

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
НАЦІОНАЛЬНОГО ГІРНИЧОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

№ 49

Дніпропетровськ
2015

УДК 622 (06)

Засновник та видавець
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Рік заснування – 1999

Збірник наукових праць НГУ. — Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2015 — № 49 — 327 с.

Наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень з різних аспектів гірничої справи, розглянуто проблеми відкритої і підземної розробки родовищ корисних копалин, охорони праці і безпеки робіт на гірничих підприємствах, проблеми екології, маркшейдерії, геології, геоінформатики, електропостачання й автоматизації виробничих процесів у гірничій промисловості, висвітлені питання експлуатації гірничо-транспортного устаткування на шахтах, рудниках і кар'єрах .

Матеріали збірника призначені для наукових та інженерно-технічних працівників, які спеціалізуються в галузі гірничої справи .

Збірник друкується за рішенням вченої ради НГУ
(протокол № 5 від 13.05.2015 р.)

Комп'ютерна верстка і набір – С.Ф. Гупало

Збірник зареєстровано у державному комітеті
телебачення і радіомовлення України.
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 9030 від 04.08.2004 р .

Ministry of Education and Science of Ukraine
State higher educational institution
«National Mining University»

COLLECTION OF RESEARCH PAPERS
OF NATIONAL MINING UNIVERSITY

№ 49

Dnipropetrovs'k
2015

Establisher and publisher
NATIONAL MINING UNIVERSITY
Established in 1999

Collection of research papers of National Mining University – D.: State higher educational institution «National Mining University», 2015 – № 49 – 327 p.

The results of theoretical and experimental studies in different branches of mining are described; the problems of open pit mining, labour safety and labour protection in mining enterprises, as well as the problems of ecology, surveying, geology, geoinformatics, power supply and automation of production in mining are considered. The issues of mining transport equipment operation in mines, pits, open casts are also covered.

The target readership of the collection includes research and engineering staff in the field of mining.

The journal is published by the decision of the the Scientific Council of State higher educational institution «National Mining University»
(Record № 5 of 13.05.2015)

Design and layout – S.F. Gypalo

State Registration Certificate of the printed source
of mass medium KV № 9030 of 04.08.2004

Редакційна Рада збірника:

акад. НАН України, д.т.н., проф. Г.Г. Півняк
 д.т.н., проф. П. І. Пілов
 д.т.н., проф. О.С. Бешта
 д.т.н., проф. О. М. Шашенко
 к.т.н., доц. В.В. Ішков

Редакція:

головний редактор – к.т.н., доц. В.В. Ішков
 заступник редактора – д.т.н., проф. С.Ф. Власов
 відповідальний секретар – н.с. В. В. Задорнова

Експертно-редакційна колегія:***Розробка родовищ корисних копалин***

Гуменик І. Л. – д.т.н., проф.
 Дриженко А. Ю. – д.т.н., проф.
 Четверик М. С. – д.т.н., проф.
 Прокопенко В. І. – д.т.н., проф.
 Симоненко В. І. – д.т.н., доц.
 Собко Б.Ю. – д.т.н., г.н.с.
 Бондаренко В. І. – д.т.н., проф.
 Кузьменко О. М. – д.т.н., проф.
 Пономаренко П.І. – д.т.н., проф.
 Бузило В.І. – д.т.н., проф.
 Ковалевська І.А. – д.т.н., проф.

Збагачення корисних копалин

Пілов П. І. – д.т.н., проф.
 Младецький І. К. – д.т.н., проф.
 Полулях О. Д. – д.т.н., проф.
 Франчук В. П. – д.т.н., проф.
 Мостика Ю.С. – д.т.н., проф.
 Горобець Л.Ж. – д.т.н., проф.

Екологія та охорона праці

Зберовський О.В. – д.т.н., проф.
 Шапарь А.Г. – д.т.н., проф.
 Колесник В.С. – д.т.н., проф.
 Долгова Т.І. – д.т.н., проф.
 Горова А.І. – д.б.н., проф.
 Голінько В.І. – д.т.н., проф.
 Бойко В.О. – д.т.н., проф.
 Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.

Шахтні і підземні будівництва

Шашенко О.М. – д.т.н., проф.
 Пономаренко П.І. – д.т.н., проф.
 Роєнко А.М. – д.т.н., проф.
 Сдвіжкова О.О. – д.т.н., проф.
 Соболев В.В. – д.т.н., проф.
 Бондаренко В. І. – д.т.н., проф.
 Назаренко В.О. – д.т.н., проф.

Гірничі машини і геотехнічна механіка

Садовенко І.О. – д.т.н., проф.
 Бондаренко В.І. – д.т.н., проф.
 Шашенко О.М. – д.т.н., проф.
 Власов С.Ф. – д.т.н., проф.
 Новікова Л.В. – д.т.н., проф.
 Москальов О.М. – д.т.н., проф.
 Франчук В.П. – д.т.н., проф..
 Самуся В.І. – д.т.н., проф..
 Заболотний К.С. – д.т.н., проф..
 Ширін Л.Н. – д.т.н., проф..
 Кіріченко Є.О. – д.т.н., проф.

Геологія, геофізика, буріння

Приходченко В.Ф. – д.геол.н., проф.
 Бусигін Б.С. – д.т.н., проф.
 Тяпкін К.Ф. – чл.-кор., д.г.-м.н., проф.
 Баранов П.М. – д.геол.н., проф.
 Кожевников А.О. – д.т.н., проф..
 Власов С. Ф. – д.т.н., проф..
 Москальов О.М. – д.т.н., проф..
 Симанович Г.А. – д.т.н., проф..
 Франчук В.П. – д.т.н., проф.

Електротехнічні комплекси і системи автоматизації

Півняк Г. Г. – проф., д.т.н., проф..
 Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.
 Випанасенко С.І. – д.т.н., проф.
 Мещеряков Л.І. д.т.н., проф.
 Ткачов В.В. – д.т.н., проф.
 Бешта О.С. – чл.-кор., д.т.н., проф.
 Кочура Є.В. – д.т.н., проф.
 Слесарев В.В. – д.т.н., проф.
 Алексєєв М.О. – д.т.н., проф.

Маркшейдерія і геоінформатика

Четверик М. С. – д.т.н., проф.
 Халимендик Ю.М. – д.т.н., проф.
 Шашенко О.М. – д.т.н., проф.
 Петрук Є.Г. – д.т.н., проф.
 Назаренко В.О. – д.т.н., проф.
 Бусигін Б.С. – д.т.н., проф.
 Слесарев В.В. – д.т.н., проф.
 Зберовський О.В. – д.т.н., проф.

Закордонні члени редакційної колегії:

Др. Ян Барнес (Німеччина, університет Бергіше, м. Вупперталь)
 Проф. Карстен Дребенштедт (Німеччина, технічний університет „Фрайбергська гірнича академія“, м. Фрайберг)
 Проф. Мохамед Боуноала (Алжир, університет м. Аннаба)
 Др. Сліман Качі (Алжир, університет м. Гельма)
 Проф. Джиованні Пардіні (Іспанія, університет м. Жирона)
 Д.т.н., проф. Ян Ваховіч (Польща, головної інститут гірництва, м. Катовіце)
 Д.т.н., проф. Войцех Ченжковські (Польща, ТУ «Вроцлавська політехніка», м. Вроцлав)
 Д.геол.н., проф. В.В. Гавриленко (РФ, РДПУ ім. Герцена, м. Санкт-Петербург)
 Д.т.н., проф. С.К. Молдабаєв (Казахстан, КазНТУ імені К.І. Сатпаєва, м. Алмати)
 Д.т.н., Л.А. Манукян (Вірменія, ЗАО "Горнометаллургический институт", м. Єреван)
 Проф. А. Г. Магалашвілі (Грузія, Державний Університет ім. Іллі Чавчавадзе, м. Тбілісі)

Адреса редакції:

49005, Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19,
 НГУ, Ішкову В.В. тел./ факс 726-77-04,
 46-90-92, E-mail: zberovskya@mail.ru
 www.znp.nmu.org.ua

Editorial council:

Acad. NASU, D.Sc., prof. G.G. Pivniak
D.Sc., prof. P.I. Pilov
D.Sc., prof. O.S. Beshta
D.Sc., prof. O.M. Shashenko
Ph.D, associate prof. V.V. Ishkov

Editorial board:

Editor-in-Chief – Ph.D, associate prof. V.V. Ishkov
Deputy editor – D.Sc., prof. S.F. Vlasov
Responsible secretary – researcher. V.V. Zadornova

Review and editorial board:

Development of Useful Minerals Deposits

Gumenyk I.L. – D.Sc., prof.
Dryzhenko A.Iu. – D.Sc., prof.
Chetveryk M.S. – D.Sc., prof.
Prokopenko V.I. – D.Sc., prof.
Symonenko V.I. – D.Sc., associate prof.
Sobko B.Iu. – D.Sc., senior researcher.
Bondarenko V.I. – D.Sc., prof.
Kuzmenko O.M. – D.Sc., prof.
Ponomarenko P.I. – D.Sc., prof.
Buzlyo V.I. – D.Sc., prof.
Kovalevska I.A. – D.Sc., prof.

Mineral dressing

Pilov P. I. – D.Sc., prof.
Mladetskyi I. K. – D.Sc., prof.
Poluliakh O. D. – D.Sc., prof.
Franchuk V. P. – D.Sc., prof.
Mostyka Iu.S. – D.Sc., prof.
Gorobets L.Zh. – D.Sc., prof.

Ecology and Labor Safety

Zberovskiy O.V. – D.Sc., prof.
Shapar A.H. – D.Sc., prof.
Kolesnyk V.Ie. – D.Sc., prof.
Dolhova T.I. – D.Sc., prof.
Gorova A.I. – D.Sc., prof.
Golinko V.I. – D.Sc., prof.
Boiko V.O. – D.Sc., prof.
Shkrabets F.P. – D.Sc., prof.

Mining and Underground Construction

Shashenko O.M. – D.Sc., prof.
Ponomarenko P.I. – D.Sc., prof.
Roenko A.M. – D.Sc., prof.
Sdvizhkova O.O. – D.Sc., prof.
Sobolev V.V. – D.Sc., prof.
Bondarenko V.I. – D.Sc., prof.
Nazarenko V.O. – D.Sc., prof.

Mining Machinery and Geotechnical Mechanics

Sadovenko I.O. – D.Sc., prof.
Bondarenko V.I. – D.Sc., prof.
Shashenko O.M. – D.Sc., prof.
Vlasov S.F. – D.Sc., prof.
Novikova L.V. – D.Sc., prof.
Moskalov O.M. – D.Sc., prof.
Franchuk V.P. – D.Sc., prof.
Samusia V.I. – D.Sc., prof.
Zabolotnyi K.S. – D.Sc., prof.
Shyrin L.N. – D.Sc., prof.
Kirichenko Ie.O. – D.Sc., prof.

Geology, Geophysics, Drilling

Prykhodchenko V.F. – D.Sc., prof.
Busyhin B.S. – D.Sc., prof.
Tiapkin K.F. – correspondent Member of
NASU, D.Sc., prof.
Baranov P.M. – D.Sc., prof.
Kozhevnykov A.O. – D.Sc., prof.
Vlasov S.F. – D.Sc., prof.
Moskalov O.M. – D.Sc., prof.
Symanovych H.A. – D.Sc., prof.
Franchuk V.P. – D.Sc., prof.

Electrical Complexes and Systems automation

Pivniak G. G. – Acad. NASU, D.Sc., prof.
Shkrabets F.P. – D.Sc., prof.
Vypanasenko S.I. – D.Sc., prof.
Meshcheriakov L.I. – D.Sc., prof.
Tkachov V.V. – D.Sc., prof.
Beshta O.S. – correspondent Member of NASU,
D.Sc., prof.
Kochura Ie.V. – D.Sc., prof.
Sliesariiev V.V. – D.Sc., prof.
Aleksieiev M.O. – D.Sc., prof.

Mine Surveying and Geoinformatics

Chetveryk M.S. – D.Sc., prof.
Khalymendyk Iu.M. – D.Sc., prof.
Shashenko O.M. – D.Sc., prof.
Petruk Ie.H. – D.Sc., prof.
Nazarenko V.O. – D.Sc., prof.
Zberovskiy O.V. – D.Sc., prof.
Sliesariiev V.V. – D.Sc., prof.
Busyhin B.S. – D.Sc., prof.

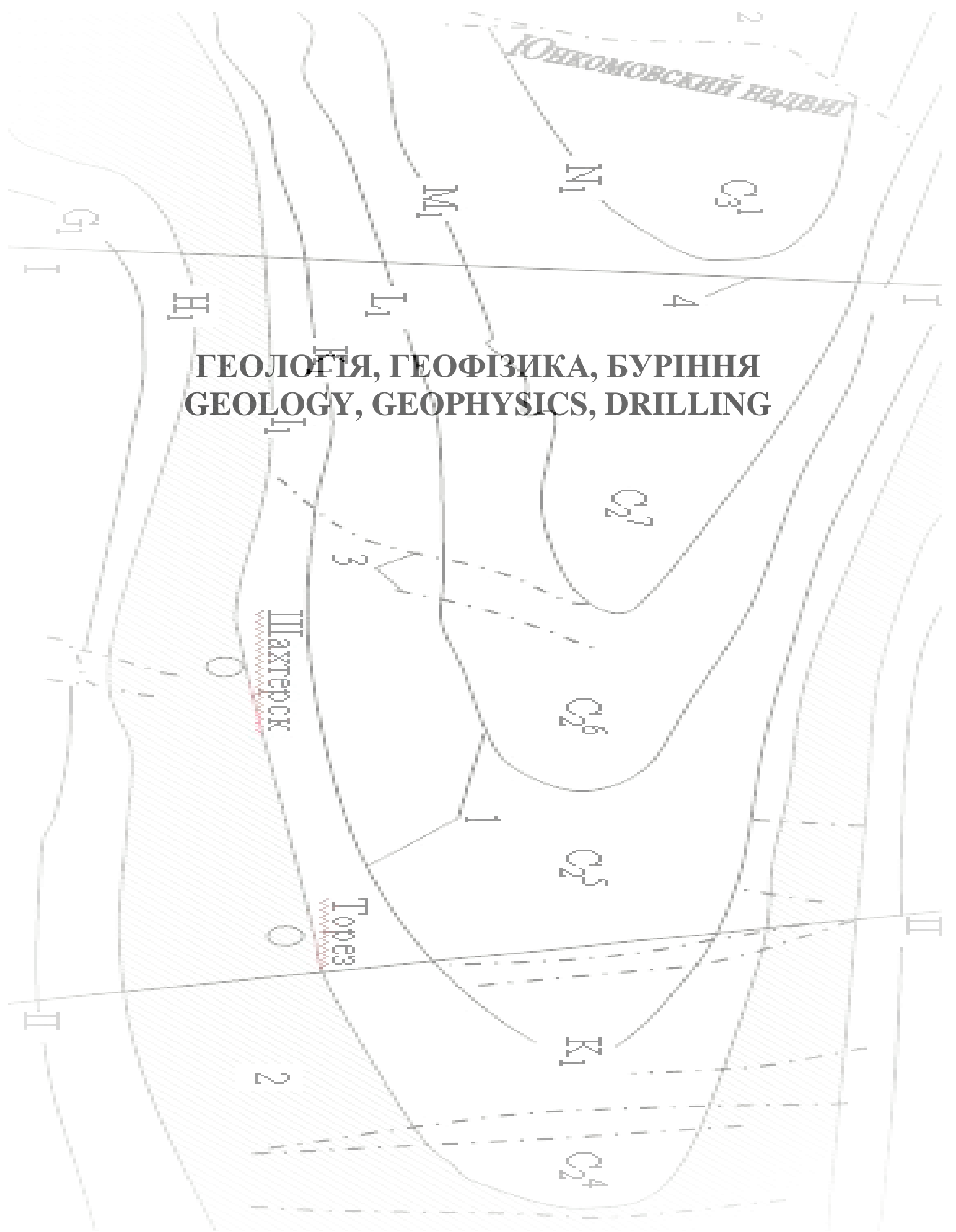
Foreign members of editorial board:

Dr. Ian Barnes (Germany)
Prof. C. Drebenstedt (Germany)
Prof. Mohamed Bounouala (Algeria)
Dr. Slimane Kachi (Algeria)
Prof. Giovanni Pardini (Spain)
D.Sc., prof. Jan Wachowicz (Poland)
D.Sc., prof. Wojciech Cigżkowski (Poland)
Dr. João Xavier Matos (Portugal)
D.Sc., prof. V.V. Gavrilenko (RU)
D.Sc., prof. S.K. Moldabaev (Kazakhstan)
D.Sc., prof. L.A. Manukyan (Armenia)
Ph.D., A.G. Magalashvili (Georgia)

Address:

49005, Dnipropetrovs'k, Karl Marx 19 Av.
NMU, V.V. Ishkov. tel./ fax 726-77-04,
46-90-92, E-mail: zberovskya@mail.ru
www.znp.nmu.org.ua

**ГЕОЛОГІЯ, ГЕОФІЗИКА, БУРІННЯ
GEOLOGY, GEOPHYSICS, DRILLING**



НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕКТониКИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Приведены некоторые особенности тектонического строения основных структур и разломов юго-восточной части Украинского щита по результатам комплексного анализа геолого-геофизических данных.

Наведено деякі особливості тектонічної будови основних структур і розломів південно-східної частини Українського щита за результатами комплексного аналізу геолого-геофізичних даних.

The some features of tectonic structure of the basic structures and faults of south-eastern part of Ukrainian Shield on the results of complex analysis of geological-geophysical researches are given.

Введение. Основы современных представлений о тектоническом строении юго-восточной части Украинского щита (УЩ) были заложены Г.И. Каляевым (1965, 1972 и др.) [1].

На протяжении последних пятидесяти лет их строение объяснялось (и объясняется) как с позиции фиксизма – геосинклинальной модели развития земной коры (Г.И. Каляев, 1965, 1972; З.А. Крутиховская и др., 1971, 1982; В.Б. Соллогуб и др., 1971, 1972, 1975), ротационной модели (К.Ф. Тяпкин, 1972, 1986, 1990), так и мобилизма – концепции тектоники литосферных плит (Г.И. Каляев и др., 1984; Л.С. Галецкий, В.Г. Пастухов и др., 1993; Е.Б. Глеваский и др., 1984, 2000, 2005, 2006 и др.). При этом главные черты строения мегаблоков: зеленокаменные и гранито-гнейсовые пояса (В.Д. Колий и др., 1989 и др., А.Б. Бобров и др., 2002) или синклинорных и антиклинорных зон (Г.И. Каляев и др., 1984), структурно-формационных зон (З.А. Крутиховская, 1971) остаются неизменными.

На современном этапе развития представлений о строении юго-восточной части УЩ принято выделять два мегаблока: Среднеприднепровский (СПМ) и Приазовский (ПМ), которые разделены Орехово-Павлоградской шовной зоной (ОПШЗ) и отделены от Ингульского мегаблока – Криворожско-Кременчугской (Западно-Ингулецко-Криворожской) шовной зоной (рис. 1). В пределах этих мегаблоков выделяются тектонические структуры и разрывные нарушения различных порядков и рангов. Наличие в их пределах многочисленных гранито-мигматитовых куполов и синклиналей, вулканогенно-тектонических впадин (ЗКС), гранитоидных массивов отражает разновозрастный полициклический характер их развития с многоярусной складчатостью, усложнённой блочными разрывами.

СПМ и ПМ имеют двухэтажное строение, в котором выделяются докембрийский и фанерозойский структурные этажи. Нижний структурный этаж представляет докембрийский кристаллический фундамент, сложенный метаморфическими, ультраметаморфическими и интрузивными образованиями палеоархейского, мезоархейского и палеопротерозойского возраста. Этаж харак-

теризується як продовжителю формироваия, так и сложною внутрєнного строения. В составе этажа устанавливается наличие трех структурных ярусов, которые являются отображением трех главных этапов докембрийской истории развития с присущими им чертами и особенностями геологии и металлогении.

Цель статьи. Вопросы тектоники докембрия юго-восточной части УЩ к настоящему времени разработаны недостаточно детально, что связано как со сложностью геологического строения региона, так и гипотетичностью концепций тектонического развития докембрийских образований вообще.

Результаты комплексного анализа геолого-геофизических данных, выполненных при составлении геолого-структурной карты докембрийских образований масштаба 1:200 000, позволили уточнить ряд особенностей тектонического строения основных структур и разломов юго-восточной части УЩ и поновому посмотреть на уже известные закономерности размещения полезных ископаемых, а на следующем этапе оценить перспективы территории на выявление новых рудопроявлений и месторождений.

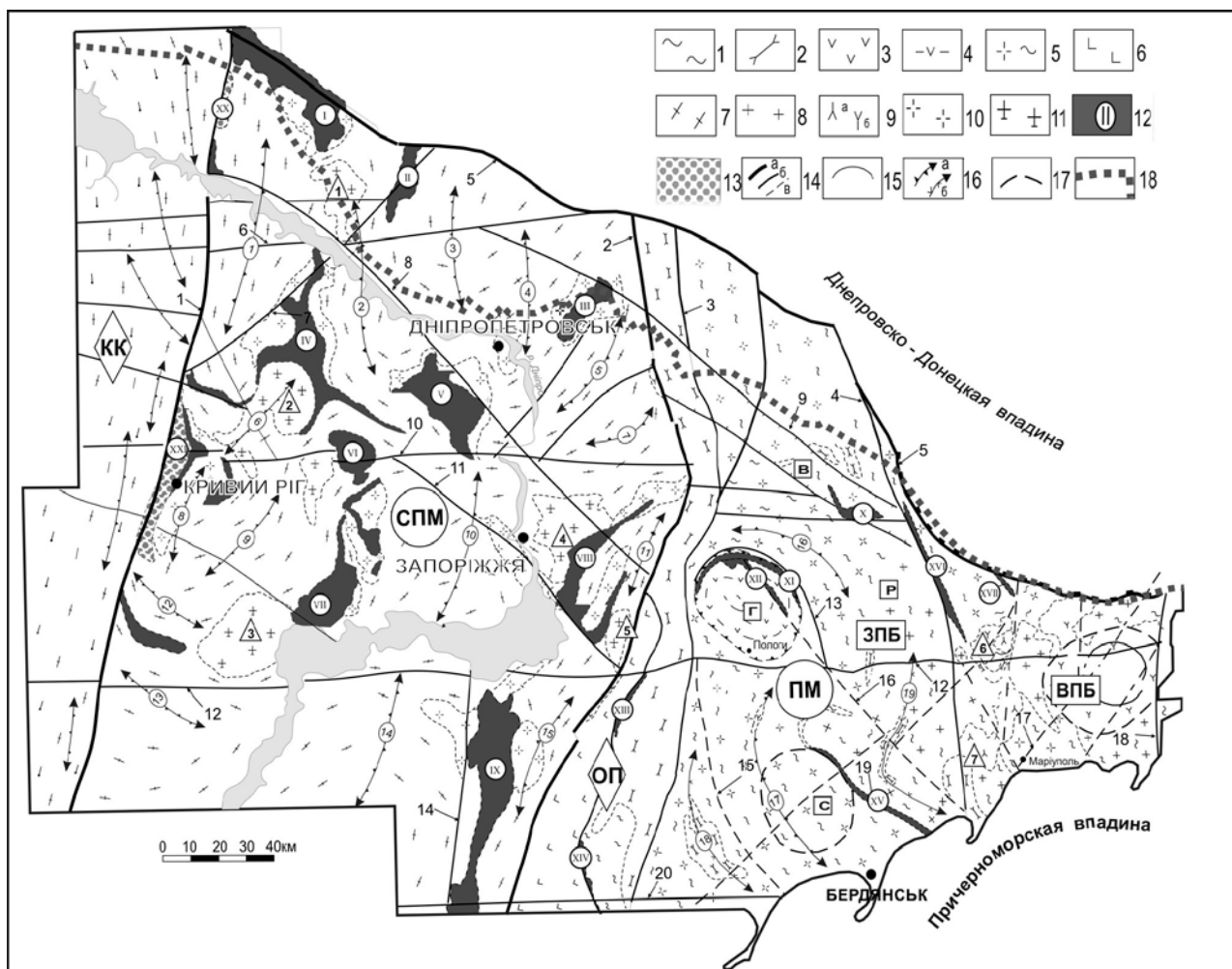


Рис. 1. Геолого-структурная схема восточной части Украинского щита

Условные обозначения: 1-11 – структурно-формационные комплексы; 12 – зеленокаменные образования; 13 – образования криворожской серии; 14 – разрывные нарушения (а – I ранга, б – II ранга, в – высоких рангов); 15 – геологические границы; 16 – структуры (а – антиклинали, б – синклинали); 17 – прогнозные границы структур и массивов; 18 – граница Украинского щита по изогипсе -300 м.

Мегаблоки (буквы в кружках): Среднеприднепровский – СПМ; Приазовский – ПМ. Блоки II порядка (буквы в прямоугольниках): Западноприазовский – ЗПБ; Восточноприазовский – ВПБ. В пределах первого выделяются блоки: Волчанский – В, Гуляйпольский – Г, Ремовский – Р, Салтычанский – С.

Шовные зоны (буквы в ромбах): Криворожско-Кременчугская (Ингулецко-Криворожская) – КК; Ореховско-Павлоградская – ОП.

Антиформы (цифры в эллипсах): Пятихатская – 1, Криничанская – 2, Магдалиновская – 3, Губинихская – 4, Синельниковская – 5, Демуриная – 6, Славгородская – 7, Саксаганская – 8, Базавлукская – 9, Томаковская (Запорожская) – 10, Кымышевахская – 11, Високопольская – 12, Архангельская – 13, Самойловская – 14, Белозерская – 15, Волчанская – 16, Салтычанская – 17. Синформы: Корсакская – 18, Центральноприазовская – 19.

Тектонические элементы. Синклинорные структуры – ЗКС (римские цифры в кружках): Кобелякская – I, Петриковская – II; Деризоватская – III, Верховцевская – IV, Сурская – V, Софиевская – VI, Чертомлыкская – VII, Конкская – VIII, Белозерская – IX, Шевченковско-Федоровская – X, Гайчурская – XI, Косивцевская – XII, Новогурувская – XIII, Чистопольская – XIV, Сорокинская – XV; Павловская – XVI, Зеленогайская – XVI. Синклинали: Кременчугская – XX, Криворожская – XXI.

Массивы гранитоидов (цифры в треугольниках): Орельский – 1, Кудашевский – 2, Токовский – 3, Мокромосковский – 4, Щербаковский – 5; щелочных и субщелочных пород: Октябрьский – 6, Володарский – 7.

Разломы (цифры со стрелками) : Криворожско-Кременчугский – 1; Ореховско-Павлоградский – 2; Западноприазовский – 3; Павловско-Володарский – 4; Южный краевой – 5; Бородаевский – 6; Спасовский – 7; Днепродзержинский – 8; Самарский – 9; Девладовский – 10; Хортицкий – 11; Конкский – 12; Гайчурский – 13; Благовещенский – 14; Корсакский – 15; Куйбышевский – 16; Кальмиусский – 17; Грузко-Еланчикский – 18; Сорокинский – 19; Причерноморский – 20.

