено и защищено 6 кандидатских диссертаций, опубликовано более 300 научных и учебно-методических работ.

М. В. Корнилков награжден золотым знаком «Горняк России», знаком «Шахтерская слава», почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации.

Светлая память о Михаиле Викторовиче Корнилкове, замечательном педагоге и руководителе, специалисте высокой квалификации, навсегда сохранится в наших сердцах.

*Редколлегия и редакция «Известия вузов. Горный журнал»
Уральский государственный горный университет*

Р е д а к ц и я

Главный редактор **М. В. Корнилков**
Зам. главного редактора О. Г. Латышев, М. Г. Бабенко
Ответственный секретарь Л. А. Решеткина
Редакторы Л. Г. Соколова, Л. Ю. Парамонова

Перевод И. В. Шайхутдиновой

Компьютерная верстка Ю. Б. Швецовой

Подп. в печать 23.04.2018. Дата выхода в свет 11.05.2018

Формат 70 x 108 1/16. Печать офсетная
11,0 усл. печ. л., 10,0 уч.-изд. л. Тираж 500. Заказ 6341

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-57227 от 12.03.2014

Редакция «Изв. вузов. Горный журнал»
620144, Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30, тел.(факс) (343) 257-65-59
E-mail: gornij_journal@ursmu.ru
<http://mj.ursmu.ru>

Типография ООО «Издательство УМЦ УПИ»
620078, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2