Обсуждение вопроса. В тектоническом строении СПМ принимает участие три структурных этажа: палеоархейский, мезоархейский и палеопротерозойский.

Палеоархейская складчатая система (дозеленокаменная) хорошо просматривается в крупных антиклинорных структурах (рис. 1): Пятихатская, Криничанская, Демуриная, Саксаганская, Базавлукская, Томаковская, Камышевахская, Архангельская и др. Это структуры древних выступов, в той или иной мере омоложенные более поздними процессами гранитообразования. В них

наблюдаются разнонаправленные складки различных рангов, которые сложены породами аульской серии, базавлукской толщи и гранитоидами днепропетровского комплекса.

Мезоархейский структурный этаж представлен зеленокаменными структурами (ЗКС), которые сложены образованиями конкской и белозерской серий, тепловской толщи, верховцевского и варваровского комплекса. Подстилаются ЗКС серогнейсовым основанием и интродуцируются постинверсионными плагиоклаз-микроклиновыми гранитоидами. Наиболее крупные синформы (рис. 1): Кобелякская, Дерезоватская, Верховцевская, Сурская, Софиевская, Конкская, Чертомлыкская, Белозерская. Их обрамляют плагиогранит-тоналитовые гранитоидные массивы сурского, саксаганского и demuринского комплексов. К постинверсионным гранитоидным массивам относятся: Мокромосковский, Токковский, Чкаловский и др.

Палеопротерозойский структурный этаж слагают складчатые формы Криворожско-Кременчугского синклиория. Сложен этаж образованиями криворожской серии и глееватской свиты. Он включает в себя складчатые формы более высоких порядков (с севера на юг): Галещинскую, Горишнеплавнинскую, Желтореченскую, Восточноанновскую, Криворожскую, Ингулецкую и др.

С запада СПМ ограничивается крупным Криворожско-Кременчугским глубинным разломом (ККГР), который хорошо выражается в геофизических полях. По данным интерпретации аэро-космоматериалов, является одним из крупнейших по протяженности на УЩ. ККГР на всем своем протяжении по-разному отражается в поверхности Мохоровичича (М). Изолинии глубин её залегания под ним, преимущественно совпадают с его субмеридиональным простиранием, за исключением центральной части Пятихатской антиформы. К западу от разлома до его пересечения с Девладовским отмечается мантийный желоб с глубинами погружения до -52 км и более. По зоне разлома поверхность М опущена с -37 км на западе от него до -52 км на востоке [2]. Время заложения разлома неархей-палеопротерозой с неоднократным подновлением в фанерозе.

Интерпретация сейсмических материалов по профилю «Гранит» [3,4] показывают, что глубинная граница СПМ находится западнее ККГР, приблизительно на меридиане Боковьянского массива. Это предположение подтверждается наличием останцев пород аульской и конкской серий в гранитоидах западноингулецкой зоны.

В пределах СПМ региональная составляющая гравитационного поля имеет невысокий градиент. Контрастные аномалии Δg преимущественно расположены над ЗКС и синклиналями, приуроченных к ККГР. Над ними значения Δg возрастают на 10-20 и более мГал. По данным МТЗ мегаблоку присущ высокоомный разрез земной коры. Перепад значений удельного эффективного сопротивления колеблется от 10000 до 300000 Ом·м. Устанавливается общий тренд повышения сопротивления с юга (от Причерноморской впадины) на север (к Днепровско-Донецкой впадине). В целом же суммарная продольная проводимость земной коры не превышает 100-200 См. На этом фоне четко проявляются глубинные разломы различных рангов: Криворожско-Кременчугский, Комис-

саровский, Бородаевский, Девладовский, Конкский, Днепродзержинский, Хортицкий и др. Проводимость зон разломов на отдельных участках увеличивается на 10 - 30 См и связана с повышенной трещиноватостью кристаллических образований и метасоматическими преобразованиями пород. Среди ЗКС выделяются повышенными значениями проводимости пород Верховцевская и Сурская структуры. Под ними по разделу М отмечаются узкие сильно вытянутые зоны с эффективной проводимостью до 100-200 См. По данным А.И. Ингерова контрастная геоэлектрическая граница со скачком проводимости в 500 См предполагается в верхней мантии на глубинах от 70 до 140 км [5]. В поведении этой границы наблюдаются ряд поднятий, проекции двух из которых по вертикали совпадают с Томаковским блоком и Терноватско-Девладовской структурой. Максимальные значения граничных скоростей по поверхности М [5] отмечаются в пределах Криворожско-Крупецкой зоны (8.3 км/с) и западнее Орехово-Павлоградского разлома (8.2 км/с). В пределах центральной части СПМ преобладают значения $V_{гр} \approx 8.1$ км/с. Пластовые скорости в низах коры изменяются от 7.3 км/с (в наиболее опущенных местах границы М) до 6.3-6.48 км/с на границе Конрада (K_2). Для самой верхней, высокоградиентной части земной коры интервал изменения скорости составляет от 5.9-6.1 км/с (на поверхности фундамента) до 6.35 км/с над «волноводом».

Под СПМ и ПМ мощность литосферы составляет 100 - 150 км, а её утолщение отмечается в сторону ДДВ и Ростовского выступа. Поверхность М под докембрийскими структурами этих мегаблоков имеет различное строение. В пределах СПМ она более изрезанная и дифференцированная, с перепадом глубин от -56 до -28 км. Для ПМ этот показатель равен $-46 \div -34$ км, а поверхность М имеет платообразную форму, осложненной локальными поднятиями и опусканиями.

Разрывные нарушения в СПМ широко развиты, они определяют ее блоковое строение, к ним приурочены разновозрастные дайковые и метасоматические образования. Многочисленные разрывные нарушения высоких рангов различного возраста фиксируются по всей территории СПМ, большая их часть установлена по геолого-геофизическим материалам.

Орехово-Павлоградским глубинный разлом I ранга (ОПГР) в масштабе юго-восточной части УЩ разделяет СПМ и ПМ. Он трассируется далеко за пределы УЩ по геофизическим полям. Судя по профилям ГСЗ, раздел М приподнят к востоку от линии его выхода на уровень докембрийского среза. Нарушение хорошо подчеркивается поведением изолиний поверхности М [1,6]. Перепад глубин по ней составляет от 6 до 10 км. В его центральной части отмечается более спокойное поведение поверхности М и он картируется по изгибам изолиний с отметками от -46 до -44 км. Зона разлома характеризуется широким ореолом метасоматических изменений, главным образом микроклинизации. С ним связаны интрузии габбро-перидотитовой формации Новопавловского блока и Малотерсянский щелочной массив.

ПМ является крайней юго-восточной составной частью УЩ, погружаясь к северо-востоку и югу под платформенные фанерозойские образования соот-

ветственно Днепровско-Донецкой и Причерноморской впадин (рис. 1). Он имеет тектонические ограничения, которые определяют его структурный план. В составе мегаблока выделяются: Орехово-Павлоградская (ОП), Западноприазовская (ЗП) и Восточноприазовская (ВП) структурно-формационные зоны (СФЗ). В последние годы более широко используется схема районирования, по которой выделяются: Орехово-Павлоградская шовная зона (ОПШЗ), Западноприазовский (ЗПБ) и Восточноприазовский (ВПБ) блоки II порядка.

ПМ вносит, пожалуй, наиболее контрастные изменения в физические поля на юго-востоке УЩ. В ее пределах значения гравитационного поля изменяются от 18-20 мГал до 50-55 мГал.

Орехово-Павлоградская ШЗ расположена в западной части мегаблока. Ее ограничивает ОПГР с запада и крупный внутрикоровый Западноприазовский разлом – с востока. В ее строении выделяются два структурных этажа: палеомезоархейский и неоархейский. Породы первого выходят на поверхность в пределах Новопавловского блока и в южной части зоны. Они рассматриваются, как выступы древнего метабазитового основания, состоящего из новопавловской толщи, новопавловских базит-ультрабазитового и эндербит-тоналитового комплексов.

Новопавловский блок характеризуется сложноскладчатым узором структурного плана, резко дисгармоничным с окружающей линейной изоклиальной складчатой системой, в которую смяты породы западноприазовской и центральноприазовской серий. Оси изоклиальных складок падают преимущественно на восток под углами $65-75^{\circ}$. В целом всю Орехово-Павлоградскую ШЗ вслед за Е.Б. Глевасским [6] можно рассматривать как палеозону Бенъоффа-Заварицкого, разделяющую в архее две палеоплиты – Приднепровскую и Приазовскую. Видимо, систему изоклиальных складок, в которую преимущественно смяты породы западноприазовской и центральноприазовской серий, можно трактовать как террасу, столь характерную для зон субдукции. Судя по геофизическим материалам, зона следится далеко на север и юг за пределы щита, из чего можно сделать вывод о том, что Приднепровский и Приазовский геоблоки на уровне современного среза представляют собой лишь фрагменты древних более обширных по площади палеоплит Восточноевропейской платформы.

Орехово-Павлоградская ШЗ хорошо проявляется в поведении поверхности М. В северной части к ней приурочено опускание последней до глубин $-48 \div -46$ км. Поверхность здесь слабо изрезанная. В центральной части зоны она имеет платообразную форму и «лежит» на глубинах от -44 до -46 км. Южнее Конского разлома она находит свое отражение в сложнопостроенном трогообразном прогибе поверхности М, который погружается в южном направлении до глубин $-54 \div -52$ км. Поднятия и погружения более высоких порядков в пределах прогиба имеют вытянутость вдоль ШЗ. Приведенные выше данные о поведении поверхности М под СФЗ однозначно свидетельствуют о её резком отличии от граничащих с запада и востока соответственно СПМ и ПМ УЩ.

Для Орехово-Павлоградской ШЗ по данным С.С. Красовского, З.А. Крутиховской, И.К. Пашкевич и А.В. Чекунова [5] характерно резко аномальное,

по сравнению со смежными блоками, строение земной коры. По их данным, в северной и центральной частях зоны, в разрезе земной коры преобладает «диоритовый» слой, на который приходится до 50% общей мощности коры, тогда как «гранитный» и «базальтовый» слои обладают существенно пониженной мощностью – на каждый из которых приходится примерно до 25% общей мощности коры. В пределах же смежных блоков доля мощности как «базальтового», так и «гранитного» слоев увеличивается до 30-35% при существенном уменьшении мощности «диоритового» – до 30-40%.

Западноприазовский блок занимает обширное пространство между Западноприазовским и Павловско-Володарским (Новопавловско-Володарским) глубинными разломами (рис. 1). Он имеет сложное блоково-складчатое строение. В его глубинном строении наблюдается вертикальная зональность, которая проявлена в разделении земной коры (без осадочного слоя) на три крупных слоя: верхний, средний и нижний. Их мощность колеблется от 7 до 20 км. В нижнем слое, сложенном более основными породами, значения продольных скоростей составляют от 6.6-6.7 до 7.0-7.05 км/с, при колебании $\rho_{эф}$ – от 100 до 1000 Ом·м. На нем залегает средний – с несколько меньшими скоростями (6.4 - 6.6 км/с), но с более высокими значениями эффективного удельного сопротивления ($\rho_{эф} = 200 - 5000$ Ом·м). Верхний, наиболее высокоградиентный слой, характеризуется скоростями от 5.9 до 6.35 км/с и эффективным удельным сопротивлением от 20 до 500 Ом·м.

В пределах блока выделяется ряд структур I порядка (рис. 1): Салтычанская антиформа, Корсакский синклиорий, Центральноприазовский синклиорий, Волчанский, Гуляйпольский, Бердянский и Ремовский блоки и др.

Восточноприазовский блок ограничивается с запада Павловско-Володарским глубинным разломом, с севера – Южнодонбасским сбросом, с востока – Грузско-Еланчикской зоной разломов от Ростовского выступа и с юга – системой сбросов, ограничивающих щит и Причерноморскую впадину. Он насыщен щелочными интрузивными породами хлебодаровского, южнокальчикского, октябрьского комплексов и палеозойскими субвулканическими аппаратами. В тоже время здесь прослеживается и более древние складчатые сооружения. К наиболее крупным из них относится Октябрьский антиклинорий, сложенный преимущественно породами верхнетокмакской толщи западноприазовской серии палеоархея. В его ядре располагается одноименный щелочной массив, для которого, также как и для других щелочных массивов ПМ, устанавливается общая закономерность – приуроченность к поднятиям поверхности М вблизи градиентных зон. Глубины залегания таких поднятий под массивами достигают: Октябрьским $-40 \div -38$ км; Кременевским и Володарским $-36 \div -34$ км. Для блока значения граничной скорости на разделе М составляют 8.3-8.4 км/с. Пластовые скорости в его земной коре характеризуются более низким градиентом по сравнению с Западноприазовским блоком, а значения колеблются от 6.95-7.0 км/с в низах коры до 5.8-5.9 км/с на поверхности фундамента.

Среди разрывных нарушений ПМ особняком стоит Южнодонбасская зона разломов, которая отделяет УЩ (в своей северо-восточной части) от Донецкого

складчатого сооруженія. Зона разрывных нарушений имеет глубинное заложение, о чем свидетельствуют многочисленные интрузии щелочных и базальтоидных пород, здесь же находится и крупный Покрово-Киреевский интрузив. Вся зона сочленения УЩ и Донбасса имеет сложное строение, в ней встречается ряд горстовых структур, сложенных докембрийскими породами: Стыльский, Еланчикский массивы и др.

Разломы более высоких порядков ограничивают различные структуры в пределах ПМ и часто сопровождающиеся дайками пестрого состава и зонами метасоматоза – это: Гайчурский, Корсакский, Новопавловский, Сорокинский, Кальмиусский, Куйбышевский, Октябрьский, Грузско-Еланчикский и др. разрывные нарушения (рис. 1). К этому же порядку в целом относится Самарская тектоническая зона северо-западного простирания, фиксируемая дайками диабазов и образующая одноименный дайковый пояс в северо-восточной части Волчанского антиклинория.

Заключение. В статье рассмотрены некоторые особенности тектонического строения главных структур и разломов по данным комплексного анализа геолого-геофизических данных, проведенных при составлении геолого-структурной карты докембрийских образований масштаба 1:200 000 юго-восточной части УЩ. Приведенные результаты исследований позволяют уточнить уже известные закономерности размещения полезных ископаемых и оценить перспективы территории на выявление новых проявлений полезных ископаемых.

В пределах юго-восточной части УЩ с зонами разрывных нарушений связаны проявления разнообразных полезных ископаемых. Проявления кимберлитового магматизма также приурочены к зонам глубинных разломов. Особенно благоприятными для проникновения кимберлитовой магмы в земную кору являются области пересечения глубинных разломов, тяготеющих к центральным и периферическим частям кратонов. Локальным структурно-тектоническим критерием для прогнозирования кимберлитов может быть наличие оперяющих разломов, расположенных обычно под углами к глубинным разломам.

Список литературы

1. Каляев Г.І., Крутиховська З.О., Жуков Г.В. та інш. Тектоніка Українського щита. К.: Наук. думка – 1972. – 300 с.
2. Насад А.Г., Пигулевский П.И., Кичурчак В.М., Радзивилл А.Я. О взаимосвязи поверхностных структур докембрийского фундамента Среднеприднепровского и Приазовского геоблоков Украинского щита с поверхностью Мохоровичича // Геол. журн. –1997.-№1-2. – С.131-137.
3. Пігулевський П. Г. Особливості геологічної будови верхнього шару земної кори південно-східної частини УЩ / П. Г. Пігулевський // Вісник Київ. ун-ту. Геологія. – 2011. – Вип. 55. – С. 67–72.
4. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / Н. Я. Азаров, А. В. Анциферов, Е. М. Шеремет, Е.Б. Глевасский, П.И. Пигулевский [и др.]. – К.: Наукова Думка, 2006.– 196 с.

5. Чекунов А.В., Соллогуб В.Б., Красовский С.С., Пашкевич И.К. и др. Схема глубинного строения литосферы юго-западной части Восточно-Европейской платформы. М - б 1 : 1 000 000, редактор Чекунов А.В., 1992. – 6 л.
6. Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита / [Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М. и др.]; под ред. Н.Я. Азарова. – К. : Наукова Думка, 2005. – 190 с.

*Рекомендовано до публікації д.геол.наук Приходченком В.Ф.
Надійшла до редакції 18.03.2015*

УДК 550.83+550.837:550.82:551.244:551.495 (477.63)

© В.К. Свистун, Л.Й. Золотарьова, П.Г. Пігулевський, О.С. Кирилюк

ВИВЧЕННЯ НЕГАТИВНИХ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ЯВИЩ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ КРИВБАСУ ГЕОФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Наведено результати вивчення геофізичними методами проблеми підтоплення південно-західної частини Кривбасу.

Приведены результаты изучения геофизическими методами проблемы подтопления юго-западной части Кривбасса.

The results of the study of the problem of flooding of southwestern part Kryvbas by geophysical methods are introduced.

Вступ. Найбільш значний вплив на гідрогеологічний режим Кривбасу здійснюється такими невід'ємними від технології гірничовидобувного комплексу техногенними об'єктами як шламосховища та водосховища, а також великі відвали кристалічних та осадових порід [1].

Правобережні відвали та їх водоакумулююча і водонаповнююча здатність може бути причиною підтоплення та активізації зсувних та провальних (карстових) явищ в таких населених пунктах, як Рудничне та Рахманове. Близько розташовані від них старі гірничі виробки по видобутку вапняку (розміри та розміщення яких невідомі) та додаткове надходження води з відвалів може призводити до зсувних явищ на самих відвалах, до процесу вилуговування в пластах вапняків та до активного перетоку підземних вод.

Велика складність та важливість рішення цих проблем обумовила необхідність збору та ретельного вивчення результатів усіх попередніх геологічних, гідрогеологічних та геофізичних робіт, виконання їх детального аналізу, на основі якого потрібно було визначити оптимальний комплекс та методику геофізичних досліджень. Для цього були вивчені інженерно-геологічні умови площі досліджень і, в першу чергу, гідрогеологічні умови. Аналіз усієї наявної геолого-геофізичної інформації визначив оптимальний комплекс та методику геофізичних досліджень [2-4]. Для вивчення ступеню підтоплення південно-західної частини

Кривбасу були використані електророзвідувальні методи в модифікаціях вертикального електричного зондування (ВЕЗ) та природнього поля (ПП).

Електричні властивості порід. До початку досліджень були проаналізовані електричні властивості порід, отримані за результатами узагальнення матеріалів Держбуду РСФСР та партії руднично-шахтної геофізики Кривбасу.

Найбільш високі значення електричного (уявного) опору характерні для порід кристалічного фундаменту (від перших сотень Ом·м до тисяч і більше). Вивітрилі відмінності корінних порід мають більш низький електричний опір, який знижується у корі вивітрювання до 10 Ом·м. Приуроченість до верхньої вивітрилої частини корінних порід водоносного горизонту сприяє підвищенню електропровідності кори вивітрювання. Таке явище є сприятливим для картування розривних порушень.

Серед порід осадової товщі відносно високий питомий електричний опір мають піски, але їх опір цілком залежить від водонасичення і, в деякій мірі, від гранулометричного складу. У природному заляганні піски є водоносними горизонтами, через це, в умовах водонасичення, їх опір буде коливатися в межах 25 - 80 Ом·м.

Супіски і суглинки за електричними властивостями є близькими. Їх опір змінюється для району робіт переважно в межах 10 - 30 Ом·м.

Глини мають найбільш низькі значення електричного опору. В залежності від ступеня ущільнення та зволоження вони змінюються на площі досліджень від 2 до 20 Ом·м.

Польові електророзвідувальні роботи. За результатами аналізу та синтезу геофізичних досліджень, виконаних в минулі роки, було побудовано карту уявного опору на розносі 150 м по точкам спостережень 1984 р., що дозволило намітити місця оптимального розташування профілів досліджень (рис. 1). Всього було виконано дослідження методом ВЕЗ по 14 окремим профілям, з яких 5 з великим кроком спостережень 200 метрів. Вони орієнтовані у субширотному та субмеридіональному напрямках з окремими відхиленнями в залежності від умов місцевості (орієнтації доріг, посадок та ін.).

Електрометричні дослідження проводилися по профілям: ВЕЗ – кроком 200м; ПП – 20м. Додатково по рідкій сітці були виконані біолокаційні спостереження по мережі 2 x 1, 1 x 1, 0,5 x 0,5 км.

Основною метою цих досліджень було виявлення пластів гірських порід з різним електричним опором, які вважаються водопровідними, або водотривкими горизонтами і визначення за показниками електричного опору характеру їх зволоження та розміщення в їх межах зон підвищеної проникливості.

Лінійні ВЕЗ з малими розносами проводилися по деяким профілям та їх відріzkам для вивчення детальної характеристики верхньої частини зони аерації.

Повторні лінійні ВЕЗ виконувалися на основних профілях через тривалий проміжок часу (4 роки) для встановлення змін геоелектричних параметрів порід розрізу в часі, пов'язаних з просторово-часовими змінами гідрогеологічної обстановки.

Для ув'язки геоелектричних даних в різних напрямках та вивчення впливу анізотропії порід було виконано 33 хрестові ВЕЗ.

На точках раніше пробурених свердловин, ставилися параметричні ВЕЗ для співставлення електричних та геологічних параметрів, уточнення меж геологічних пластів та їх потужності. Ці дані необхідні при кількісній та якісній інтерпретації ВЕЗ. Параметричні ВЕЗ-дослідження були виконані поблизу 35 свердловин.

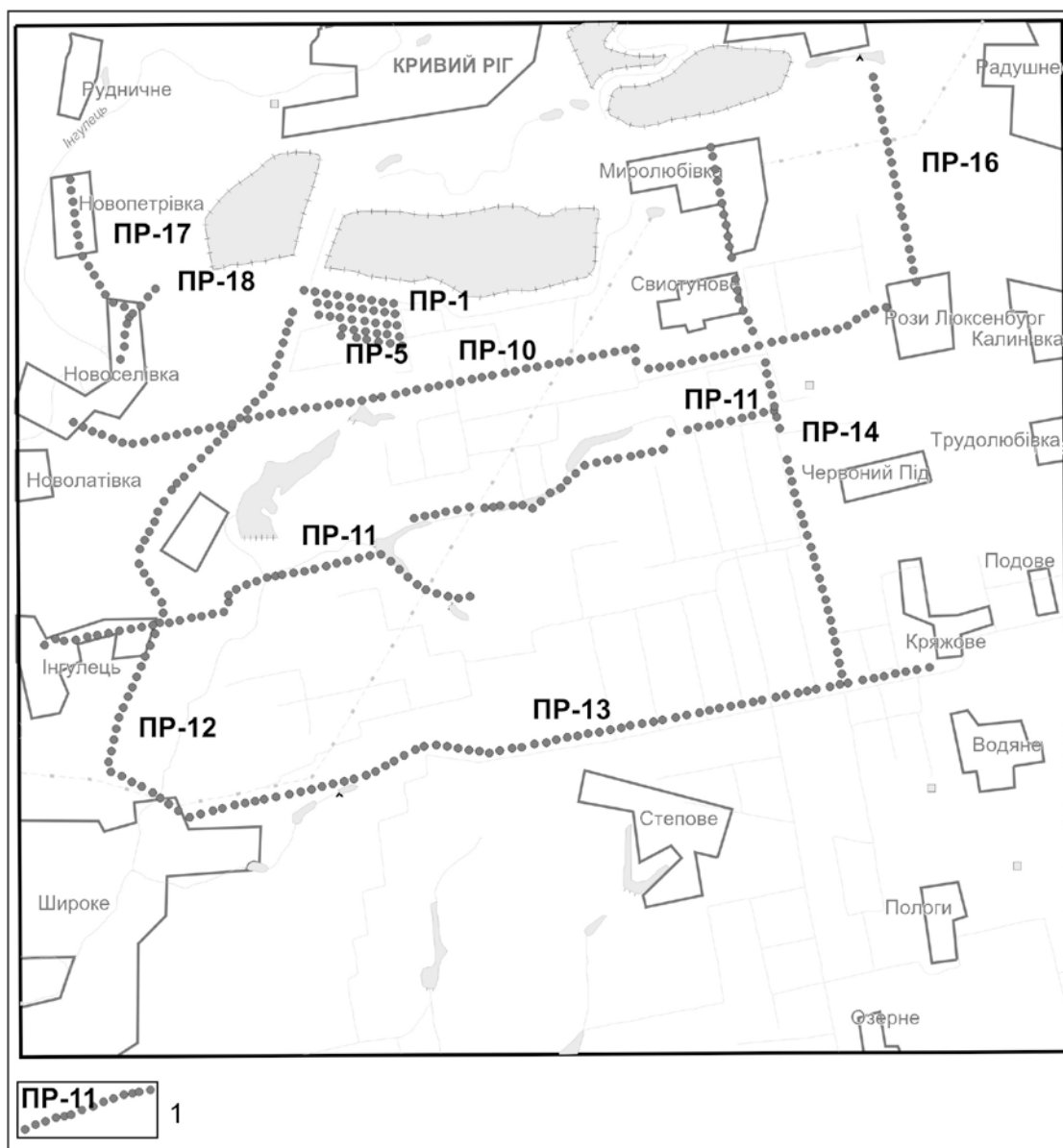


Рис. 1. Схема розташування профілів ВЕЗ на топооснові: 1 – профілі ВЕЗ та їх номери

При виконанні польових робіт використовувалась апаратура АНЧ-3 та застосовувався чотирьохелектродний вид зондувань з симетричною установкою АМНВ. З урахуванням потужності пухких утворень та очікуваних параметрів геолого-гідрогеологічного розрізу довжина розносів АВ була прийнята 200 м.

Результати інтерпретації геофізичних матеріалів. Аналіз карт гравітаційного та магнітного полів масштабу 1:50 000 показує, що кристалічний фундамент розбитий багаточисельними тектонічними порушеннями, які розділяють фундамент на рівновеликі блоки. Останні мають тенденцію зрушення внаслідок глибинних процесів, що постійно відбуваються. В свою чергу, рухи блоків фундаменту впливають на структуру перекриваючої товщі і, відповідно, на водоносні горизонти. Поверхня фундаменту формує рельєфні особливості перекриваючої товщі пухких порід, вміщуючих водоносні горизонти.

Західна частина площі досліджень (рис. 1) знаходиться в сфері впливу трансрегіонального Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому. В північно-західному куті площі розміщуються фрагменти Криворізького залізорудного басейну, який представлений південним замиканням Основної синкліналі та відрізком вузької Лихманівської синкліналі, складених породами Криворізької серії. Продовження зони цього розлому на південь та південний захід припадає на поля розвитку древніх гранітоїдів Саксаганського гранітоїдного комплексу.

За результатами інтерпретації електрометричних спостережень (рис. 2) сумісно з даними аналізу та інтерпретації гравіметричних і магнітних карт в межах площі проявляються багаточисельні розривні тектонічні порушення різного простягання та геологічної природи.

Найбільш чітко проявлені тектонічні розривні порушення в центральній частині площі, в перехідній зоні від суто гранітоїдних товщ до гранітизованих метабазитів. Тут в гравітаційному полі добре фіксуються багаточисельні зони підвищених горизонтальних градієнтів, часто співпадаючих з аномальними та градієнтними зонами електричного поля.

Чіткі зони підвищених горизонтальних градієнтів, які співпадають з широкими зонами деформацій електричного поля ПП, або різкими змінами уявного опору, визначаються як зони підвищеної проникності (рис. 3). Водоносний горизонт в четвертинних відкладах має площинне поширення (рис. 4), за винятком окремих ділянок, які мають як природне (вздовж річок та великих балок), так і техногенне (відвали, кар'єри, хвостосховища) походження [4].

За літологічним складом, водозбагаченістю, ступенем водопроникності, генезисом, геоморфологічними особливостями їхнього поширення та гіпсометричному положенню виділено чотири водоносних та слабо водоносних горизонти:

– водоносний горизонт в алювіальних нерозчленованих відкладах заплав і надзаплавних терас (аЕ – Н) простежується тільки в межах заплав та призаплавних ділянках р. Інгулець;

– слабководносний горизонт в алювіально-делювіальних відкладах днищ балок верхнього неоплейстоцену-голоцену (adP-Н);

– слабководносний горизонт в озерно-еолово-делювіальних відкладах подових понижень верхнього неоплейстоцену (e, vdP);

– водоносний горизонт в елювіальних, елювіально-делювіальних, еолових та еолово-делювіальних нерозчленованих відкладах вододільних плато неоплейстоцену (e, ed, v, vd, P).

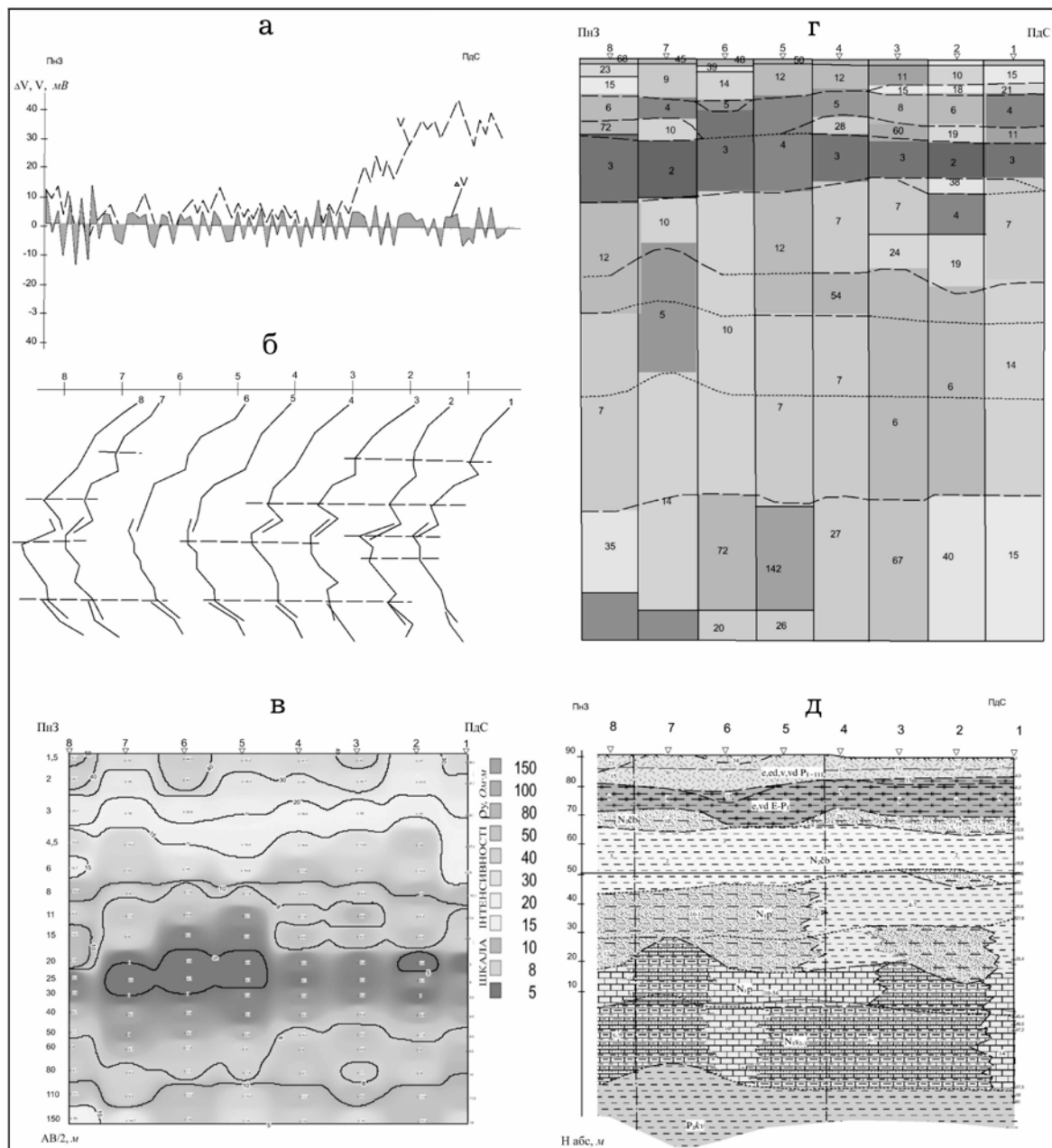


Рис. 2. Приклад геолого-геофізичної інтерпретації електророзвідувальних спостережень по профілю 2: а – Графіки градієнту (ΔV) та потенціалу (V) природного електричного поля (2008 р., масштаб: гор. 1:10000 верт. 1:500); б – криві ВЕЗ; в – вертикальний розріз ізоом уявного опору (ρ_y) за 2008 р. спостережень (масштаб: гор. 1: 10 000 верт. логариф.); г – результати кількісної інтерпретації даних ВЕЗ; д – геолого-геофізичний розріз по профілю 2 (масштаб: гор. 1:10000 верт. 1:500)

Два останні водоносні горизонти мають найбільше поширення на площі досліджень.

Водоносні горизонти в межах річкової долини р. Інгулець та в нижніх частинах балок зазнають певного впливу понт-сарматського водоносного горизонту, у зв'язку з його розвантаженням.

У вертикальній площині перший від поверхні водоносний горизонт (рис. 2) складається з кількох різновікових утворень, які відрізняються складом, фізико-механічними властивостями та кольором.

Розподіл глибин рівнів першого від поверхні водоносного горизонту представлений на рис. 3. На ньому показані ізолінії глибин залягання поверхні капілярного зволоження, яка встановлювалась за результатами комплексного аналізу матеріалів ВЕЗ та біолокаційних спостережень, а також ізолінії глибин першого від поверхні водоносного горизонту.

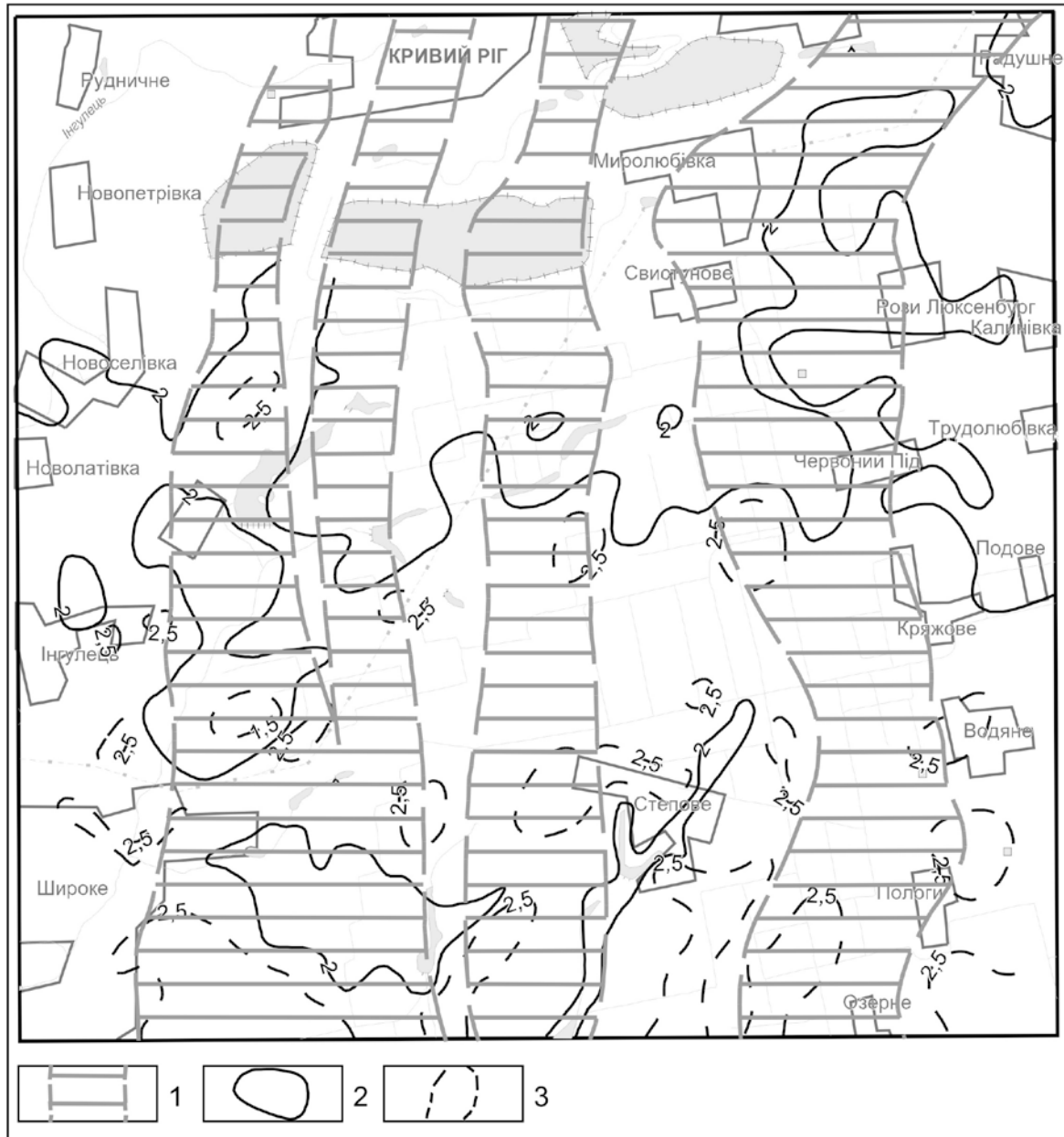


Рис. 3. Карта глибин рівня порових вод та зон підвищеної проникності: 1 – зони підвищеної фільтрації, виявлені за результатами ВЕЗ, ПП та біолокації; 2 – гідроізогіпси глибин рівня порових вод за даними свердловин, ВЕЗ, колодязів з глибиною до рівня підземних вод (в метрах); 3 – гідроізогіпси рівня порових вод за даними ВЕЗ та біолокації (в метрах)

Рівень капілярного зволоження розміщується вище рівня ґрунтових вод (рис. 4) і, на нашу думку, характеризує глибину поверхневого випаровування. Він знаходиться в зоні аерації – зоні активного водо і парообміну під впливом літніх спек та атмосферних опадів. Співставлення глибин капілярного зволоження з результатами ВЕЗ по профілях показало їх велику подібність, але спостерігається і певна розбіжність, яку можливо пояснити різними природними умовами спостережень (наявності рослинного покриву, нахилу земної поверхні, ступеня зволоження, або висушення і т.п.). Разом з тим, дані, які отримані за результатами електрометричних досліджень та біолокаційним методом дуже важливі для вирішення сільськогосподарських задач з метою контролю зволоження, або глибини випаровування.

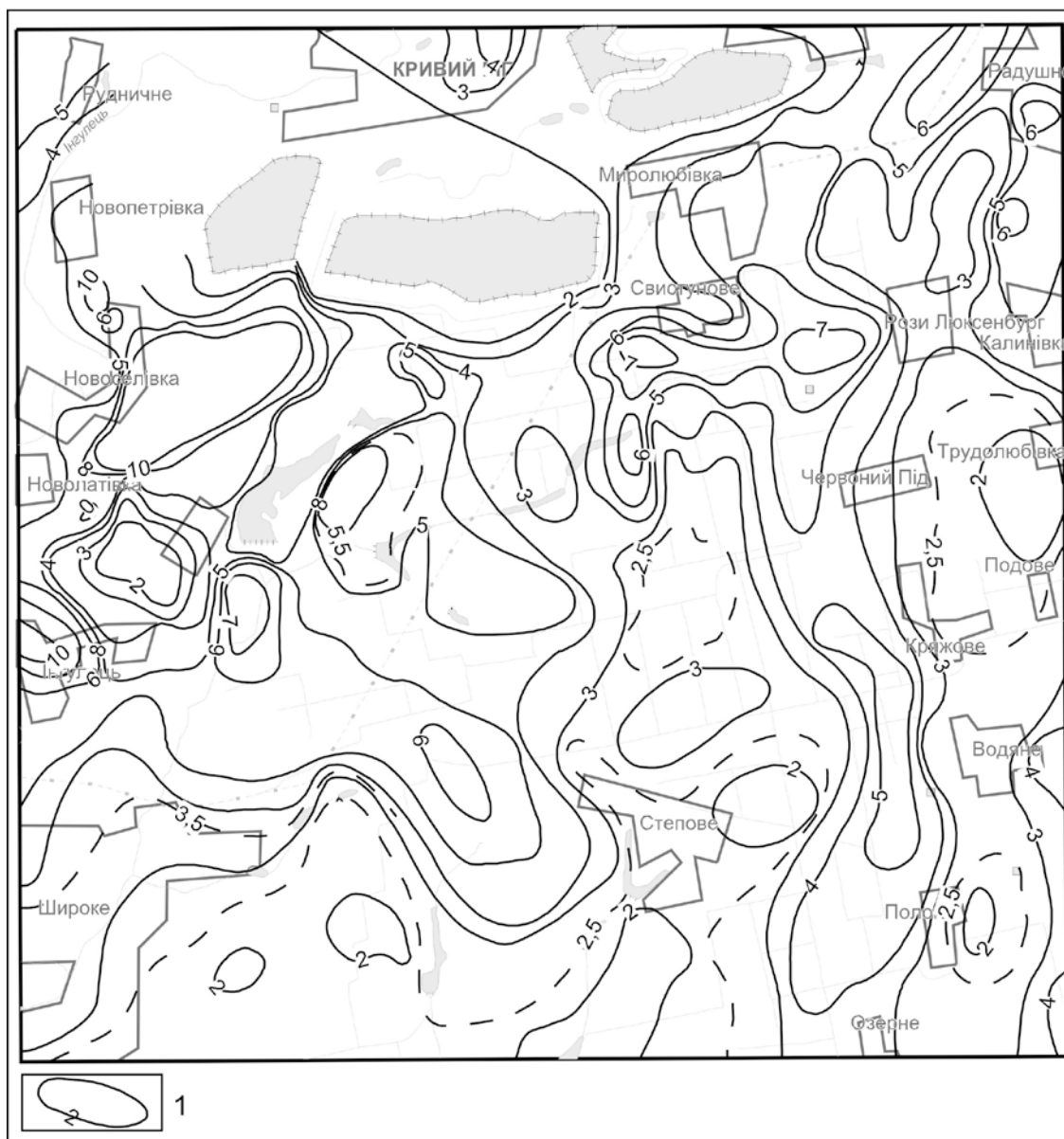


Рис. 4. Карта глибин рівнів першого від поверхні водоносного горизонту: 1 – гідроізогіпси глибин рівня підземних вод першого від поверхні водоносною горизонту (за даними свердловин, ВЕЗ, колодязів), в метрах

Висновки. Проведений комплекс геолого-геофізичних досліджень інженерно-геологічного стану південно-західної частини Кривбасу, дозволив виявити основні риси будови та окреслити певні перспективи його розвитку.

Результати інтерпретації проведених комплексних досліджень дали можливість виявити нову та поглибити і доповнити відому інформацію про сучасний стан інженерно-геологічних, гідрогеологічних процесів, виявити та спрогнозувати їх подальші зміни.

За результатами комплексної інтерпретації встановлені місця можливих тектонічних порушень та зон підвищеної проникності, які являються відображеннями розривних тектонічних зон кристалічного фундаменту.

Вперше за результатами комплексної інтерпретації геофізичних даних виявлені зони глибинної (вертикальної) фільтрації, що, можливо, мають регіональний характер.

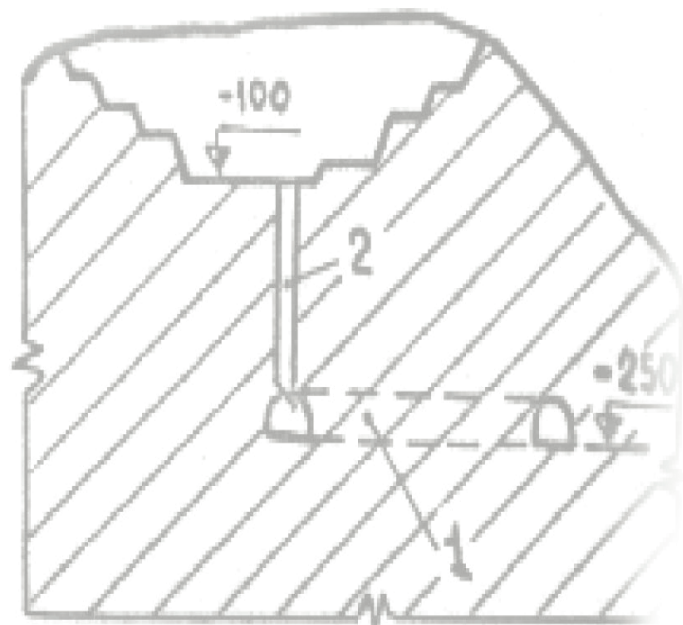
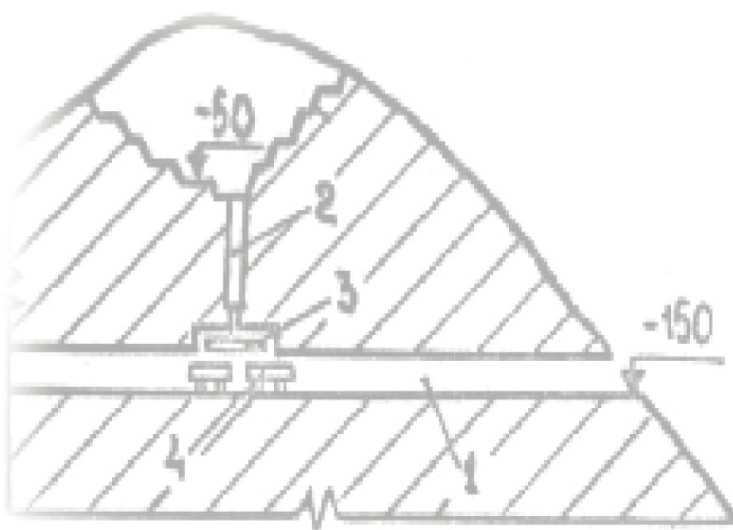
Комплексний аналіз отриманих даних дозволив визначити ділянки негативних інженерно-геологічних проявів (провали, зсуви, підтоплення) та оцінити перспективи їх подальшого розвитку. Вони дозволяють керівникам ГЗК разом з місцевою владою приймати рішення по мінімізації наслідків функціонування техногенних об'єктів (шламосховищ, водосховищ, а також великих відвалів кристалічних та осадових порід).

Список літератури

1. Свистун В.К., Пахомов В.М., Золотарева Л.И., Калиниченко О.А. Об особенностях формирования техногенно-экологической ситуации в г. Кривой Рог // Науковий Вісник НГАУ. – 2005. - №7. – С.48-51.
2. Свистун В.К., Золотарева Л.И., Калиниченко О.А. Опыт применения геофизических исследований для изучения провально-просадочных явлений в районе старых горных выработок. Деякі чинники техногенезу НАНУ. – Кривий Ріг: Оксан-Принт, 2002. – С.63-72.
3. Свистун В.К., Золотарьова Л.И., Калініченко О.О. Особенности развития техногенного подтопления окремих територій Кривого Рогу. Науково-видавнична серія: Геологічне середовище антропогенної екосистеми. Техногенез у поверхневих та підземних водах. – Кривий Ріг: „Мінерал”, 2006. – С.24-35.
4. Свистун В.К., Золотарьова Л.И., Калініченко О.О., Пігулевський П.Г., Кирилюк О.С. Вивчення геофізичними методами інженерно-геологічного стану південно-західної частини Кривбасу. Збірник наукових праць за результатами роботи III Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК». Кривий Ріг, 19 червня 2015 р. Вид. ФОП Чернявський Д.О., 2015. – С. 46-48.

*Рекомендовано до публікації д.геол.наук Приходченком В.Ф.
Надійшла до редакції 22.03.2015*

РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН
DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS



УДК 622.684

© О.О. Анісімов, І.А. Довгалюк

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ САМОСКИДІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ПРОДУКТИВНОСТІ В УМОВАХ СТРИЖАВСЬКОГО РОДОВИЩА МІГМАТИТІВ

Рассмотрены возможности повышения производительности автосамосвалов в условиях Стрижавского карьера.

Розглянуто можливості підвищення продуктивності автосамоскидів в умовах Стрижавського кар'єру.

The possibilities of increasing productivity in a dump truck Strizhevsky career.

Введення. Будь-яке будівництво в Україні та в інших країнах потребує видобуток відповідних матеріалів. Щебінь – є найпоширенішим матеріалом що використовується для цивільного та промислового будівництва споруд, ремонту та зведення автомобільних та залізничних доріг, виготовлення залізобетонних конструкцій та інш. Для видобутку щебеню в сучасних умовах необхідно підвищення якості отримуюмого продукту та зменшення собівартості видобутку. Зниження собівартості може бути досягнуто за рахунок використання новітніх сучасних технологій видобутку, підвищення продуктивності обладнання, що використовується на виробництві. Одним із ефективних заходів зниження собівартості є аналіз роботи транспортного обладнання та пошук рішень, що підвищують його продуктивність.

Найбільше розповсюдження, на кар'єрах будівельних гірничих порід, по об'єму перевезень в кар'єрах отримав автомобільний транспорт, рухомий склад якого включає – автосамоскиди, тягачі з напівпричепами та причепами, автопотяги і т.д. [1]. Найкраще розміщення основних вузлів гірничого підприємства (вибій, відвал, дробарно-сортувальне обладнання та інш.) дозволяє максимально зменшити відстань транспортування гірської маси. На щебених кар'єрах автосамоскиди працюють в комплексі з різними видами однокішшових екскаваторів. В умовах кар'єрів застосовують прямі та зворотні механічні лопати, драглайни з незначною місткістю ковша, навантажувачі, що працюють у комплексі з автомобільним транспортом. Використання автосамоскидів обумовлено перевагами цього транспорту: відносна невелика вартість цього транспорту у порівнянні з іншими, маневреність, використання дизельного палива (незалежність від електричних мереж), мобільність, яка дає можливість застосовувати їх на будь яких горизонтах в кар'єрі, більший ухил що долається автосамоскидами при підйомі, спрощення процесу створення кар'єрних доріг, незначні робочі площадки та інш. Перелічені властивості впливають на вибір цього виду транспорту особливо при проектуванні невеликих кар'єрів.

Приватне акціонерне товариство “Стрижавський граніт” веде розробку на родовище, де видобування мігматитів здійснюється з 1926 року. Родовище розташоване на відстані 5 км на північ від м. Вінниця, на лівому березі

р. Південний Буг, поблизу с. Стрижавка. Стрижавське родовище є одним із найбільших у Вінницькій області з видобутку нерудних корисних копалин і їхня якість достатньо висока, мігматити родовища є сировиною для виготовлення щебеню, каменю будового та піску подрібненого, які використовуються в промисловому, дорожньому та житловому будівництві. Основними споживачами є будівельні фірми, які спеціалізуються на будівництві будівель, споруд, а також автомобільних доріг. Значна частина готової продукції йде на експорт. Основним споживачем є Росія та Польща.

Мета роботи це визначити чинники, що дозволяють підвищити продуктивність роботи автосамоскидів в умовах Стрижавського кар'єру.

Задачі, що вирішуються для підвищення продуктивності автосамоскидів в умовах Стрижавського кар'єру наступні: на основі даних Стрижавського кар'єру визначити раціональні відстані транспортування гірничої маси; визначити фактори, які впливають на продуктивність автосамоскидів; визначити шляхи підвищення продуктивності автосамоскидів при видобутку мігматитів на Стрижавському кар'єрі.

Деякі гірничі та пов'язані з ними роботи на Стрижавському родовищі мігматитів виконуються спеціалізованими організаціями згідно договорів підряду. Наприклад, буровибухові роботи виконуються ПрАТ “Західукрвибухпром”. Буріння свердловин виконуються буровими станками Atlas Copco. Основна вибухова речовина, яка використовується на Стрижавському кар'єрі – патронова емульсійна вибухова речовина Анемікс – 2. Заряджання здійснюється спеціальними установками на базі автомобіля КрАЗ-6322. Виймально-навантажувальні роботи та транспортування корисної копалини, їх переробка на дробильно-сортувальній установці, а також проведення розкривних та відвальних робіт здійснюється безпосередньо робітниками ПрАТ “Стрижавський кар'єр”. Для виймання порід з масиву використовують одноківшеві екскаватори ЕКГ-5А та Hyundai R 420 LC. Відносно невелика продуктивність кар'єру 500 тис. т/рік обумовлює використання автомобільного транспорту. Транспортування гірничої маси здійснюється кар'єрними автосамоскидами типу БілАЗ-7540 та БілАЗ-548.

Виходячи з того, що Стрижавське родовище мігматитів не є потужним, виймально-навантажувальне обладнання використовується, з ковшами місткістю 2,5 та 5 м³. Комплексна механізація передбачає використання автосамоскидів вантажопідйомністю від 10 до 40 т. В ці рамки вписуються наступні марки автосамоскидів МАЗ, КрАЗ, Камаз, ТАТРА, БілАЗ, САТ та ін. На кар'єрі Стрижавського родовища використовуються автосамоскиди БілАЗ -548 у кількості – 3 одиниці та 1 в резерві, та БілАЗ-7540 – 1 одиниця. Кількість виймально-навантажувального обладнання складає: ЕКГ-5 – 1 од. та гідравлічні екскаватори Hyundai R 420 LC – 2 од.

Основними параметрами кар'єрних автосамоскидів прийнято вважати: вантажопідйомність, потужність двигуна, об'єм кузова, колісна формула та радіус розвороту. Всі ці показники впливають безпосередньо на продуктивність автосамоскидів. Робота автосамоскидів в кар'єрі залежить від багатьох факто-

рів: готовність вибою, продуктивності екскаватору, професіоналізму водія і машиністу екскаватору, стану доріг і кліматичних умов, стану дробарно-сортувального устаткування і його продуктивності, відстані транспортування і схеми розробки уступів та інше.

На основі проведених досліджень у період значного видобутку мігматитів отримані дані роботи обладнання. На основі цих даних були визначені показники продуктивності кар'єру, які наведені у табл. 1 та на графіку продуктивності кар'єру за звітній період (рис. 1).

Таблиця 1

Показники продуктивності кар'єру

Дні місяця	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Продуктивність, т	3415	3160	2388	2456	3521	3559	2963	1780	4387	3996	5463
Кількість рейсів всіх автосамоскидів до ДСЗ, од.	102	93	69	71	104	105	87	47	120	106	154
Середня кількість рейсів за зміну однієї машини, од.	26	23	17	18	26	26	22	12	30	27	39
Дні місяця	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Продуктивність, т	6108	4034	3207	2026	3498	4245	4655	2707	3056	5169	4258
Кількість рейсів всіх автосамоскидів до ДСЗ, од.	174	117	94	62	101	119	134	77	85	155	123
Середня кількість рейсів за зміну однієї машини, од.	44	29	24	16	25	30	34	19	21	39	31

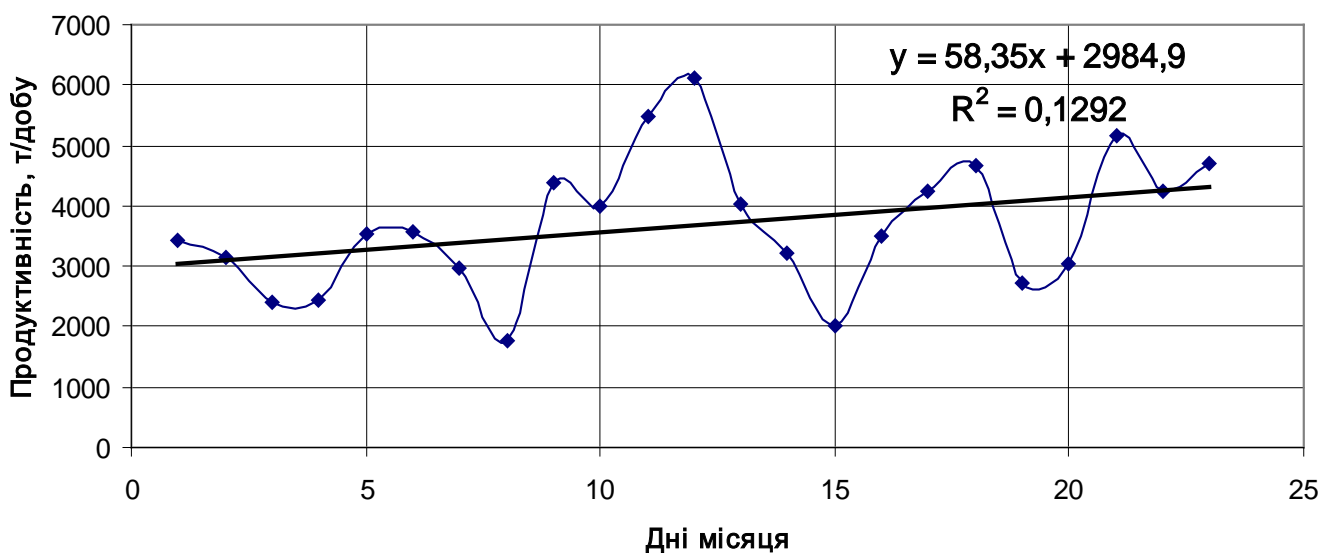


Рис. 1. Продуктивність кар'єрного обладнання за липень, 2015 р.

Як видно з рис.1, середня продуктивність кар'єру за добу складає – 3695 т. При цьому середня кількість рейсів що здійснюють усі автосамоскиди за добу склала – 95 од., а середня кількість рейсів однієї машини становить – 26. Середня відстань транспортування при цьому склала –1,7 км.

Одним із важливих факторів підвищення ефективності використання автосамоскидів вважається стан кар'єрних доріг. Стан кар'єрних доріг безпосередньо впливає на їх продуктивність. Підтримання дорожнього полотна у належному стані дозволяє самоскидам рухатись з більшою швидкістю та за відповідний час перевозити більшу кількість вантажу. Міцність земляного полотна дороги повинна зберігатись при зміні температурного режиму та при відповідній вологості. Кар'єрні автодороги складаються з основи, підстиляючого шару та дорожнього покриття. Стан доріг на Стрижавському кар'єрі можна вважати відносно задовільним. Матеріалом для дорожньої основи на дорогах кар'єру служать скельні породи у непорушеному масиві.

Для підтримки стану доріг регулярно проводиться підсипка аварійних ділянок доріг продуктами переробки дробарно-сортувальної установки, тобто щебенем різної фракції (20-40 мм, 40-60 мм) та відсівом. Важливим моментом є те, що у теплу пору року потрібно проводити регулярний полив доріг, задля зменшення пилоутворення у атмосфері кар'єра. Підвищений вміст пилу в кар'єрному повітрі зменшує видимість, а відповідно і швидкість руху. Потраплення пилу до внутрішніх рухомих частин зменшує термін служби агрегатів автосамоскидів. Взимку кар'єр працює менш, але у тому випадку, коли здійснюються перевезення кар'єрні дороги замерзають і є необхідність їхньої підсипки сіллю або піском. Все ці заходи необхідні для того, щоб робота автосамоскидів була найбільш продуктивна.

В роботі [3] відмічено, що важливим критерієм якості кар'єрних дороги є опір коченню - показник сили, яка повинна бути подолана колесом при русі його по поверхні. У ряді випадків зниження опору коченню дозволяє зменшити парк самоскидів на одну-дві одиниці, зберігаючи при цьому обсяги перевезень. У розрахунку на кожен тону маси мінімальний опір коченню, яке має бути подолано колесом при русі транспортного засобу, становить близько 20 кг (200Н). При русі машини вгору по похилій площині виникає додатковий опір. При зростанні коефіцієнта опору в 3,6 рази, споживання самоскидом пального збільшується в 1,46 разів. В залежності від якості покриття доріг в кар'єрі та опору кочення прямо пропорційно змінюється швидкість руху автосамоскидів. Спостереження за роботою автосамоскидів в умовах Стрижавського кар'єра дозволили отримати залежність продуктивності автотранспорту від швидкості його руху (рис. 2). Окремо розглянуті два типи автосамоскидів що використовуються в умовах кар'єру, а саме БілАЗ-7540, БілАЗ-548.

У тому випадку, якщо не підсипати кар'єрні дороги, продуктивність автосамоскидів буде падати. Результати досліджень наведені на графіку(рис. 2).

В результаті отриманих залежностей визначено, що при підвищенні якості кар'єрних доріг – швидкість автосамоскидів зростає, а відповідно буде зростати продуктивність (рис. 2).

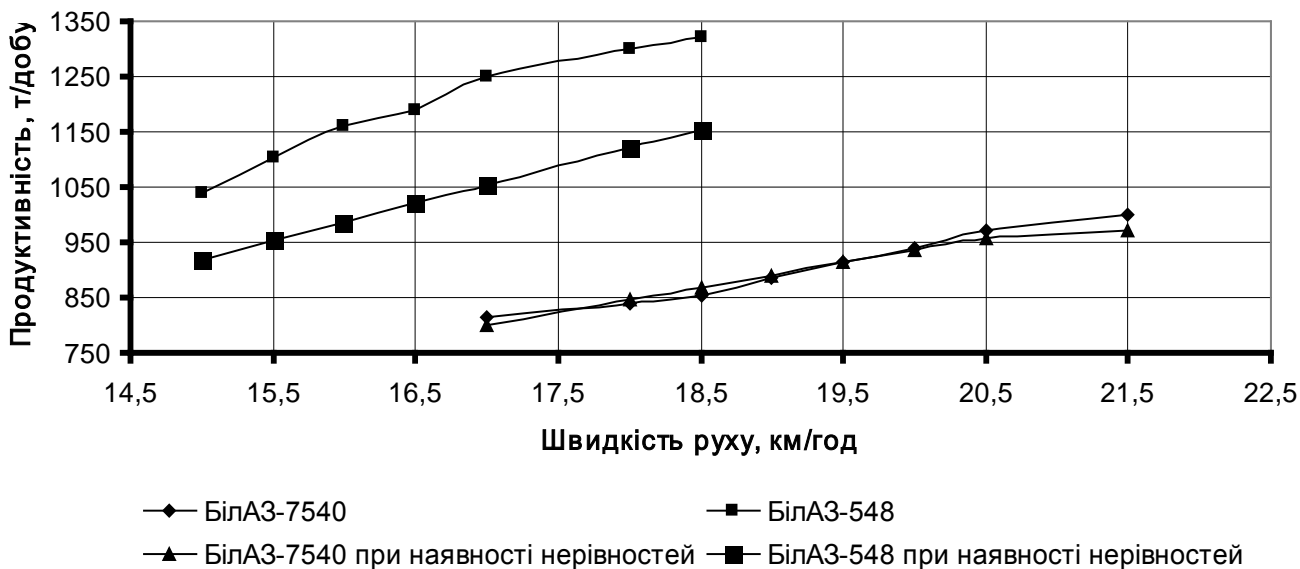


Рис. 2. Графік залежності продуктивності автосамоскидів від швидкості руху

Крім швидкості пересування автосамоскидів є ще один дуже важливий фактор, який безпосередньо впливає на продуктивність – це відстань транспортування. В умовах Стрижавського кар'єру відстань транспортування корисної копалини до місця переробки, на даний момент, складає близько 1,7 км. Так, як гірничі роботи будуть розвиватись і далі, відстань транспортування буде збільшуватись, отже потрібно буде застосовувати інші схеми розробки, щоб оптимізувати відстань перевезення гірничої маси до дробарно-сортувальної установки. На основі отриманих даних визначена залежність добової продуктивності автосамоскиду від відстані транспортування (рис. 3).

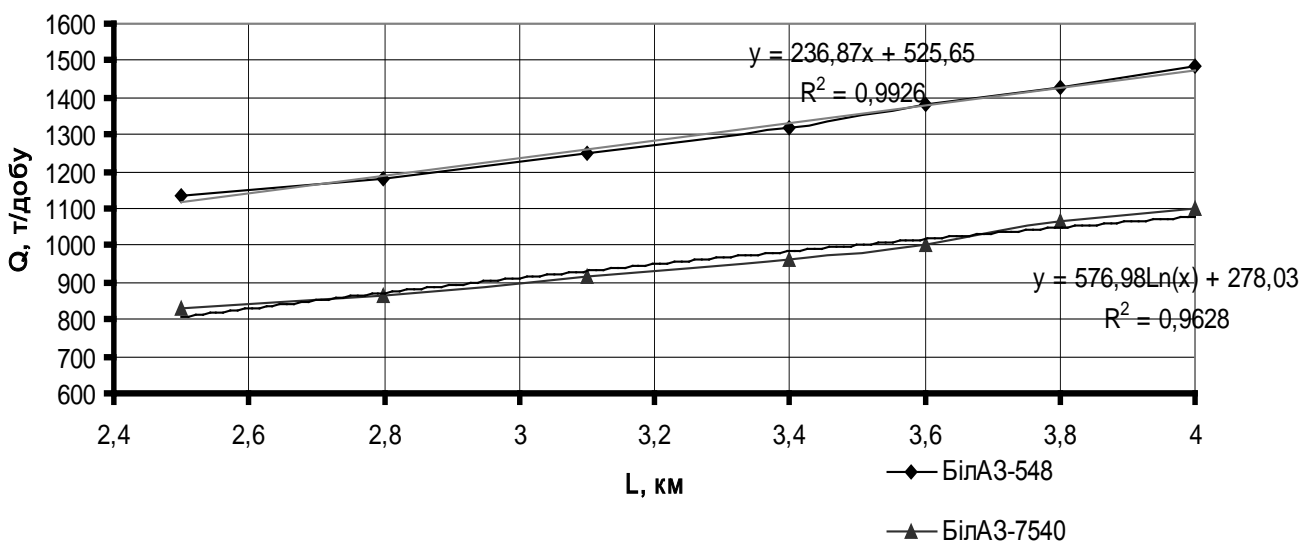


Рис. 3. Графік залежності добової продуктивності від відстані транспортування в умовах Стрижавського кар'єру

Після побудови графічної залежності, на основі оброблених даних, отримали результати того, як змінюється продуктивність від відстані транспортування. Зі збільшенням відстані на 100 м – продуктивність падає приблизно на 20-30т/добу (на одному автосамоскиді). В тому числі для БілАЗ-548 на кожні 100 м при збільшенні відстані транспортування продуктивність знижується на 23 т/добу, а при використанні БілАЗ – 7540 - продуктивність знижується на 11 т/добу.

Відстань транспортування впливає на час, що витрачається автосамоскидами для перевезення гірничої маси. Як відомо час рейсу складається з часу на розвантаження, завантаження, маневрування біля бункеру та екскаватора, очікування.

На продуктивність кар'єрних самоскидів впливає час, який вони витрачають на операції з маневрування біля приймального бункеру дробарно-сортувальної установки (ДСУ). Ця тривалість визначається виходячи з часу, який автосамоскид витрачає на під'їзд, розворот на майданчику, під'їзд до бункеру заднім ходом. Відповідно, правильно обрана схема маневрування на площадці і побудова самого майданчику дозволяє зменшити час і підвищити продуктивність кар'єрного транспорту.

Час, що витрачається на навантаження та розвантаження самоскида, залежить від ємності кузова, циклу роботи екскаватора та кількості завантажених ковшів. Час, необхідний для під'їзду під навантаження і розвантаження, залежить від схеми під'їзду. Схеми подачі автосамоскидів під навантаження бувають наскрізні, петльові, тупикові. При кільцевому русі машин в кар'єрі і зустрічному під'їзді застосовують наскрізні схеми, при попутному - петльові. При зустрічному русі автомашин в кар'єрі використовують петльову схему подачі. Наскрізні схеми подачі машин під навантаження найбільш ефективні. Однак область застосування їх обмежена умовами руху автотранспорту в кар'єрі. Найбільш поширені петльові схеми, при яких здійснюється потоковий обмін машин. Час маневрування при цих схемах становить 10 - 25 секунд, а час обміну 15 - 20 секунд, що менше тривалості циклу екскаватора. Установка автомашин під навантаження повинна забезпечити максимальну продуктивність екскаватора. Доцільно розташовувати машину праворуч від екскаватора так, щоб вісь машини і вісь стріли екскаватора в момент розвантаження ковша становили кут 90°.

В результаті проведених досліджень, можна зробити висновки, що для підвищення продуктивності автосамоскидів необхідно використовувати наступні схеми маневрування: на дні Стрижавського кар'єру бажано застосування наскрізної схеми, на проміжних горизонтах потрібно використовувати тупикові та кільцеві схеми подачі автосамоскиду під завантаження, а маневрування біля бункеру дробарки можливо тільки із застосуванням тупикової схеми. Використання вище наведених схем маневрування дозволяють збільшити продуктивність всіх автосамоскидів на 2 т за добу.

Висновки: У сучасних ринкових умовах діяльність будь-якого підприємства націлена приносити прибуток, який визначається співвідношенням доходів, одержуваних при виконанні заданих об'ємів перевезень гірської маси. Підвищення продуктивності транспортного процесу дозволяє насамперед скоротити витрати підприємства і, як наслідок, збільшити його прибуток.

На основі графічних та аналітичних залежностей отримані показники, які дозволяють визначити шляхи підвищення продуктивності автосамоскидів в умовах розробки Стрижавського родовища мігматитів, а саме:

- при підвищенні якості кар'єрних доріг – швидкість автосамоскидів зростає на 2 км/год, а відповідно зростає і їх продуктивність до 150-180т/добу ;

- на основі отриманих даних продуктивність автосамоскидів зі збільшенням відстані транспортування на 100 м знижується приблизно на 20-30 т/добу (на один автосамоскид);

- підвищення продуктивності автосамоскидів за рахунок маневрування, обраної схеми подачі автосамоскиду під завантаження забезпечується при використанні тупікової та кільцевої схем при подачі автосамоскиду під завантаження. Біля приймального бункеру дробарки застосовується тупікова схема. Їх використання дозволяє збільшити продуктивність всіх автосамоскидів на 2 т за добу.

Список літератури

1. Дриженко А.Ю Кар'єрні технрлогічні гірничотранспортні системи: моногр. – Д.:Державний ВНЗ "НГУ", 2011.-542с.
2. Малишева Н.А., Сиренко В.Н. Технология разработки месторождений нерудных строительных материалов. –М.: "Недра", 1977. - 392с.
3. Біліченко М.Я Транспорт на гірничих підприємствах – Д: Державний ВНЗ "НГУ", 2005 -636с.

*Рекомендовано до публікації, д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 10.04.2015*

УДК 622.831:622.142.5

© Р.О. Дичковський

ДО ПИТАННЯ ГЕОМЕТРИЗАЦІЇ ДАНИХ І ФОРМУВАННЯ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ГІРСЬКИМ ТИСКОМ У ЛАВІ

Представлены способы геометризации данных для воспроизведения литологического строения горного массива по плоскостям контактов слоев горных пород. Предложен математический механизм определения нагрузок на секции механизированной крепи и управления горным давлением для формирования имитационных моделей в горном производстве.

Наведено способи геометризації даних для відображення літологічної будови гірського масиву за площинами контактів шарів гірських порід. Запропоновано математичний механізм визначення навантажень на секції механізованого кріплення та керування гірським тиском для формування імітаційних моделей гірничого виробництва.

Methods of geometrization data for lithological structure display in planes of rock seams contact are presented. The mathematical mechanism for determining the loads on the section of mechanized support and management of mining pressure to create simulation models in mining are suggested.

Вступ. Виїмкова дільниця є основним структурним підрозділом шахти, оскільки саме в її межах відбувається експлуатація вугільних запасів. Ефективність цього структурного підрозділу визначає кількість відбитого вугілля від масиву. Його переміщення по шахті пов'язане із великим і складним комплексом супутніх технологічних операцій та організаційних факторів, що мають взаємний вплив і, у кінцевому результаті, визначають собівартість отриманої продукції. Їх поєднання в єдину систему провадиться на етапі проектування гірничодобувного підприємства.

Відповідно до вихідних даних, якими слугують гірничо-геологічна характеристика масиву й якісні та кількісні показники вугільних пластів, вибирається техніка для руйнування вугілля та системи керування гірським тиском. За обмежуючими факторами (глибина розробки, наявність водоносних горизонтів, геологічної порушеності масиву, метановиділення тощо) вносяться необхідні корективи до процесу ведення робіт.

Надалі провадиться формування самої системи розробки, параметрів виїмкових дільниць, механізації очисних і підготовчих робіт, дільничного та магістрального транспорту й інших супутніх технологічних процесів. Важливим елементом є встановлення допустимих меж застосування того чи іншого техніко-технологічного рішення для забезпечення економічно доцільних рамок усього проекту. З цією метою до оцінки кінцевих рішень аналізу піддається максимально можлива кількість варіантів механізації очисних робіт.

Виходячи із положень, наведених у роботі [1], саме створення імітаційної моделі з відтворення основних елементів гірничо-геологічної будови та техніко-технологічного забезпечення очисних робіт є ефективним механізмом для візуального відображення взаємодії усіх елементів у системі «гірничодобувне обладнання – гірський масив». Схема розрахунку варіантів, що являє собою графічне зображення взаємозв'язку вихідних даних і змінних величин у вигляді речових чи математичних символів, функцій переходу, втілюється у прикладні комп'ютерні програмні продукти і вводиться до електронної системи шахти. На основі сумісності окремих технологічних систем і організаційних рішень персоналу вносяться необхідні коректування у процес видобування вугілля, у першу чергу, керування гірським тиском за допомогою зміни силових параметрів механізованого кріплення.

На заключному етапі аналізуються основні розрахункові варіанти для уточнення змінних параметрів, здійснюється геометризація технологічних схем у вигляді математичних залежностей відповідно до напружено-деформованого стану гірського масиву. На їх основі приймаються рішення щодо ефективних технологічних схем виконання очисних робіт і керування гірським тиском у міру посування очисного вибою вздовж виїмкового стовпа.

На основі економічних показників здійснюється формалізація (адаптація) окремих видів робіт технологічного ланцюга та визначення остаточної вартості виходячи від ризиків впровадження інноваційного проекту. Для обчислень важливо формувати системи, які є логічно побудованими і простими до сприйняття. Саме з метою створення системи геометризації даних вихідних величин

у вигляді Grid-систем, з подальшою побудовою тривимірних геометричних фігур та візуалізацією на електронних чи паперових носіях, є вкрай важливим і необхідним.

Кінцевими об'єктами такого відображення є чотири параметри, які досліджуватимуться у подальшому: площі контактів кожної літологічної різниці, міцнісні характеристики гірського масиву, силові параметри механізованого кріплення та коефіцієнт літологічної будови.

Мета статті. На основі геометризації даних і формування імітаційних моделей удосконалити механізм оцінки напружено-деформованого стану гірського масиву для встановлення силових параметрів механізованого кріплення при відпрацюванні стовпів в ефективно доцільних межах.

Аналітично-дослідне визначення навантажень на секції механізованого кріплення. У формуванні навантажень на секції механізованого кріплення закладено складний процес релаксації напружень масиву у результаті чого виникають переміщення гірських порід, які своєю масою тиснуть на перекриття секцій. Керування гірським тиском проводиться шляхом задавання необхідної реакції у стояках подачею необхідного тиску робочої рідини у систему. Таким чином відбувається корегування комплексу складних процесів, що виникають при формуванні техніко-технологічної та гірничо-геологічної ситуації на виїмковому стовпі.

Для забезпечення ефективної роботи гірничодобувної техніки механізованих комплексів привнесені навантаження на секції механізованого кріплення від бічних порід (Q_n) мають бути нижчими за відповідні реакції секцій механізованого кріплення (Q_k). У загальному вигляді це можна записати нерівністю:

$$Q_n \leq Q_k.$$

Навантаження на секції механізованого кріплення є функцією міцнісних характеристик надвугільної товщі та геометричних розмірів, а реакції секцій механізованого кріплення можна записати у вигляді аналогічних приведених величин:

$$Q_n = f(\sigma_{jn}, \tau_{jn}, P_{jn}) \leq Q_k = f(\sigma_{jk}, \tau_{jk}, P_{jk}),$$

де $\sigma_{jn}, \tau_{jn}, \sigma_{jk}, \tau_{jk}$ – характеристики гірського масиву і відповідних силових параметрів стояків механізованого кріплення; P_{jn}, P_{jk} – геометричні розміри окремих породних шарів літологічної різниці.

Відповідно відношення привнесених навантажень до силових параметрів механізованого кріплення показуватиме ступінь завантаженості секцій механізованого кріплення. Врахувавши варіативність зміни літологічної будови та ймовірності проявів окремих визначальних чинників напруженості (K_1, K_2), що характеризують якісну зміну породовмісної товщі за площею виїмкового стовпа, отримаємо відношення:

$$n = \frac{Q_n}{Q_k} = \frac{f(\sigma_{jn}, \tau_{jn}, P_{jn})}{f(\sigma_{jk}, \tau_{jk}, P_{jk})} \cdot K_1 \cdot K_2.$$

Назвемо отриману величину n – коефіцієнт літологічної будови гірських порід. З практичної точки зору даний коефіцієнт дає можливість встановити достовірний інтервал застосування гірничодобувної техніки під час його руху у виїмкових стовпах, межі регулювання силовими параметрами маслосистеми (тиском емульсії в усій системі чи окремих секціях кріплення) механізованих комплексів, зон необхідного розвантаження масиву, встановлення додаткових елементів підсилення та ін.

Наведені силові параметри секцій механізованого комплексу ($Q_{кр}$) є віртуальною величиною. Вони показують несучу здатність за фактором кріплення на площу привнесеного навантаження. Ці величини із певним запасом стійкості є паспортними даними застосованого механізованого комплексу.

Відображення кожної літологічної різниці порід досліджуваних областей здійснювалось шляхом аналізу гірничо-геологічної будови за відомими розвідувальними свердловинами, параметрами очисних та підготовчих робіт. Саме ці дані разом із відповідними міцнісними характеристиками окремих шарів слугували вихідними даними для подальших розрахунків.

Дослідженнями гірничо-геологічної документації відпрацьованих лав вугледобувних регіонів (лави: 560 пласта n_7^B , шахта «Відродження»; 242 пласта n_8^B , шахта «Червоноградська» ДП «Львіввугілля»; 880 пласта s_6 шахти «Західно-Донбаська», 542 пласта s_5 шахти «Самарська» компанії ДТЕК та ін.) відображення загальна картина у системі «просторове розташування очисних робіт – літологічна будова масиву». У результаті було встановлено, що зміна потужності та зниження міцнісних характеристик породних шарів жорсткості, у першу чергу основної покрівлі, негативно впливає на процес видобування вугілля.

З цією метою літологічна різниця вуглевмісної товщі з відповідними фізико-механічними властивостями за дільничними штреками відтворювалася за допомогою математичних залежностей у вигляді кривих поліноміального ряду відповідного порядку:

$$\begin{aligned} y_1 &= k_i L^{i-1} + k_{i-1} L^{i-2} + \dots + k_2 L + k_1 \\ y_2 &= k_{2i} L^{2(i-1)} + k_{2(i-1)} L^{2(i-2)} + \dots + k_{2,2} L + k_{2,1} \\ &\dots\dots\dots \\ y_{n-1} &= k_{(n-1)i} L^{(n-1)i-1} + k_{(n-1)(i-1)} L^{(n-1)i-2} + \dots + k_{(n-1)2} L + k_{(n-1)1} \\ y_n &= k_{ni} L^{n(i-1)} + k_{n(i-1)} L^{n(i-2)} + \dots + k_{n2} L + k_{n1} \end{aligned}$$

де $k_1 - k_i$ – емпіричні коефіцієнти гірничо-геологічної будови вуглевмісної товщі за дільничним штреком; i – кількісний показник поліноміального ряду; n_i – кількість шарів жорсткості вуглепородної товщі; L – довжина виїмкового стовпа (абсциса за декартовими координатами).

Далі проводився аналіз міцнісних характеристик літологічної будови масиву, починаючи від безпосередньої покрівлі (σ_1) до відповідного шару надвугільної товщі (σ_{n+n}). При $\sigma_n < \sigma_{n+1}$ породний шар (σ_{n+1}) визначався шаром жорсткості й розглядаввся окремою системою, якій притаманні деформаційні характе-

ристики, що визначатимуть поведінку гірського масиву при виведенні його зі статичної рівноваги очисними роботами. В іншому випадку деформація обох шарів приймалася однаковою.

Площі за перерізами дільничних штреків, що оконтурюють виїмкову дільницю за шарами літологічної різниці, визначаються за виразами:

$$P_{ki} = \int_0^{L_i} (y_{in} - y_{(in-1)}) dL,$$

$$P_{kj} = \int_0^{L_j} (y_{jn} - y_{(jn-1)}) dL,$$

де L_i, L_j – відповідно довжина оконтурюючих дільничних виробок, м; $y_{in}, y_{in-1}, y_{jn}, y_{jn-1}$ – відповідно функціональні залежності зміни літологічної різниці за перерізами дільничних штреків; n_i – кількість прийнятих до дослідження шарів літологічної різниці.

Навантаження на секції механізованого кріплення залежить від маси навислих порід покрівлі, що формується у результаті розвантаження напружень у масиві гірських порід. При встановленні абсолютних значень цих величин і, відповідно, необхідних силових параметрів секцій механізованого кріплення автором аналітичним способом були встановлені необхідні математичні залежності та проведені подальші коректування отриманих результатів шляхом шахтних експериментальних вимірів.

За встановленими параметрами літологічної будови розглянутих ділянок виїмкових стовпів [1] була прийнята до розгляду розрахункова схема щодо визначення навантажень на кріплення очисного вибою (рис. 1). Коректування отриманих результатів здійснювалося шляхом практичного встановлення тиску робочої рідини у секціях механізованого кріплення та внесенням відповідних доповнень в отримані математичні залежності за допомогою емпіричних коефіцієнтів. Дана розрахункова схема враховує наявність слабометаморфізованих порід у покрівлі вугільного пласта і відповідає типу покрівлі середньої стійкості (Б2 (Б3), А2).

При формуванні напружено–деформованого стану гірського масиву важливою складовою є швидкість руху гірничодобувних машин та, відповідно, величина посування очисного вибою. Значною мірою від цих параметрів також залежить величина нависання порід покрівлі та крок посадки основної та безпосередньої покрівлі. Чим довший крок посадки покрівлі, тим більші навантаження припадають на секції механізованого кріплення.

Загальновідомо, що навантаження на секції механізованого кріплення визначається виходячи із маси навислих порід покрівлі над робочим простором очисного вибою. Даний параметр може бути встановлений із наступного виразу:

$$Q_n = \frac{2(h_n \cdot l_n \cdot \gamma_n \cdot \text{tg} \psi_n + h_o \cdot \gamma_o \cdot l_o \cdot \text{tg} \psi_o + h_c \cdot \gamma_c \cdot l_o \cdot \text{tg} \psi_c) l_n \cdot \beta}{S_{кр} \cdot n_{кр}}, \text{ МПа (тс/м}^2\text{)},$$

де $h_n, h_o, h_c, l_n, l_o, \gamma_n, \gamma_o, \gamma_c, \psi_n, \psi_o, \psi_{np}$ – потужності, кроки посадки, об’ємні маси та кути повних зрушень порід відповідно: безпосередньої покрівлі, основної покрівлі та шару слабких вміщуючих порід; l_n – довжина лави, м; β – емпіричний коефіцієнт жорсткості системи; $S_{кр}$ – площа перекриття секцій механізованого кріплення; $n_{кр}$ – кількість секцій механізованого кріплення по довжині лави.

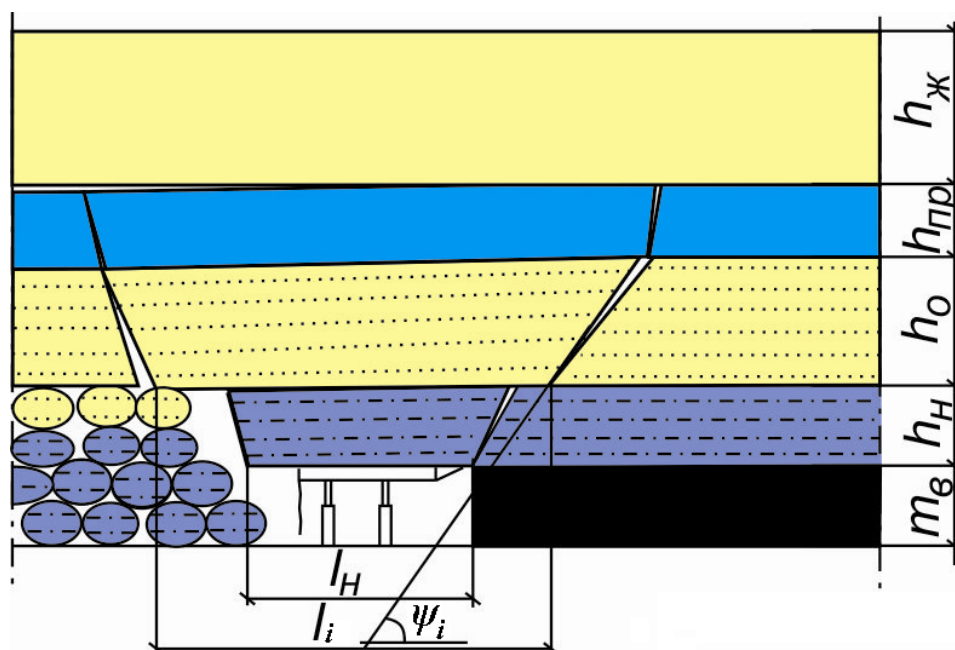


Рис. 1. Розрахункова схема до визначення параметрів напружено-деформованого стану: $m_в$ – виймана потужність пласта, м; h_n – потужність безпосередньої покрівлі, м; h_o – потужність основної покрівлі, м; h_{np} – потужність слабких порід, м; $h_{жс}$ – потужність шару жорсткості, м; l_n – крок посадки безпосередньої покрівлі, м; l_i – крок посадки основної покрівлі, м; ψ_i – кути граничних зрушень порід

Оскільки деформаційні характеристики верхніх слабких порід покрівлі нижчі за відповідні показники основної покрівлі, тому їх деформування відбуватиметься аналогічно даному першому шару жорсткості. Можна суттєво спростити математичний механізм встановлення навантажень на секції механізованого кріплення. До цього також спонукає той факт, що на досліджуваних ділянках шахтних полів потужність безпосередньої покрівлі у середньому не перевищує 0,7 м, а максимальний крок її обвалення складає 0,6 м, тому в окремих випадках масу цих порід можна додатково врахувати способом варіації емпіричного коефіцієнта жорсткості системи β_i та збільшенням коефіцієнта максимальних зрушень порід ψ_i на шар верхніх слабких порід покрівлі.

У цьому випадку навантаження на i -ту ділянку виїмкового стовпа матиме вигляд:

$$Q_i = \frac{2 \cdot h_i \cdot \gamma_i \cdot l_i \cdot \text{tg} \psi_i \cdot l_n \cdot \beta_i}{S_{кр} \cdot n_{кр}}, \text{ МПа (тс/м}^2\text{)}.$$

Складові параметри даної залежності можуть бути встановлені за наступними виразами:

$$h_i = \frac{h_n + h_o + h_c}{k_h}, \text{ м};$$

$$\gamma_i = \frac{\gamma_n + \gamma_o + \gamma_c}{k_h}, \text{ Т/М}^2;$$

$$l_i = \frac{l_n + 2l_o}{k_h}, \text{ м};$$

$$\text{tg } \psi_i = \frac{\text{tg } \psi_n + \text{tg } \psi_o + \text{tg } \psi_c}{k_h},$$

де k_h – сумарна кількість прийнятих до аналізу шарів літологічної різниці (у нашому випадку 3).

Коефіцієнт жорсткості системи можна отримати з виразу:

$$\beta_i = \beta \cdot K_1 \cdot K_2,$$

де β – коефіцієнт жорсткості гірського масиву для умов ведення очисних робіт найбільш доцільно визначати за допомогою математичного механізму, запропонованого у роботі [2].

Відповідно коефіцієнт літологічної будови є відношенням добутку геометричних та фізико-механічних параметрів, що визначають навантаження на секції кріплення ($l_i, l_n, \psi_i, \beta_i, h_i, \gamma_i$) до відповідних приведених величин ($l_{кпр}, l_n, \psi_{кпр}, \beta_{кпр}, h_{кпр}, \gamma_{кпр}$), за якими вибираються силові параметри механізованих комплексів для виймання запасів в окремих гірничо-геологічних умовах. Відповідно отримаємо залежність:

$$n = \frac{h_i \cdot \gamma_i \cdot l_i \cdot \text{tg } \psi_i \cdot \beta_i}{h_{кпр} \cdot \gamma_{кпр} \cdot l_{кпр} \cdot \text{tg } \psi_{кпр} \cdot \beta_{кпр}}.$$

Для встановлення придатності даного коефіцієнта до використання як інструменту корегування силових параметрів механізованого комплексу вздовж виймкових стовпів були проведені шахтні експериментальні дослідження. Причому виміри провадилися у вибоях, які були оснащені як «старою» технікою, так і механізованими комплексами нового технічного рівня. Важливим елементом є візуалізація процесів гірничодобувної діяльності, тому у роботі приділяється увага геометризації об'єктів дослідження і розробці способів виведення інформації для подальшого аналізу й обробки.

Геометризація параметрів імітаційних систем. Значним стримуючим фактором ведення гірничодобувних робіт, зокрема впровадження гірничодобувної техніки нового технічного рівня, є низька поінформованість щодо змін гірничого-геологічної та структурної будови виймкових дільниць. Це призводить до нестандартних та аварійних ситуацій, що знижує стабільність роботи техні-

ки, зниженню безпеки обслуговуючого персоналу при виконанні технологічних процесів і, у кінцевому результаті, до підвищення собівартості видобутого вугілля та зниження його конкурентоспроможності на ринку.

Високомеханізоване виймання однозначно вимагає безперервного виймання вугілля, що пов'язано із завчасним корегуванням силових параметрів, у першу чергу механізованого кріплення в зонах змінної природної та техногенної напруженості. Правильність задавання гірничо-маркшейдерської документації та її відображення візуальними комп'ютерними системами дає можливість завчасної адаптації технічного забезпечення комплексів до створеної технологічної ситуації.

Відомим способом геометризації родовищ є відображення площин контактів, у першу чергу корисної копалини, за допомогою ізоліній просторового розташування. Розвиток сучасних способів візуалізації дає можливість суттєво розширити способи уявлення та форми усіх складових літологічної будови досліджуваних областей. Система імітації мусить максимально об'єктивно відображати рівень гірничо-геометричної вивченості пласта. Вони також мають можливість коригувати загальну картину гірничодобувних робіт у разі отримання додаткових даних із свердловин дорозвідки чи при зустрічі видобувними роботами нових аномальних формувань.

У технічній літературі представлені способи задавання геометризації об'єктів дослідження висвітлені досить на низькому рівні, а формування таких систем для умов гірничодобувної діяльності практично відсутні і, свого часу, застосувалися при задаванні карт маркшейдерської зйомки [3, 4]. Тому автор статті для побудови математичної моделі вносить певні корективи, що стосуються, у першу чергу, задавання системи координат відтворюваних геометричних тіл. Як приклад розглянемо певний об'єкт геометризації P , окремі елементи якого у просторі будуть задаватися у Декартовій системі координат як $P_{(i, j, n)}$. Причому (i, j, n) відповідно показують його просторове розташування за осями X , Y та Z . За даний об'єкт прийнято згадані вище чотири параметри. Прив'язка натурних значень досліджуваної області щодо їх розташування в імітаційному їх відтворенні здійснюватиметься через наступну залежність у системі Декартових координат:

$$\begin{aligned} X_1 &= x_1 \pm x_0, Y_1 = y_1 \pm y_0, Z_1 = z_1 \pm z_0 \\ X_2 &= x_2 \pm x_1, Y_2 = y_2 \pm y_1, Z_2 = z_2 \pm z_1, \\ X_i &= x_i \pm x_{i-1}, Y_j = y_j \pm y_{j-1}, Z_n = z_n \pm z_{n-1} \end{aligned}$$

де $X_1, X_2, \dots, X_i, Y_1, Y_2, \dots, Y_j, Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ – координати об'єкта в новій (досліджуваній) системі координат; $x_1, x_2, x_{i-1}, \dots, y_1, y_2, \dots, y_j, z_1, z_2, \dots, z_n$ – реальні координати досліджуваного об'єкта; x_0, y_0, z_0 – координати початку відліку нової системи координат.

Кожному елементу досліджуваного об'єкта в точці випробування з координатами x, y, z площині XOY відповідає значення $P_{(i, j)}$; площинам XOZ та YOZ – $P_{(i, n)}$ і $P_{(j, n)}$. Для усіх етапів досліджень вибираємо прямокутну систему координат з таким початком відліку, щоб значення координат всіх точок випробування мали

додатні значення. Надалі ці координати можуть бути перетворені в будь – яку іншу систему за вищенаведеними формулами залежно від мети дослідження.

На всіх етапах аналізу досліджувані об'єкти будемо розглядати як відображення точки за трьома поверхнями $P = P(M)$ або як функцію координат $P_{(i, j)}$; $P_{(i, n)}$; $P_{(j, n)}$. Графіком функції двох змінних виступає деяка поверхня, яка побудована за наявними точками.

Загальна картина відображення точок аналізованих величин і, відповідно, можливого розповсюдження кривих та поверхонь наведена на рис. 2.

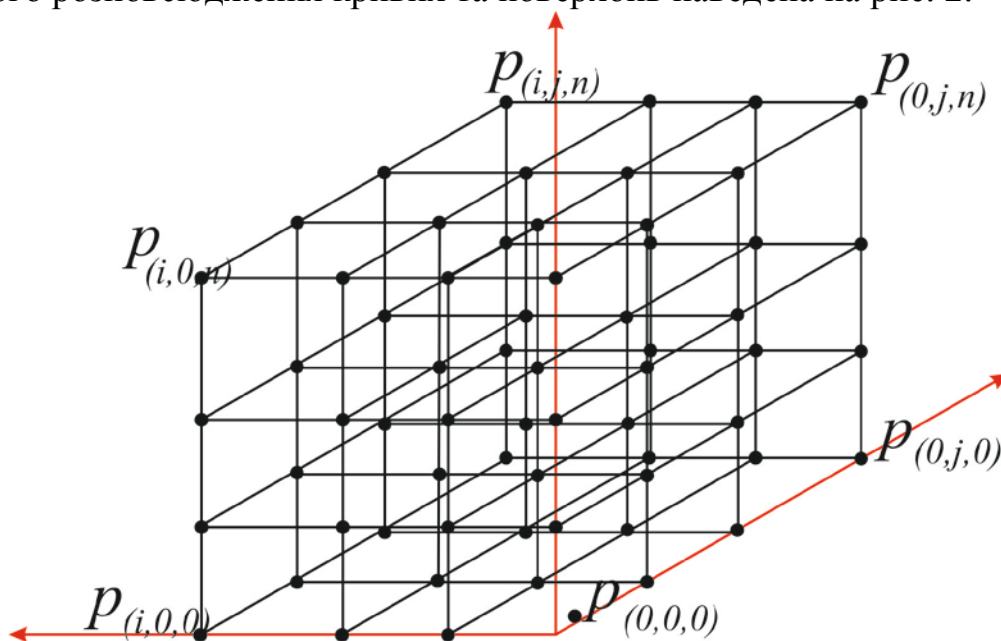


Рис. 2. Просторове відображення точок апроксимації для досліджуваних об'єктів

Надалі можна застосувати запропоновану методику [3] щодо апроксимації результатів імітаційного відображення. З використанням двовимірного регресійного аналізу при задовільному значенні коефіцієнта кореляції R^2 отримані поверхні можуть бути апроксимовані в просторі значенням $P_{(i, j, n)} = 0$, з певним коефіцієнтом кореляції r можна отримати аналітичний вираз для функції $P = P_{(i, j, n)}$. Отже досліджувана величина P є безперервною функцією координат. Тоді властивості та характер зміни цієї функції можуть бути досліджені засобами математичного аналізу.

Якщо у кожній точці M простору (або його частини) визначена деяка скалярна величина u , яка залежить від розташування точки, то можна сказати, що задано скалярне поле $u = u(M)$ або $u = u(x, y, z)$, або $u = u(\vec{r})$, де $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{n}$ – радіус - вектор точки $M(x, y, z)$. Таким чином, у відношенні властивостей досліджуваних характеристик маємо скалярне поле $P = P_{(i, j, n)}$, задане на частині площини, обмеженої, у нашому випадку, межами виїмкової ділянки. Загальний алгоритм геометризації досліджуваних об'єктів наведено на рис. 3.

Математичним уявленням зміни форми у довільному напрямку досить детально наведено у роботі [3]. Таким чином, у кожній точці можна визначити зміну

форми досліджуваного об'єкта. Загальна система імітаційного відтворення для конкретних гірничо-геологічних умов дає можливість цілісного уявлення складових у системі «техніко-технологічна ситуація – оточуючі гірські породи».



Рис. 3. Алгоритм формування імітаційної системи геометризації дослідних об'єктів гірничого виробництва

З практичної точки зору проводиться візуалізація кожної літологічної різниці порід у тривимірному просторі: вздовж очисного вибою (вісь X), виїмкового стовпа (вісь Y) та вглиб масиву (вісь Z). На наступному етапі встановлюються основні характерні зони прояву напружено-деформованого стану. У процесі виймання вугілля відбуваються зміни у гірському масиві, які досить легко відтворюються за допомогою імітаційних моделей. Вони є дієвим механізмом для прийняття рішень із ведення гірничих робіт і керування гірським тиском.

Висновки. Імітаційне (симуляційне) моделювання є досить дієвим, гнучким та динамічним методом зображення складних систем, що є невід'ємною частиною при відображенні складних процесів гірничого виробництва. Створення комп'ютерних імітаційних моделей всього комплексу шахти або її окремих структурних одиниць дає можливість ефективно управляти гірничим підприємством, своєчасно вносити корективи до системи видобування вугілля й керування гірським тиском.

Запропонований коефіцієнт літологічної будови n є одним із визначальних при встановленні геометричних параметрів очисної дільниці та слугує показником для ефективного керування гірським тиском при висококомеханізованому вийманні тонких та надтонких вугільних пластів. Він також дає можливість встановлювати геометричні параметри очисного вибою до економічно доцільних розмірів зі зниженням витрат на підготовку стовпів, вносити удосконалення до технології керування гірським тиском за критеріями геолого-структурної будови.

Список літератури

1. Дичковський Р.О. Наукові засади синтезу технологій видобування вугілля у слабометаморфізованих породах / Р.О. Дичковський. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 262 с.
2. Савостьянов А.В. Управление состоянием массива горных пород / А.В. Савостьянов, В.Г. Клочков. – К.: УМК ВО, 1992. – 190 с.
3. Берестнева О. Г. Анализ структуры многомерных данных методом локальной геометрии / О.Г. Берестнева, Е.А. Муратова, А. Е. Янковская // Изв. Томского политехн. ун-та. – 2003. – № 3. – С. 19 – 23.
4. Скворцов А.В. Алгоритмы анализа триангуляционной модели поверхности / А.В. Скворцов // Вестник Том. гос. ун-та. – 2002. – № 275. – С. 95 – 98.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.
Надійшла до редакції 16.03.2015*

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ СТРАТЕГІЧНОМУ ПЛАНУВАННІ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ

Обґрунтовано основні фактори невизначеності при стратегічному плануванні відкритих гірничих робіт на залізорудних кар'єрах. Виконано їх дослідження та запропоновано напрямки зі зниження їх впливу.

Grounded main factors uncertainties in strategic planning for open cast mining of iron ore quarries. Fulfilled their research areas and proposed solution to reduce their impact.

Обоснованы основные факторы неопределенности при стратегическом планировании открытых горных работ на железорудных карьерах. Выполнен их исследования и предложены направления решения по снижению их влияния.

Вступ. Виходячи з результатів аналізу визначень стратегії у науково-практичних розробках, присвячених відкритим гірничим роботам [1], можна зробити висновок, що в практиці поки що не отримала належної реалізації. Крім того, ґрунтуючись на тих же результатах аналізу, стратегія на гірничовидобувних підприємствах має місце, але її реалізація, як правило, без належного формального обґрунтування. Основною причиною цього на наш погляд являється те, що сфера діяльності напрямку розробки родовищ корисних копалин має суттєві відмінності порівняно зі звичною сферою застосування поняття стратегії – ринковою.

З цих причин були визначені особливості застосування стратегії на гірничодобувному підприємстві. Однією з найбільш важливих особливостей гірничо-збагачувальних комбінатів є специфіка ринку мінеральної продукції (концентрату, окатишів). Він олігополістичного типу, в той час, як переважна більшість публікацій зорієнтована на ринки вільної конкуренції. Такий ринок характеризується складним механізмом конкуренції, на відміну від класичних економічних умов, що, в свою чергу, впливає на можливість і доцільність гірничого підприємства змінювати свою “поведінку” на ринку.

Так як найбільший загальний рівень невизначеності відповідає найвищому рівню планування, було прийнято рішення дослідження їх факторів саме на стратегічному рівні планування.

Формулювання цілей досліджень. У складі процесу дослідження факторів невизначеності в даній роботі виконувався аналіз процесу стратегічного управління, як об'єкту впливу досліджуваних факторів.

Значна кількість розробок напрямку стратегічного управління присвячена визначенню місця підприємства у ринку та його поведінці на ньому. В першу чергу, це реалізується шляхом застосування маркетингових стратегій. Але олігополістичний ринок, часткою якого являються гірничодобувні підприємства, характеризується обмеженою кількістю покупців на ринку, що обмежує застосування маркетингових стратегій. Тому застосування стратегій можливо починаючи з виробничого рівня.

Ще однією особливістю залізорудних кар'єрів та комбінатів в цілому є висока капіталоємність виробництва, тривалий термін окупності капіталовкладень і пов'язана з ними значна інерційність виробництва, що слід враховувати при визначенні здатності до адаптації виробництва у відповідь на зміну факторів внутрішнього та/або зовнішнього середовища.

Не менш важливою особливістю є високий ступінь ризику інвестування, як наслідок невизначеності зовнішнього (в першу чергу, ринкового) та внутрішнього (в першу чергу, геологічного) середовищ. Безперечно, ці фактори будуть впливати на достовірності реалізацій стратегічних планів, як кар'єру, так і комбінату.

Необхідність застосування стратегії в гірничодобувній галузі обумовлена і тим, що майбутня ефективність результатів роботи підприємства залежить від результатів його роботи в минулому. Це пов'язано з тим, що ресурси гірничодобувного підприємства невідновлювальні і послідовність їх добутку з відповідними якісними показниками впливають на чистий дисконтований прибуток. І так як неможливо наперед розробити достатньо достовірний план розробки родовища в силу існування вищевказаних невизначеностей, роль стратегії в гірничодобувній галузі в таких умовах важко переоцінити.

Формалізація управління стратегіями на рівнях з найбільшою невизначеністю – передумова більш ефективного управління.

Виходячи з вказаних вище умов стратегічного планування в даній роботі було запропоновано дослідження факторів невизначеності розглядати з урахуванням їх джерела. Таким чином було виконано декомпозицію джерел факторів невизначеності при стратегічному плануванні відкритих гірничих робіт:

- невизначеність зовнішніх умов: ціна на мінеральну сировину, ціна на енергоносії;

- невизначеність внутрішніх умов: невизначеність гірничо-геологічних, невизначеність обумовлена вибором по багатьом критеріям.

Ефективність стратегічного планування відкритих гірничих робіт залежить від повноти врахування вказаних невизначеностей.

Виклад основного матеріалу.

Невизначеність зовнішніх умов при плануванні гірничих робіт

Невизначеність зовнішніх умов при плануванні гірничих робіт обумовлена коливаннями ціни на мінеральну сировину та на енергоносії (паливо та електроенергія). Значення ціни на мінеральну сировину та енергоносії впливають на економічну ефективність розробки родовища і їх коливання може призвести до недопустимого для життєдіяльності підприємства рівня прибутку або до отримання додаткового доходу. Характер зміни цін на зовнішні чинники (ступінь та частота) впливає на ступінь впливу на економічну ефективність гірничодобувного підприємства.

На рисунку 1 представлені дані по зміні ціни на залізорудний концентрат починаючи з 2005 року по Україні [2]. Як видно з рисунку характер зміни ціни має нелінійну залежність від часу, що характеризує її як складно прогнозовану. Але при цьому спостерігається загальний ріст ціни на повному проміжку часу.

Поряд з цим, відносно лінії тренду (чорного кольору) частота коливання ціни займає значні часові інтервали. Цей факт важливий для визначення можливості реалізації стратегій враховуючи згадану вище інертність гірничодобувного виробництва.

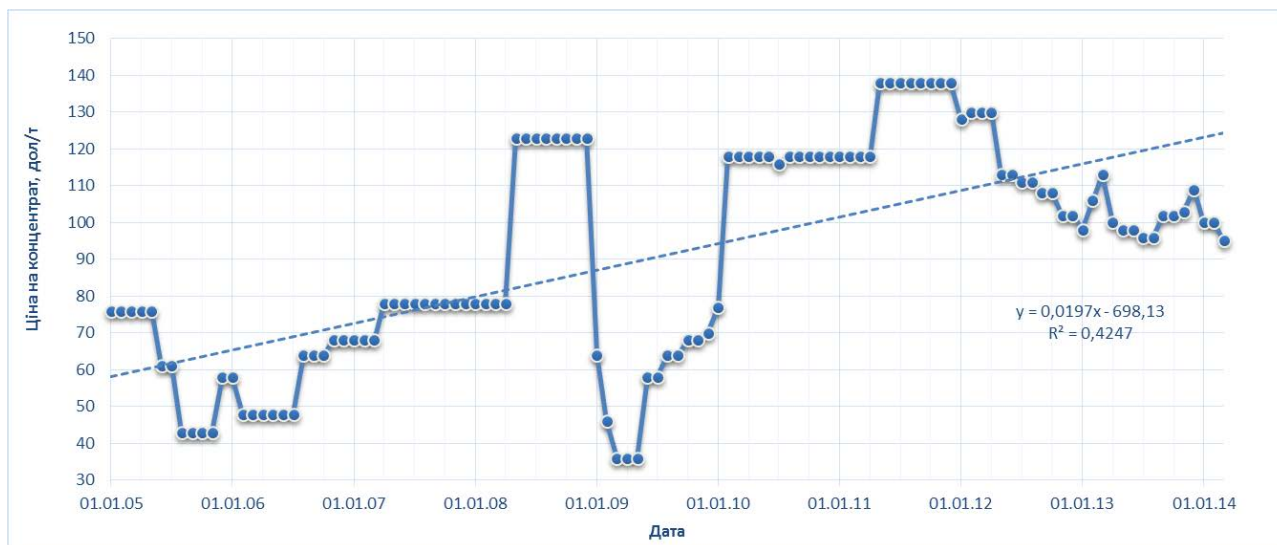


Рис. 1. Динаміка ціни на концентрат за місяцями по Україні

На рисунку 2 представлена динаміка ціни по місяцям з початку 2012 року [3]. Аналогічно ціні на мінеральну сировину невизначеність ціни на енергоносії обумовлена складним характером поведінки її кривої. На відміну від попереднього графіку, характер зміни ціни на енергоносії має більш прогнозований вигляд.

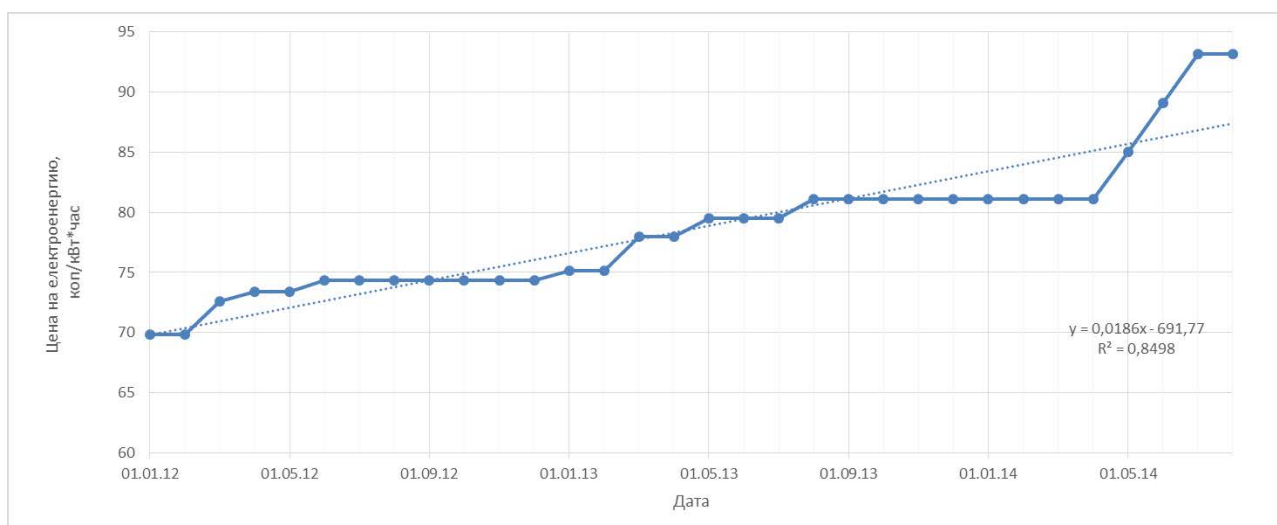


Рис. 2. Динаміка ціни на електроенергію за місяцями по Україні

На рисунку 3 представлена динаміка цін на дизельне паливо по місяцям по Україні [4]. Як і на попередніх графіках зміна ціни на дизельне паливо характеризується складною поведінкою.

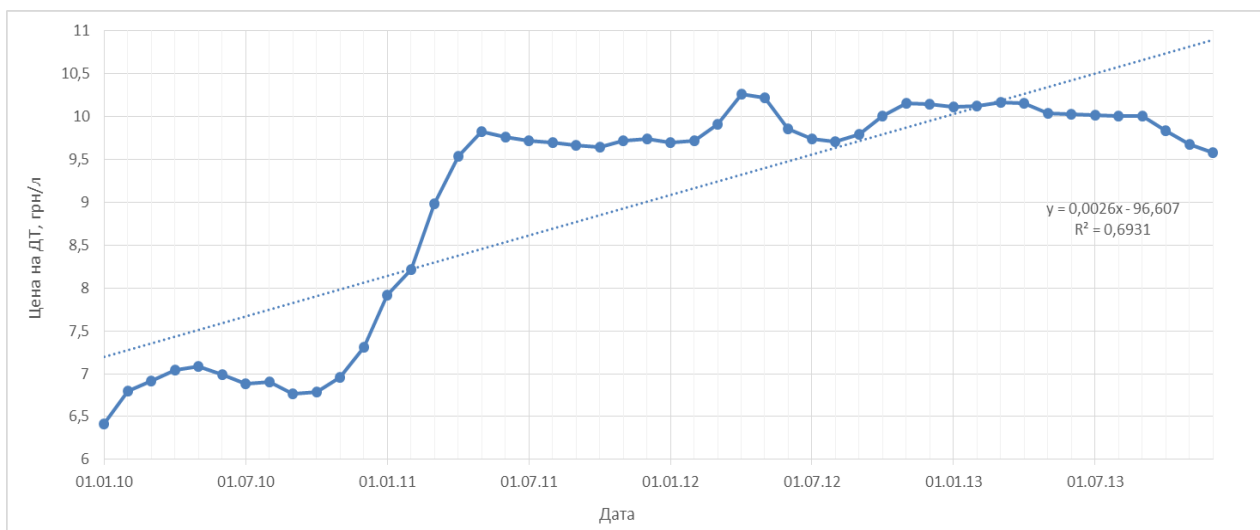


Рис. 3. Динаміка цін на дизельне паливо за місяцями по Україні

Представлені на рисунках 1-3 дані по зміні цін мають спільні характерні особливості, що впливають на склад та застосування стратегій. Криві мають нелінійний характер та несистемні коливання навколо їх середнього значення. Поряд з цим просліджується тенденція росту середнього значення всіх цін. А частота та амплітуда змін по представленим графікам відрізняється один від одної, тобто зростаючі ціни на енергоносії не завжди компенсуються підвищенням цін на мінеральну сировину.

Для відкритих гірничих робіт основні технологічні показники, що були встановлені з урахуванням необхідної економічної ефективності встановлюються без урахування зміни ціни на мінеральну сировину та складових витрат на ведення гірничих робіт. А як видно з рисунку такі зміни мають місце на практиці. І як наслідок цих змін, економічна ефективність прийнятих технологічних рішень за відсутності урахування представленої на рисунках 1-3 динаміки, мають відмінну у часі економічну ефективність.

Поряд з вказаними невизначеностями існують не формалізовані зовнішні чинники, які складно передбачити в силу їх абстрактного поняття та нечіткого взаємозв'язку з розробкою родовища корисних копалин. До них можна віднести державні та політичні зміни, катаклізми, стихії та інші чинники.

Такого типу невизначеності в стратегіях в загальному випадку неможливо врахувати. Але у випадках передбачуваних наслідків (або їх ліквідації) необхідно цей вплив враховувати, зокрема шляхом розробки та реалізації стратегій або їх корегуванню.

Невизначеність внутрішніх умов

Невизначеність технологічних складових планування гірничих робіт

Невизначеність внутрішніх умов обумовлена невизначеністю гірничо-геологічних умов та відхиленням від планових показників (контурних та директивних, та по видам робіт).

Той факт, що геологічна характеристика родовища виконується методами, що мають певну вірогідність своїх результатів призводить до ситуацій не передбачених проектом гірничих робіт. Така ситуація, у випадку її виникнення, призводить до зміни основних технологічних показників, які в свою чергу впливають на економічну ефективність розробки родовища.

Зміна геологічної характеристики може відбуватися у двох аспектах: зміна середнього значення корисного компоненту у руді та зміна об'ємів розвіданих запасів. У першому випадку зміна середнього значення корисного компоненту впливає на об'єми руди, що потрібно добути для забезпечення необхідного об'єму концентрату. У цьому випадку можуть змінюватися сумарні затрати на добуток руди. В другому випадку при зміні об'ємів руди відбудеться перерозподіл розкривних та добувних об'ємів, що в кінцевому результаті вплине на затрати добувних та розкривних робіт.

Найбільш розповсюдженим фактором невизначеності являється відхилення від планових показників (контурних та директивних, та по видам робіт).

Невизначеність багатокритеріального вибору при плануванні гірничих робіт

Невизначеність, що обумовлена вибором по багатьом критеріям впливає на формування, ранжування та вибір стратегії, а далі варіанту плану гірничих робіт.

В науково-практичних розробках має місце множина визначальних чинників, що використовується в якості критеріїв оцінки та вибору варіантів плану гірничих робіт (не залежно від рівня планування). Не залежно від методу вирішення багатокритеріального задачі планування (математичний чи емпіричний) технолог зіштовхується з певною невизначеністю, що полягає у визначенні переваг одного рішення над іншим та одного критерію над іншим.

Висновки.

Підсумовуючи сказане, необхідно зауважити, що прогнозування цін на мінеральну сировину, енергоносії та гірничо-геологічні дані має більш вірогідні результати на відносно невеликих проміжках планування. Наприклад, для рівня оперативного планування перелічені вище невизначеності не мають місця, так як частота зміни причин виникнення невизначеностей значно нижча ніж інтервали оперативного планування. З цієї причини в роботі розглядаються верхні інтервали планування (календарний план, річне планування).

Також, слід зазначити, що характер динаміки зовнішніх чинників безпосередньо впливає на вибір стратегії, тим самим обумовлюючи необхідність їх аналізу в складі управління стратегіями. Враховуючи отримані в даній роботі результати було сформульовано основні положення, що повинні мати місце на наступних етапах наукових досліджень цього напрямку.

По-перше, враховуючи характер змін зовнішніх чинників, існують три типові стратегії: стратегія за підвищенням цін, стратегія за зниженням цін та стратегія по трендовому значенню ціни.

По-друге, коливання можуть мати достатньо високу амплітуду, що формує умови для прийняття стратегічного рішення: потенційна можливість отримання додаткового прибутку або компенсація можливих збитків. В першому випадку доцільно розглядати в тому числі і більш ризикові стратегії, адже наслідки при невиконанні прогнозу зазвичай обмежуються тим, що підприємство не отримає лише додатковий прибуток. В цьому випадку при виборі стратегії шляхом оцінки її прогнозової реалізації для зменшення трудомісткості вибору можна спростити процедуру вибору шляхом вилучення складової частини оцінки за сценарним підходом. В другому випадку наслідками не підтвердження прогнозу при більш ризикових стратегіях можуть мати сильніші наслідки, аж до банкрутства підприємства. Тому в цій ситуації доцільно розглядати менш ризикові стратегії та виконувати їх оцінку з урахуванням сценарного підходу.

По-третє, частота зміни значень представлених чинників, порівняно з інтервалом стратегічного планування, має більші значення, що потребує безперервного процесу стратегічного планування.

По-четверте, обґрунтовано доцільність і перспективність багатокритеріальних методів прийняття рішень в рамках планування відкритих гірничих робіт. Обґрунтовано зв'язок факторів невизначеності і процесу планування. Визначено необхідність врахування не тільки відмінної від одного кількості критеріїв, а і механізм корегування плану в процесі зміни значень цих критеріїв.

Список літератури

1. Панченко В.В. Перспективи розвитку концепції стратегічного управління для залізородних кар'єрів / В.В. Панченко, В.В. Загубинога, // Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників – 2014". – Д.: Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет", 2014. – С. 10-18.
2. Железная руда: динамика цен [електронний ресурс]: інформаційне агентство Metaltorg.ru. – М., 2000-2015. Режим доступу: <http://www.metaltorg.ru/> (16.01.2015). – Назва з екрана.
3. Енергоносії [електронний ресурс]: Національна Комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики. – К., 2000 – 2015. Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/> (16.01.2015). – Назва з екрана.
4. Значения средних розничных цен на нефтепродукты в Украине за 2010-2014 гг. [електронний ресурс]: Нефтемаркет. – Северодонецк, 2000 – 2015. Режим доступу: <http://neftemarket.net/> (16.01.2015). – Назва з екрана.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В. І.
Надійшла до редакції 16.04.2015*

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ МАЛО ОБВОДНЕНИХ ПОКЛАДІВ РОЗСИПНИХ РУД

В роботі наведені результати досліджень по обґрунтуванню технології розробки мало обводнених покладів розсипних титано-цирконієвих руд.

В работе приведены результаты исследований по обоснованию технологии разработки мало обводненных залежей россыпных титано-циркониевых руд.

The results of research on the justification of the technology development little watered alluvial deposits of titanium and zirconium ores.

З точки зору умов генезису розсипні родовища поділяють на континентальні і прибережено-морські. Родовища континентального походження сформувалися в результаті розмиву кори вивітрювання корінних магматичних порід поверхневими водотоками, тобто являють собою древній алювій. Тому рудні поклади мають складний рельєф покрівлі і підосви, часто перешаровані з пустими породами. Руда представлена як піщаними різновидами, так і перевідкладеними каолінами, а нерідко залягає безпосередньо на корі вивітрювання. Гранулометричний склад руди різноманітний, від глини до гальки з валунами. Наявність глинистих домішок впливає на умови промивки руди. Коли в руді присутні більше 10% глинистих частинок, утворюються валуни, з якими втрачаються цінні мінерали.

На відміну від континентальних, древні морські розсипи, до яких відносяться Малишевське родовище титано-цирконієвих руд, відрізняються більш однорідним гранулометричним складом, рівною поверхнею покрівлі і підосви, витриманим вмістом корисних компонентів.

Розробка розсипних родовищ в Україні розпочата ще в 50-х роках минулого століття. Одним з першим підприємством України, що розробляє титанові розсипні родовища континентального походження, є Іршанський гірничозбагачувальний комбінат. Починаючи з 1956 року на Іршанських кар'єрах, використовували чотири технологічні схеми видобутку [1].

Перша схема полягала у проведенні розкриття за допомогою драглайну ЕШ 10/60 та видобутку руди з використанням драги «ІЗТМ», яка виконувала також збагачення з одержанням чорного концентрату. Розкриття здійснювали безтранспортним способом з переєкспедицією породи у вироблений простір, на ефельні відвали, утворені драгою. Чорновий концентрат переправляли на борт кар'єру плавучим пульпопроводом. Після обезводнення його вантажили на автотранспорт і перевозили на доводочну фабрику.

Друга схема була основана на використанні роторних комплексів. Розкриття роботи виконувалися роторним екскаватором з розміщенням порід у внутрішні відвали відвалоутворювачем. Видобуток руди здійснювали драглайном, який стояв на покрівлі пласта і відсипав руду у тимчасові відвали. Після обез-

воднення рудний пісок розробляли роторним екскаватором і подавали на фабрику стрічковим конвеєром.

Третя схема полягає у проведенні розкриву і видобутку руди одним екскаватором по системі розробки «екскаватор-кар'єр», почергово (див. рис.1). Розкривні породи по ускладненій безтранспортній схемі переєкскавовують у внутрішні відвали. Рудний пісок викладають на земну поверхню на робочий борт кар'єру. Далі руду екскаватором подають до пересувної гідромоніторної установки, де здійснюється приготування гідросуміші шляхом розмиву. Гідросуміш через грохот поступає в зумпф, звідки її відкачують ґрунтовим насосом та з-за допомогою пульповода подають на фабрику. На грохоті залишаються валуни і комки глини, які по мірі необхідності прибирає малий екскаватор.



Рис.1. Видобуток руди в Іршанських розсипах по системі розробки «екскаватор-кар'єр»

Четверта схема відрізняється тим, що пульпоутворюючий вузол встановлюють на покрівлі рудного пласта. Видобувні екскаватори пересуваються покрівлею пласта по дузі з радіусом, рівним радіусу розвантаження ковша екскаватора. Після відробки видобувного блоку переносять пульпоутворюючий вузол на новий блок вздовж фронту робіт.

В даний час на Іршанських кар'єрах використовують третю і четверту технологічні схеми. Застосування гідромоніторів забезпечує дезінтегрування комків каолінової руди, а також за допомогою грохоту дозволяє виключити з потоку валуни та велику гальку.

Основне гірниче устаткування – крокуючі екскаватори ЕШ-10/70. Розрихлена в процесі добувних робіт рудна маса розмивається моніторами ГМД-250 і за допомогою гідротранспорту, з використанням ґрунтонасосних установок

14/12 W подається на фабрику. Приклад параметрів системи розробки наведений у таблиці 1.

На більшій частині родовищ нижня частина рудного покладу обводнена. Притік води в кар'єр становить 2-3 тис.м³/добу. Її акумулюють у зумпфах та відкачують насосами, часто встановленими на плавучих понтонах, і скидають у систему оборотного водопостачання або в гідромережу.

Таблиця 1

Основні параметри системи розробки

№№ п./п.	Найменування основних параметрів системи розробки	Одиниці вимірювання	Величина параметра
1	Висота уступу: розкривного	м	5.3-13,2
	видобувного	м	3,0-10,5
2	Кути ухилу: розкривного	градуси	30-40
	видобувного	градуси	30-40
	відвалу	градуси	25-30
3.	Ширина заходки: -розкривної	м	85-150
	-видобувної	м	85-124
4	Ширина запобіжних берм	м	не менше 10

Щоб зменшити витрати на транспортування руди, збагачувальні фабрики для одержання чорного концентрату розташовують поряд з кар'єрами, а на доводочну фабрику доставляють тільки чорновий концентрат. Відходи збагачення в перший період освоєння родовищ розміщують у зовнішніх хвостосховищах, а після утворення достатньої площі виробленого простору - між внутрішніми відвалами. Останні формують крокуючими екскаваторами у вигляді навалів гребнеподібної форми, які служать огорожуючими дамбами (див. рис. 2).

Діючий Вільногірський гірничо-збагачувальний комбінат відробляє запаси Центральної і Східної ділянок Малишевського родовища. Технологія гірничих робіт принципово не відрізняється від Іршанських кар'єрів. Чорнозем знімають скреперами. Розкрив здійснюється за допомогою крокуючих і роторних екскаваторів. До 1985 року руду доставляли на збагачувальну фабрику конвеєром. Руда поступала в скрубери, де відмивалася від глини, а потім у вигляді гідросуміші подавалася на збагачення. В 90-ті роки перейшли до застосування гідротранспорту [2]. Рудний пісок доставляли конвеєром до борту кар'єру, де розміщувалась пульпонасосна станція. Руду розмивають гідромоніторами, пульпа самопливом стікає в зумпф. Пізніше гідротранспортний комплекс перенесли безпосередньо в кар'єр. Звідти гідросуміш руди перекачують на збагачувальну фабрику на відстань 11 км трьома насосами, з яких перший знаходиться в кар'єрі, другий на його борті, а

третій на відстані біля 3,5 км. Використовують сталеві і пластмасові пульпопроводи. З метою зменшення витрат на транспортування гідросуміші запропоновано [3] розмістити на борту кар'єру фабрику попереднього збагачення, де можна би було відокремити 12% глинистої фракції.

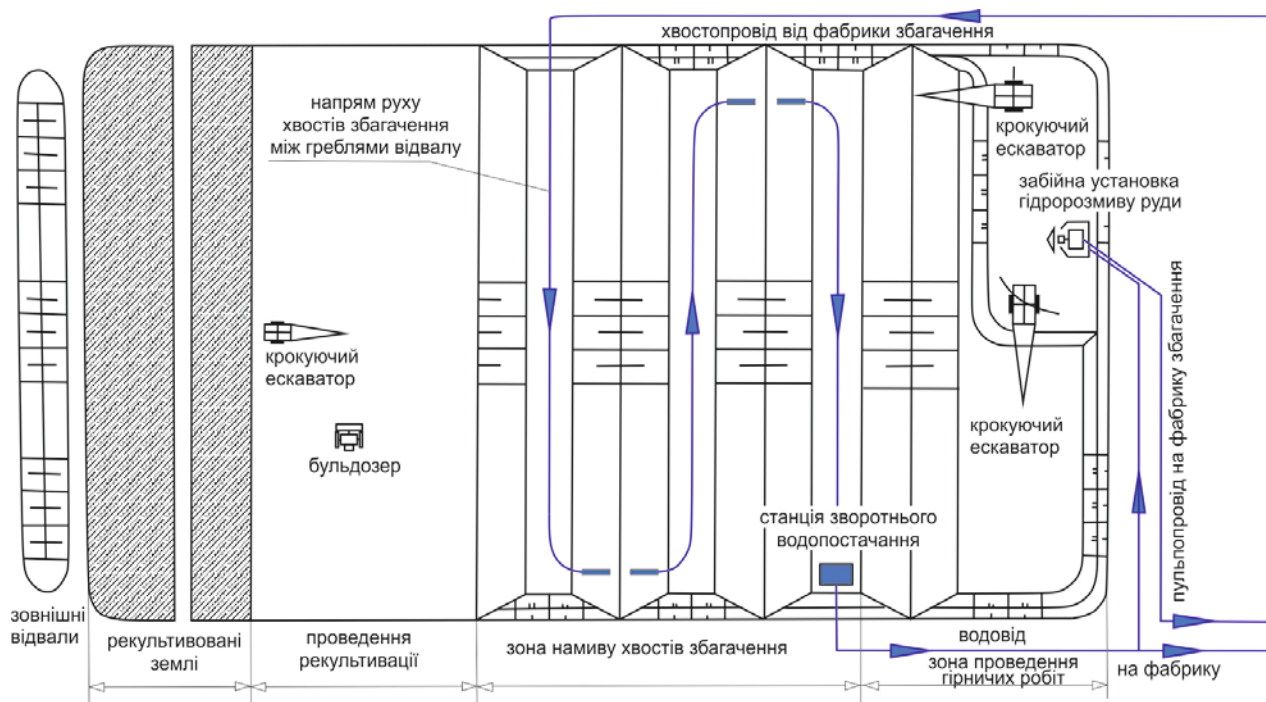


Рис. 2. Технологічна схема експлуатації Іршанських родовищ

З метою зменшення площі земель, зайнятих зовнішнім відвалом, пропонується використовувати розкривні породи для спорудження дамб хвостосховища. Складування відходів у зовнішнє хвостосховище проводити тільки в перший період експлуатації, а в подальшому розміщувати хвости на внутрішніх відвалах. Схема розміщення хвостів на внутрішніх відвалах при використанні роторного комплексу з відвалоутворювачем, запропонована авторами [4], показана на рис. 3.

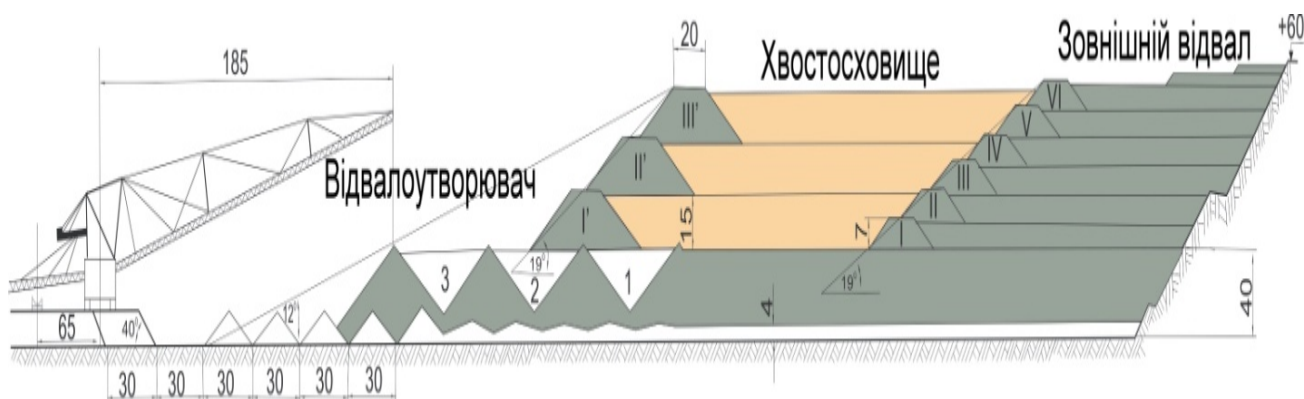


Рис. 3. Технологічна схема організації хвостосховища на внутрішньому відвалі

В умовах Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського родовища застосування освоєних на діючих кар'єрах системи розробки утрудняється пливними властивостями руди та обводнених розкривних порід. Крім того, руди даного родовища однорідні за гранулометричним складом, не мають включень валунів та глини, тому їх розмив гідромонітором та грохочення не потрібні. Із аналізу гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов Мотронівсько-Аннівської ділянки впливає необхідність застосування комбінованого способу розробки родовища: розкриття за допомогою екскаваторів і підводний видобуток руди земснарядами.

Видобуток руди за допомогою земснаряда складається з проведення наступних робіт.

1. Розробка покриваючих порід та перекачка пульпи у відвал.
2. Видобуток руди та перекачка її на збагачувальну фабрику.
3. Пересування земснарядів з переукладкою якорів та папільонажних канатів.
4. Нарощування плавучого пульпопроводу та його підключення до магістрального пульпопроводу.
5. Промивка пульпопроводів водою при зупинках в роботі.
6. Прокладка електричних кабелів по плавучому пульпопроводу, його підключення до берегового кабелю, переноска останніх.
7. Постійний контроль за роботою земснаряду з записом показників вахтовий журнал.

При видобутку корисних копалин велике значення має контроль процесу, який дозволяє запобігти відробці некондиційної руди або пустої породи, а також слідкувати за продуктивністю. Найважливішим показником є витрата і консистенція пульпи. Для визначення останньої служать різного роду консистометри.

За принципом роботи відомі консистометри, основані на зважуванні деякого об'єму пульпи. Зокрема вимірюють просідання плавучої ланки пульпопроводу, яке залежить від консистенції пульпи. Ще одним рішенням є порівняння втрат напору на горизонтальному і нахиленому елементах пульпопроводу. Різниця між втратами напору залежить від густини гідросуміші.

Найпоширенішим сучасним приладом є гама-консистометр, який оснований на вимірюванні поглинання гама-випромінювання. На основі вимірювання поглинання гама-випромінювання він визначає щільність матеріалів і концентрацію їх у гідросуміші або співвідношення її компонентів. Діаметр труби від 80 до 500 мм, точність вимірів 0,1-1%.

Із витратомірів вірогідно найбільше досконалим є ультразвуковий, який не має механічних частин та не потребує зміни діаметру трубопроводів.

Земснаряди можуть бути обладнані приладами, які множать показник консистометру на показник витратоміру та показують поточну та сумарну продуктивність видобутку.

Земснаряд може мати приймач GPS для визначення точних координат положення всмоктуючого пристрою. Знаючи координати, багермейстер визначає по карті знаходження покрівлі і підшви рудного покладу.

Доцільна розробка програми, в яку вводиться база геологічних даних, завантажуються з GPS координати, видається необхідне положення всмоктуючого пристрою і команди на включення маневрових механізмів.

Таким чином, при розробці обводнених розсипних родовищ застосування комбінованого способу розробки родовища: розкриття за допомогою екскаваторів і підводний видобуток руди земснарядами має наступні переваги:

- відпадає необхідність осушення кар'єру шляхом спорудження водопо-нижуючих свердловин;

- відпадає необхідність спорудження тимчасових гребель у балках для перехоплення та перекачки поверхневих вод;

- виключаються роботи з екскавації рудного піску, перевезення руди до вузла «розпульповки» з наступним її розмивом. Руда розмивається безпосередньо за допомогою земснаряду. Замість екскаваторів і самоскидів застосовуються земснаряди, вартість яких на порядок менша.

Список літератури

1. Головач Н.А., Воловик В.П. Обоснование параметров горных работ на карьерах Иршанского ГОКА с учётом экологических требований. Материалы международной конф. «Форум горняков -2008». - Днепропетровск. Национальный горный университет.- 2008.- С.158-163.
2. Блюсс Б.А., Шурыгин В.Д., Семененко Е.В. Опыт эксплуатации и модернизации гидротранспортного комплекса на Вольногорском ГМК. -Горный журнал.- 2008.- №2.- С.61-64.
3. 3.Воловик В.П., Баранов Ю.Д., Дриженко А.Ю. Новые землесберегающие технологии при открытой разработке россыпных месторождений полезных ископаемых.-Горная промышленность.- 2011.- Специальный выпуск.- С. 62-65.
4. 4.Дріженко А.Ю., Лазніков О.М., Нікіфорова та ін. Спосіб будівництва хвостосховища на внутрішньому відвалі в кар'єрі. Патент України № 107586 клас E21C 41/26 (2006.01)

*Рекомендовано до публікації, д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 15.04.2015*

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ГОРНОЙ МАССЫ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗАМЕРОВ

Изложена методика проведения натуральных исследований с помощью инструментальных замеров. Приведены результирующие гистограмма распределения гранулометрического состава и интегральная кривая распределения отдельностей. Сделаны выводы по полученным результатам натуральных исследований.

Викладено методику проведення натурних досліджень за допомогою інструментальних замірів. Наведено результируючі гістограма розподілу гранулометричного складу і інтегральна крива розподілу окреможостей. Зроблено висновки за отриманими результатами натурних досліджень.

Method of field research using instrumental measurements is presented. The resulting distribution histogram of particle size and cumulative fraction distribution curve are shown. The findings of field studies are given.

Введение. Наиболее распространенными в мире энергоносителями являются нефть, газ, уголь и уран. Украина в достаточной мере обеспечена только углем и ураном, причем запасы последнего, пригодные к извлечению составляют 2 % от мировых, что выводит страну в первую двадцатку среди мировых обладателей таких руд. На территории Украины известно несколько генетических типов урановых месторождений, где 76 % представляют альбититовый тип, 11 % относятся к пегматитовым месторождениям, 7 % – к песчаникам, и остальные 6 % представляют конгломератный, битуминозный и другие типы. Промышленное значение в настоящий момент имеют только месторождения альбититового типа (натрий-урановые) и месторождения песчаникового типа (водородные). Промышленные месторождения урана метасоматического типа сосредоточены в пределах Кировоградской металлогенической области, которая является составной частью Украинского кристаллического щита и обрабатывается соответствующими предприятиями. При этом разведанные запасы урана на территории Украины можно разрабатывать только подземным способом. Низкое содержание урана в рудах и высокая энергоемкость производства формирует цены на отечественное сырье как одно из самых дорогих в мире и позволяет обеспечить топливом украинские АЭС лишь на 34 – 37 %.

Актуальность. Добычу урановых руд в Украине осуществляет государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» (ГП «ВостГОК») посредством применения на шахтах камерных систем разработки и отбойки руды с поэтажного штрека с закладкой и использованием на проходческих и очистных работах буровзрывного способа. Одним из путей снижения затрат является оптимизация параметров разрушения массива, где основным технологическим процессом, влияющим на себестоимость добычи руды, являются буровзрывные работы (БВР). Понижение уровня ведения очистных работ приводит к изменению влияния напряженно-деформированного состоя-

ния (НДС) массива на очистные работы, и, как следствие, изменению полученного гранулометрического состава горной массы при прочих равных условиях. Это способствует поиску более рациональных параметров БВР. В таком случае становится вопрос исследования изменения НДС массива в процессе отработки запасов камеры в реальных условиях.

Объектом исследования является методика натурального изучения гранулометрического состава получаемой горной массы после разрушения в камере с помощью инструментальных замеров для крепких пород с неявным разделением между рудами и породами.

Предметом исследования является изменение гранулометрического состава горной массы после разрушения в очистной камере с использованием компенсационного пространства как косвенного индикатора изменения НДС массива.

Метод исследования. Для выполнения исследования используется статистический метод, который включает: сбор производственной информации на отбойку и вторичное дробление руды в камере; сбор информации о гранулометрическом составе на различных этапах отработки очистных камер; определение функций программного обеспечения, способного выполнить обработку данных; фотофиксацию горной массы (получение исходного изображения) на откаточном горизонте; обработку результатов фотофиксации и формирование графиков; корректировку полученных данных с учетом того, что часть руды могла подвергнуться вторичному дроблению на штреке вторичного дробления.

Научное значение состоит в установлении области камеры, где присутствует изменения в гранулометрическом составе выпускаемой горной массы от размеров очистного пространства.

Изложение результатов. Как известно, вычисление напряженно-деформированного состояния массива горных пород в натуральных условиях осуществляется различными методами, которые основываются на измерении давлений приборами, установленными на объекте, и определении расчетным путем напряжений по этим значениям; определении ряда физических характеристик массива пород геофизическими методами с последующим расчетом напряжений по всевозможным зависимостям и т.д. [1, 2]. К их числу относятся: метод разгрузки, при котором определяется абсолютное значение напряжений в массиве горных пород; метод разности давления где (специальным гидравлическим баллоном, размещенном в скважине, формируется давление, которое принимается за начальное и исходя из которого учитываются отклонения); метод упругих включений (с помощью специального клея и фотоупругих датчиков исследуется нужная область); метод буровых скважин (осуществляется измерение продольной и поперечной деформации пробуренных скважин с помощью деформометров); акустический метод (используются свойства горных пород генерировать упругие звуковые импульсы микроразрушений при изменении НДС массива горных пород); электрометрический метод (измеряется электропроводность в зависимости удельного электрического сопротивления от действующих в них напряжений); ультразвуковой метод (измеряется скорость упругих

волн в массиве от действующих в нем напряжений) и иные. Эффективность методов зависит от алгоритмов, техники и конкретных геотехнологических условий разработки месторождений полезных ископаемых. Опираясь на сравнительный анализ натуральных методов исследований, был выбран наиболее приемлемый для конкретных промышленных условий метод инструментальных измерений.

Процесс получения руды нужной кусковатости состоит из следующих этапов: взрывные работы, транспортирование, дробление и измельчение. На каждом из них одной из важнейших задач является повышение эффективности операций, которого можно достичь за счет оперативного контроля основного технологического показателя руды – гранулометрического состава [2]. Контроль можно осуществить посредством телекоммуникационных систем мониторинга с определением гранулометрического состава по оптическому изображению поверхности руды. Мониторинг может быть реализован с применением разного рода видеозаписывающих устройств и системы анализа полученных медиа-материалов. Элементы системы должны быть связаны любой доступной сетью [1, 2], чтобы в режиме реального времени доступно было анализировать гранулометрический состав руды на входе/выходе технологической операции. Это поможет оперативно изменять режимы работы технологического оборудования с целью обеспечения требуемых показателей производства. Но мы не пытаемся создать универсальный инструмент мониторинга и корректировки процессов, а связать изменение получаемых кусков руды с НДС массива. Поэтому сформируем методику соответствующих измерений в такие этапы:

- сбор данных на отбойку и вторичное дробление руды в исследуемой камере;
- сбор информации гранулометрического состава на различных этапах отработки очистных камер;
- поиск подходящего программного обеспечения (ПО) для требуемых условий;
- получение исходного материала с учетом этапа отработки камеры;
- обработку результатов фото- и видеофиксации;
- корректировку данных с учетом работ на штреке вторичного дробления.

Анализ гранулометрического состава взорванной и выпущенной горной массы можно выполнить с помощью любого профильного программного обеспечения способного фиксировать и анализировать получаемую горную массу (в работе это сделано на примере ПО «WipFrag»). Помимо подходящего ПО важным критерием выборки исходного материала является то, что каждая серия снимков должна соответствовать определенному массовому взрыву и при это анализироваться соответственно.

Ниже представлен порядок выполнения промышленных исследований, анализируемых системой «WipFrag» (пробной версией).

Промышленные исследования начинаются с анализа фотографического изображения отбитой и выпущенной руды вибропитателями из камеры в вагонетку рис. 1.

Далее фиксируется поверхность горной массы в каждом вагоне и только после этого можно приступить к обработке данных.

а) общий вид места съемки



б) фото горной массы в вагонетке

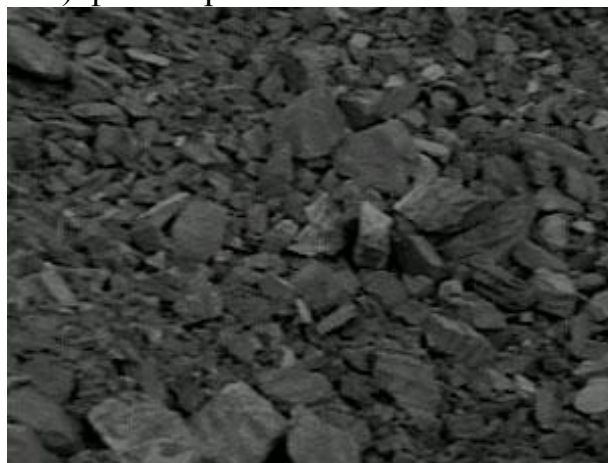


Рис. 1. Выпуск руды из камеры на откаточном горизонте

В результате получаем гранулометрический состав, который соответствует каждому массовому взрыву. По снимкам видно, насколько выпускаемая горная масса неоднородна на протяжении всего времени отработки камеры. Что бы далее анализировать горную массу обратимся к WipFrag, где основное рабочее окно программы для обработки полученных фотографических данных выглядит следующим образом (рис. 2).

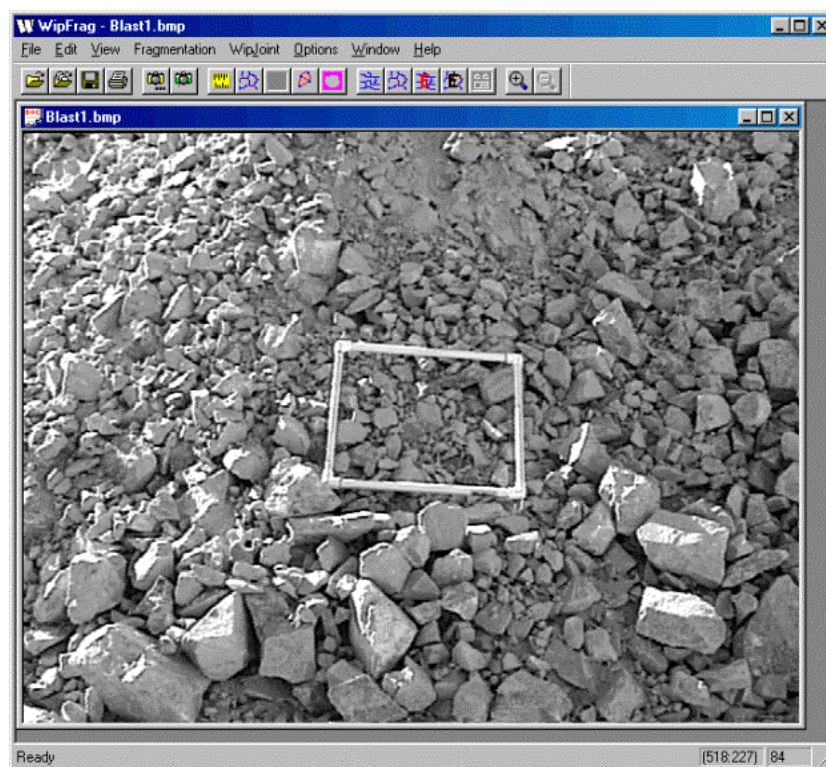


Рис. 2. Основное рабочее окно «WipFrag» для обработки полученных данных

Затем с помощью доступных программных инструментов (не обязательно WipFrag) анализируем отдельные (куски) горной массы. Что позволяет преобразовать снимок в «сеть фрагментов (отдельностей)» и приступить к следующему этапу обработки этих промежуточных результатов (рис. 3).



Рис. 3. Пример преобразовать снимка горной массы в «сети фрагментов (отдельностей)»

Далее отдельные измеряются любым доступным способом и формируется гистограмма распределения гранулометрического состава взорванной горной массы и интегральная кривая распределения кусков во всей анализируемой горной массе. Эти диаграммы является основной целью проведения промышленных исследований. Полученные графики отражают изменения фракционного состава выпущенной руды и процентное их соотношение между собой (рис. 4, 5).

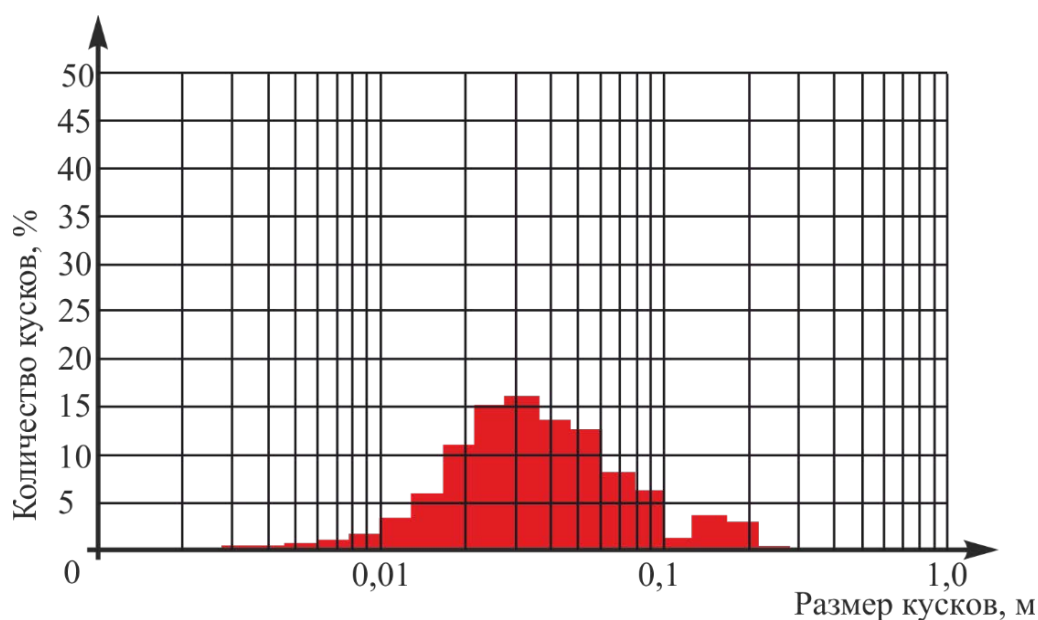


Рис. 4. Гистограмма распределения гранулометрического состава горной массы

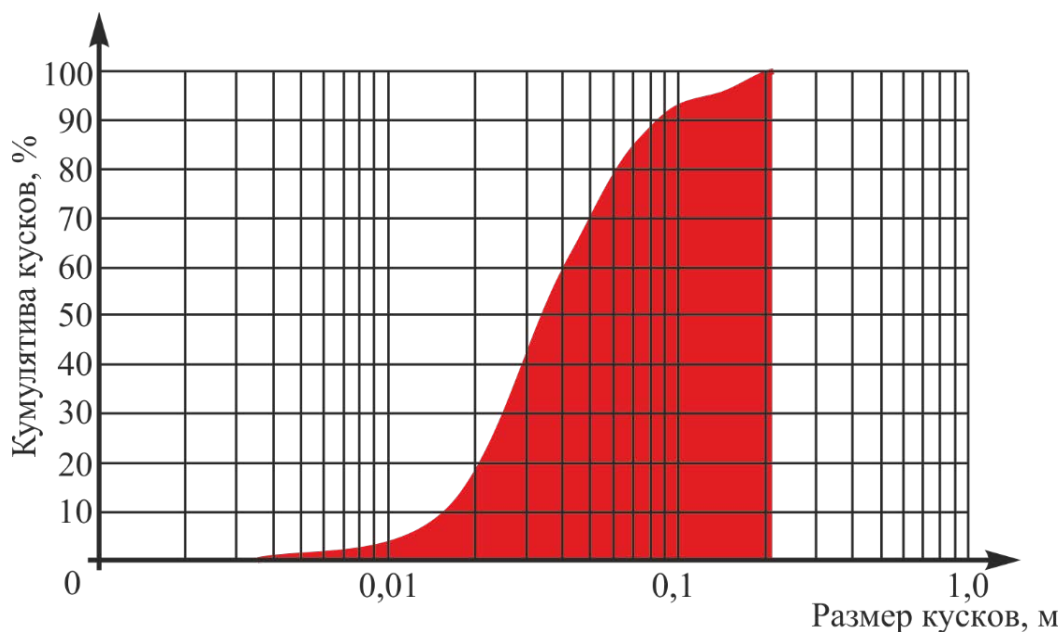


Рис. 5. Интегральная кривая распределения отдельностей в горной массе

В свою очередь гистограмма дает доступную характеристику удельного веса кусков в отбитой горной массе, а интегральная кривая (кумулятивная кривая) отражает процент каждого фрагмента. При этом и интегральная кривая, и гистограмма гранулометрического состава отражают одну и ту же картину с разных аспектов.

Для более точного изменения гранулометрического состава необходимо учитывать работы по измельчению на штрехе вторичного дробления (если таковое есть). Данные по увеличению и уменьшению расходов на вторичное дробление эмпирическим образом сопоставляются с полученной горной массой и переводятся в приемлемые для анализа графики.

Данные об изменении гранулометрического состава горной массы должны присутствовать на предприятии, необходимо вести их учет. Это позволит качественно корректировать работу.

Выводы. Получив гистограмму распределения гранулометрического состава и интегральную кривую распределения отдельностей, можно сказать, что проведение натурных исследований с помощью метода инструментальных замеров для выявления достоверной картины изменения НДС массива нельзя, хотя он и позволяет предположить, что изменение гранулометрического состава горной массы может частично отражать изменения напряженного состояния массива. При проведении иных методов исследования состояния массива можно подтвердить или опровергнуть это. Сами же результаты исследований влияния размеров очистного пространства на дробление показали, что размеры кусков комплексно уменьшаются при достижении размера камеры 75 % от проектных размеров и сохраняют до окончания отработки запасов камеры. Достоверность полученных результатов можно подтвердить или опровергнуть только в случае проведения соответствующих лабораторных и теоретических исследо-

ваний. Но уже сейчас можно сказать, что полученные результаты коррелируются с результатами теоретического моделирования [3, 4]

Список литературы

1. Ардашев К.А. Методы и приборы для исследования проявлений горного давления: справочник / К.А. Ардашев, В.И. Ахматов, Г.А. Катков. – М.: Недра, 1981. – 128 с.
2. Мальцев Д.В. Обоснование параметров буровзрывных работ при разрушении массива ураносодержащих руд: дис. ... к-та техн. наук: 05.15.02: – Д., 2013. – 177 с. защищена 26.04.2013; утв. 04.07.2013 / Д.В. Мальцев – Днепропетровск: ГВУЗ НГУ, 2002. – 177 с.
3. Мальцев Д.В. Ресурсосберегающая технология буровзрывных работ для условий Ватутинского урановорудного месторождения [текст]: моногр. / Мальцев Д.В., Хоменко О.Е. – Днепропетровск: Державний ВНЗ «НГУ», 2013. – 121 с.
4. Хоменко О.Е. Технология подземной добычи урановых руд буровзрывным способом / О.Е. Хоменко, Д.В. Мальцев // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №. 1. – С. 13 – 16.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ковалевською І.А.
Надійшла до редакції 17.11.2014*

УДК 622.411.5:539.215

© В.И. Самуся, В.Е. Кириченко, Н.М. Трипутень

РАЗРАБОТКА ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОРСКОЙ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

Статья посвящена разработке машиностроительного комплекса для добычи и транспортирования полиметаллических руд с больших глубин Мирового океана, который состоит из донного добычного модуля и системы насосного гидроподъема. Приведенные технические решения позволяют исключить забутовку транспортного трубопровода гидроподъема горной массой, повысить надежность работы и производительность комплекса, а также снизить нагрузку на экосистему.

Стаття присвячена розробці машинобудівного комплексу для видобутку і транспортування поліметалічних руд з великих глибин Світового океану, який складається з донного добычного модуля і системи насосного гідропідйому. Наведені технічні рішення дозволяють виключити забутовку транспортного трубопроводу гідропідйому гірничою масою, підвищити надійність роботи і продуктивність комплексу, а також знизити навантаження на екосистему.

The article is devoted to the development of machine-building complex for extraction and transportation of poly-metallic ores from great depths of World Ocean, which consists of a bottom-extraction module and a pump hydraulic hoist system. The technical solutions make it possible to eliminate the backing of transportation pipeline with a mass of rock, and to improve the reliability and performance of the complex and reduce the load on the ecosystem.

Современные мировые тенденции в развитии техники и технологий, а также тенденции к истощению традиционных источников некоторых видов цветных металлов стимулируют развитие новой области горного дела – до-

бычи полиметаллических конкреций (ПМК) со дна океана. За последние десятилетия можно отметить общие успехи геологов в открытии и исследовании крупных океанических месторождений полиметаллических руд. Однако **проблема** сдерживания промышленной разработки глубоководных залежей ПМК связана в первую очередь с отсутствием необходимых горных машин для добычи и транспортировки полиметаллических конкреций.

Цель работы заключается в разработке прогрессивных конструкций пилотного машиностроительного комплекса для добычи и подъема ПМК с глубины в 6 км.

Самоходный агрегат сбора предназначен для извлечения из пласта горной массы, ее промывки от илистых донных отложений, а также дробления и транспортировки промытого твердого материала в бункер. Рассматриваемый здесь вариант организации процессов прокачки и перекачки горной массы приведен на рис. 1 и 2 [1–3]. Сбор минерального сырья осуществляется непосредственно секционным колосниковым вибрационным уравнивающим подборщиком 35. Установленный в бункере 5 агрегата сбора конвейер 41 предназначен для доставки промытой горной массы в дробилку 13, а направляющий аппарат 24 обеспечивает ее поступление в загрузочное окно 34 дробилки. Создаваемый насосом 6 поток морской воды используется для транспортировки твердого материала через дробилку 13 и далее в гибком трубопроводе 42. Часть создаваемого данным насосом потока воды выходит через приемный люк 32, расположенный в донной части бункера, в водный бассейн, обеспечивая при этом промывку поступающего в бункер минерального сырья от илистых отложений. Эффективность процессов промывки горной массы, а также транспортирования сырья в трубопроводе 37 и гибкой связи 42 определяется конструкцией насадки 38, присоединенной к нагнетательному трубопроводу насоса 6, и ее удалением от дробилки, выбираемые при проектировании агрегата сбора.

В процессе маневрирования агрегата сбора поворотная муфта 45 снижает нагрузки на гибкий трубопровод 42. Баки плавучести 2 предотвращают критическое проседание агрегата 1 в илистые отложения дна водного бассейна, а поплавки 46 исключают попадание гибкого трубопровода под гусеничные цепи самоходной тележки.

В зависимости от геологической характеристики участка океанического дна, в пределах которого предполагается разработка залежи, передвижение самоходных агрегатов сбора предусмотрено на базе шнековых движителей 12, 13. Одной из функций подводного навигационного модуля 9 является сканирование ландшафта донной поверхности, необходимое для управления движением агрегата сбора.

Запуск агрегата сбора предусматривает приведение в действие насоса 3 и электромеханических приводов 6, 23, 17 и 15, 16 соответственно дробилки 7, конвейера 22, секционного колосникового вибрационного уравнивающего подборщика 18 и шнековых движителей 12, 13, а также полное и частичное открытие задвижек 24 и 10. Шнековые движители обеспечивают движение агрегата сбора. Насос создает основной поток воды, который по нагнетатель-

ному трубопроводу 5, через полностью открытую задвижку 24, поступает в гибкий трубопровод 8. Из основного потока воды трубопровода 5 формируется дополнительный поток, который через патрубок 11, частично открытую задвижку 10, наконечник 25, бункер 2, дробилку 7 и дополнительный патрубок 21 вводится в поток трубопровода 5. Запуск агрегата сбора осуществляется в автоматическом режиме блоком управления 31.

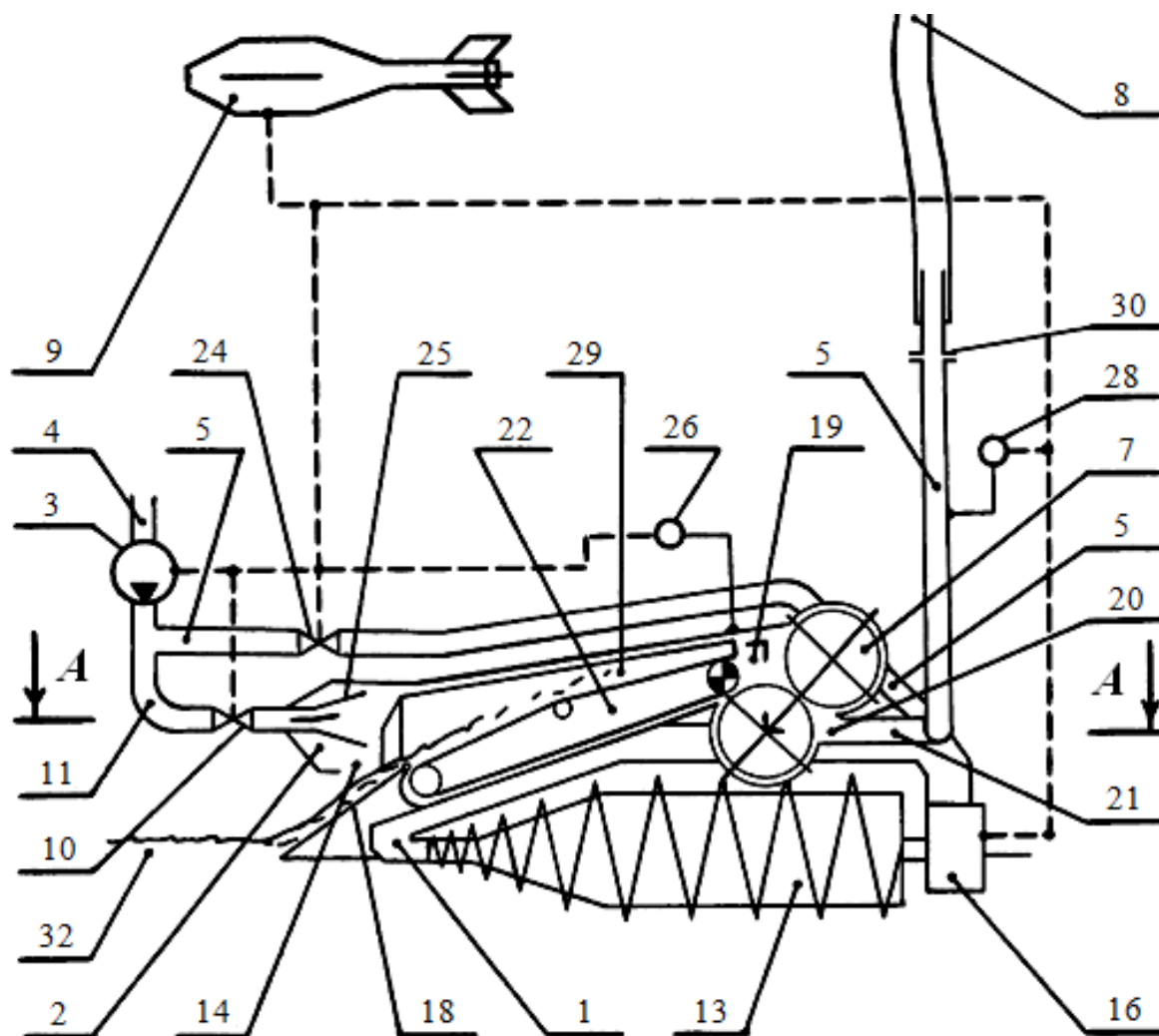


Рис. 1. Самоходный агрегат сбора

После начала движения агрегата сбора при помощи электромеханического привода 17 заглубляют секционный подборщик в слой горной массы 32. Минеральное сырье по этому подборщику через приемный люк 14 перемещается в бункер 2.

Удельный вес полиметаллических конкреций превышает удельный вес ила, входящего в состав разрабатываемого слоя 32. Поступающий в бункер дополнительный поток воды частично выходит через приемный люк в бассейн водоема. Выход части дополнительного потока через люк 14 в окружающую среду при использовании подборщика колосникового типа, обеспечит эф-

фактивное удаление значительного количества ила из собираемой горной массы путем ее промывания. При этом, в бункер будет поступать горная масса с повышенной концентрацией полезных ископаемых.

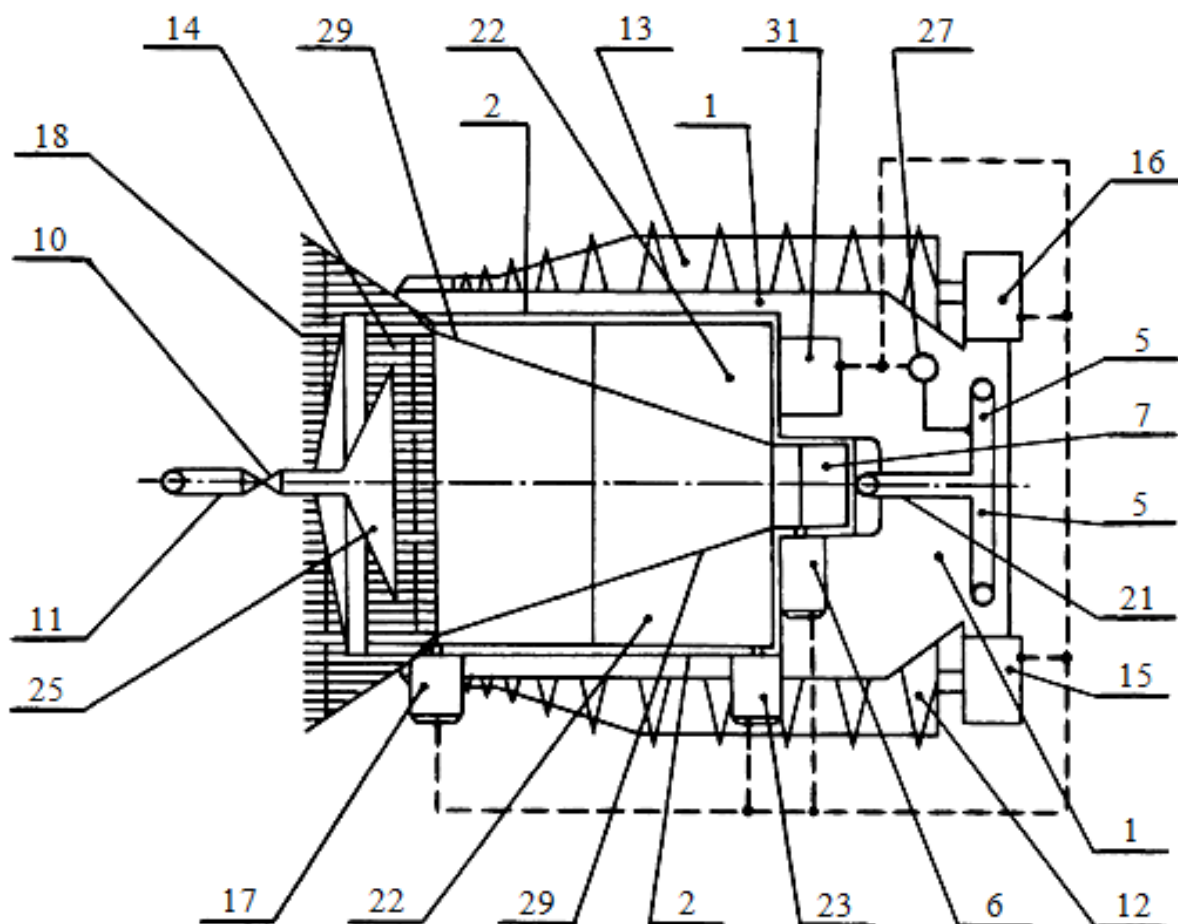


Рис. 2. Самоходный агрегат сбора

Промытая горная масса после поступления в бункер транспортируется при помощи конвейера 22 и дополнительного потока воды в дробилку. Установленный в бункере 2 направляющий аппарат 29 обеспечивает поступление транспортируемого через бункер сырья в загрузочное окно 19 дробилки. После дробления горная масса через выпускное окно 20 дробилки и патрубок 21 поступает в основной поток воды, движущийся в нагнетательном трубопроводе 5. Образованная пульпа далее транспортируется по гибкому трубопроводу 8 в бункер-дозатор.

Регулирование степенью закрытия задвижек 10 и 24 осуществляется с учетом показаний манометров 26 и 27, контролирующих давление соответственно в дополнительном и в основном потоках до их слияния. Поворотная муфта 30 уменьшает нагрузки на гибкий трубопровод при маневрировании агрегата сбора.

Управление движением агрегата сбора реализуется путем регулирования посредством электромеханических приводов 15 и 16 скоростями вращения шнековых движителей 12 и 13. При этом шнековые движители целесообразно

изготавливать полыми для выполнения ими также и функции баков плавучести с целью предотвращения критического проседания агрегата сбора в илистые отложения дна водоема.

В данной конструкции эффективность процессов промывки горной массы, а также введения дополнительного потока воды с измельченной горной массой в основной поток нагнетательного трубопровода 5 определяется конструкцией насадки 25 и ее удалением от загрузочного окна 19 дробилки, выбираемые при проектировании агрегата сбора.

Пульпа при поступлении из гибкого трубопровода в бункер-дозатор теряет скорость, что приводит к осаждению твердой фазы, а образующаяся при этом вода выводится в окружающую среду через патрубок 27 (рис. 3, 4). Изображенное блоком 16 устройство выполняет функции перемешивания в бункере-дозаторе горной массы, а движитель нижнего конца подводящего трубопровода глубоководного эрлифта показан блоком 18.

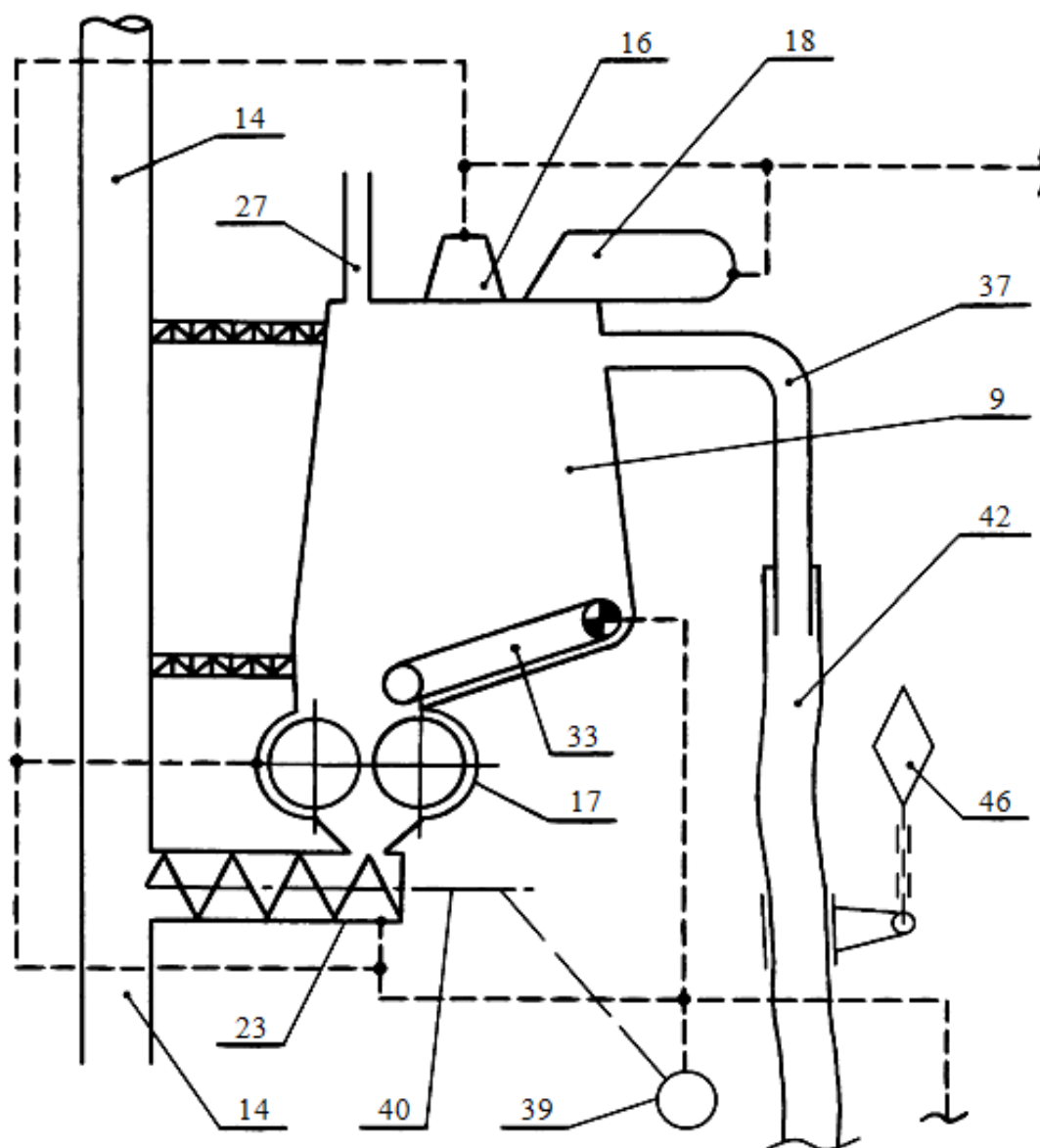


Рис. 3. Бункер-дозатор морского горнодобывающего комплекса

Работа морского добычного комплекса (МГК) предусматривает обеспечение требуемого расхода твердого материала. Подача твердого материала из бункера 9 в подводный трубопровод 14 регулируется скоростью вращения шнекового питателя 23 и контролируется при помощи тахометра 39, сообщенного с валом 40 питателя. При этом подача сжатого воздуха в смеситель 25 измеряется расходомером 47.

Основными элементами устройства для первичного обогащения минерального сырья (рис. 5) являются установленный в трубопроводе 14 аккумулятор 49, насос 19 со всасывающим 20 и нагнетательным 21 трубопроводами, а также оборудованное лопастями 50 рабочее колесо 51. При этом колесо вращается вокруг установленного на всасывающем трубопроводе 20 наконечника 52.

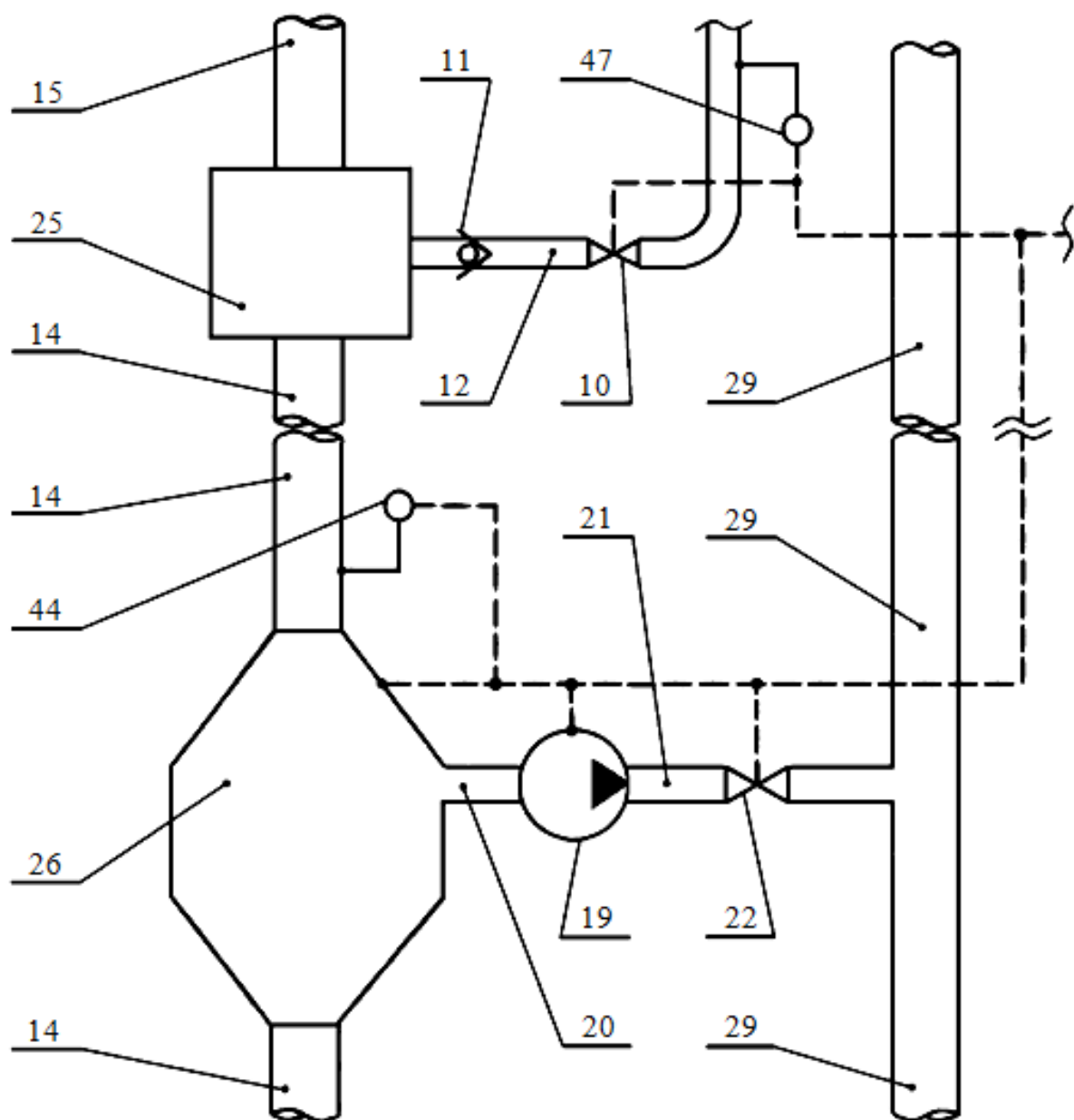


Рис. 4. Бункер-дозатор морского горнодобывающего комплекса

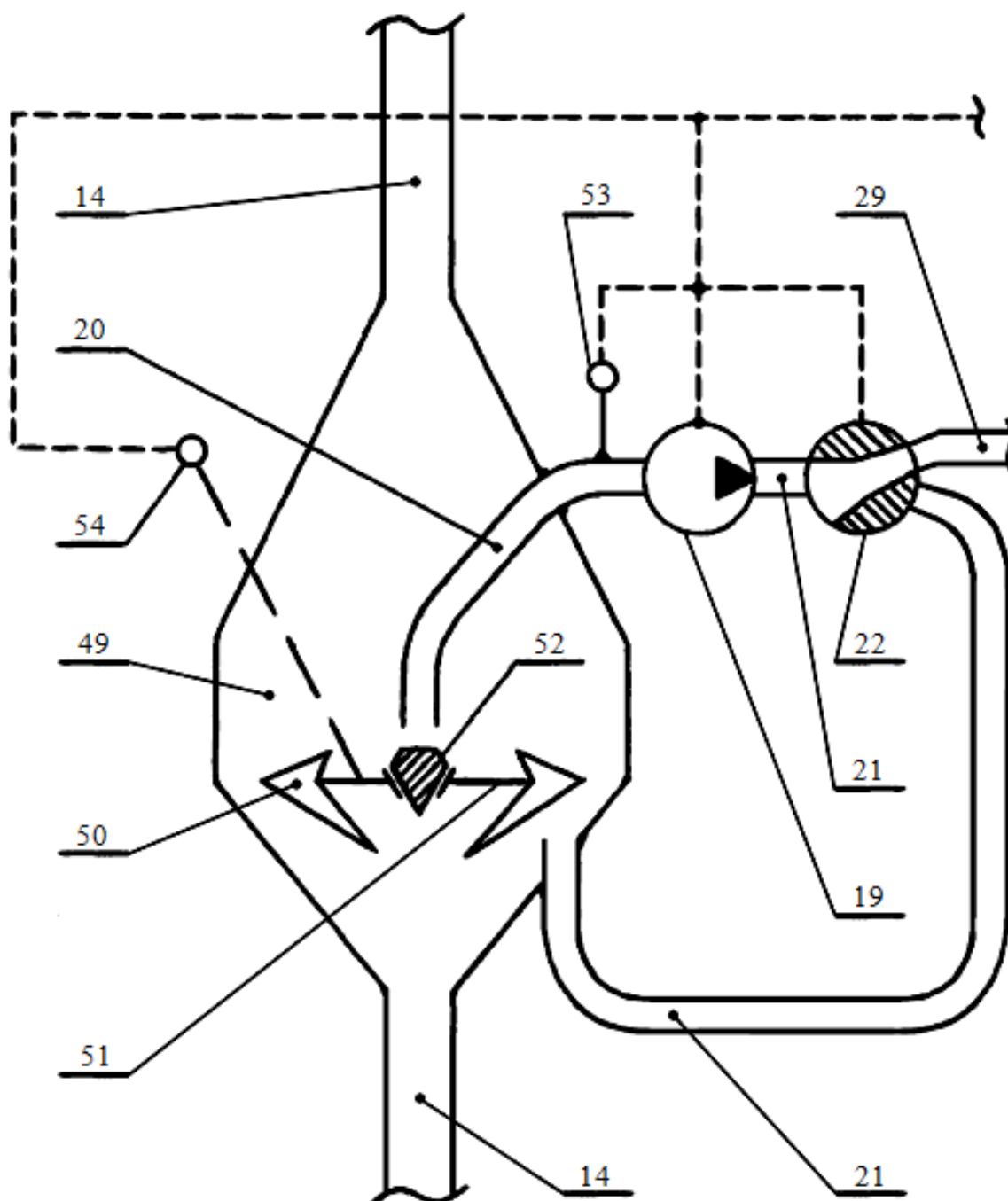


Рис. 5. Устройство для первичного обогащения полезных ископаемых

Движение гидросмеси через аккумулятор 49 приводит к вращению колеса. В процессе прохождения пульпы зоны вращения лопастей 50, под действием центробежной силы происходит классификация твердых частиц по массе. Рудные частицы имеют большую массу и, соответственно, перемещаются на большее расстояние от оси вращения колеса, чем частицы пустой породы. В результате в область входного сечения всасывающего трубопровода насоса 19 поступает гидросмесь с частицами, которые не содержат полезного ископаемого. Перекачиваемая этим насосом гидросмесь, расход которой измеряется датчиком 53, через поворотный кран 22 и систему шламовых трубопроводов 29

отводится в окружающую среду. Рудные частицы продолжают подъем в потоке трубопровода 14 выше аккумулятора 49. Частицы пустой породы, а также илистые отложения, извлекаемые вместе с полиметаллическими конкрециями, отводятся на отработанные участки месторождения, не поднимаясь на поверхность водного бассейна и, соответственно, не изменяют своих природных свойств, что снижает техногенное влияние подводной разработки на флору и фауну океана.

В процессе работы устройства 26 не исключается возможность накопления твердого материала в аккумуляторе 49, что может привести к его заштыбровке. Данный процесс характеризуется снижением скорости вращения колеса 51, о чем свидетельствуют показания тахометра 54. В таких случаях прибегают к периодическим переключениям поворотного крана 21, что приводит к расштыбровке аккумулятора за счет воздействия образуемого насосом 19 потока на лопасти колеса.

Следует отметить, что в условии самоходного агрегата сбора процессы промывки горной массы от илистых отложений, формирования потока пульпы, а также ее транспортирования от агрегата сбора до подводной технологической платформы могут быть осуществлены с использованием только одного насоса. При этом исключается движение твердой фазы через внутренний объем используемого насоса, что существенно повышает надежность системы в целом. Совершенствование насосного модуля состоит в повышении надежности и долговечности установок путем разработки специальных конструкций, исключающих непосредственное взаимодействие твердого материала с лопатками рабочих колес насосных агрегатов. Одно из предложенных решений данной задачи защищено патентом Украины № 88733 [4] и в укрупненном виде раскрыто на рис. 6.

Основными элементами конструкции являются насос 1 со всасывающим 2 и нагнетательным 3 трубопроводами, аккумулятор 4, оборудованное лопастями 5 колесо 6 и шнековый питатель 7. После запуска насоса в аккумулятор начинает поступать гидросмесь. В аккумуляторе за счет снижения скорости пульпы происходит процесс непрерывного осаждения частиц твердой фазы.

Шнековый питатель обеспечивает гарантированную подачу твердой фазы, сосредотачиваемой в нижней части аккумулятора, в поток нагнетательного трубопровода 3. Конструкция наконечника 12 предусматривает уменьшение площади сечения внутреннего канала по ходу движения в нем смеси, что обеспечивает эффективное формирование потока пульпы в трубопроводе 3, после введения в его состав твердой фазы. Донная часть аккумулятора выполнена в форме наклонного желоба 13, что позволяет более эффективно смывать твердый материал со всей донной поверхности аккумулятора и исключить возможность агломерации твердого материала.

Показания консистометров 8, 9 и расходомеров 10, 11 используются для управления расходными параметрами насосной установки.

Вышеприведенные технические решения, реализованные в рамках разработки морского горнодобывающего комплекса, позволяют гарантиро-

ванно исключить забутровку транспортного трубопровода гидроподъема горной массой, повысить надежность работы и производительность комплекса, снизить нагрузку на экосистему и др [5].

Изложенная выше и запатентованная общая структура морского горнодобывающего комплекса предполагает возможность совершенствования оборудования отдельных ее частей.

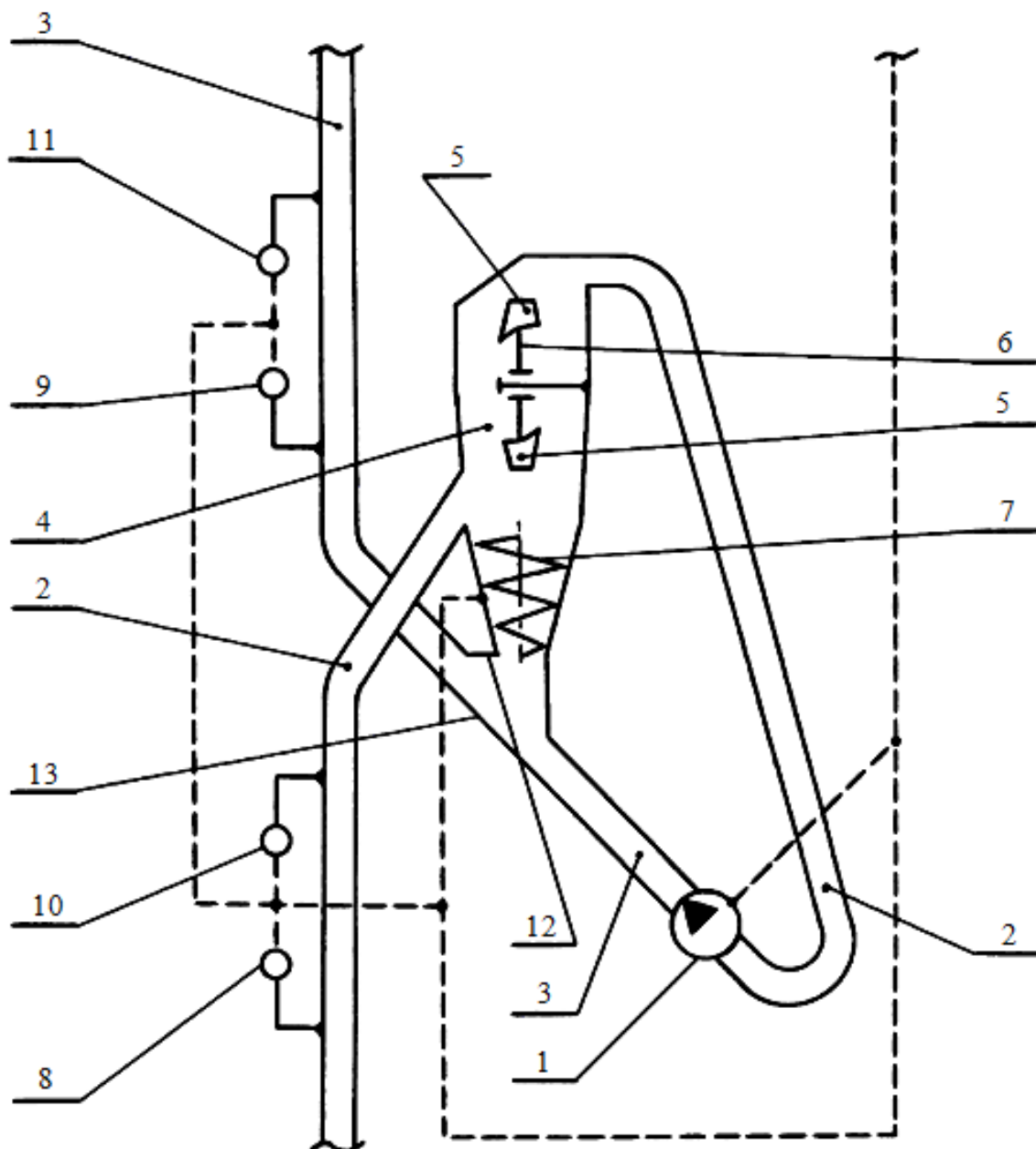


Рис. 6. Устройство насосной системы

Новый научно-технический результат заключается в предложенной перспективной идее, а также разработанной оригинальной конструкции насосного агрегата для транспортирования гидросмесей высоких концентраций без взаимодействия абразивных твердых частиц с рабочим колесом насоса.

Следующие шаги по разработке предложенного комплекса горных машин состоят в проектировании систем управления, согласующих работу описанных модулей и агрегатов в рамках единой системы.

Выводы:

1. На завершающей стадии находится эскизный проект машиностроительного комплекса для добычи и транспортирования полиметаллических руд с глубин до 6000 м, состоящий из донного добычного модуля и системы гидродойма, которые функционально и конструктивно согласуются по основным параметрам и эксплуатационным характеристикам.
2. В составе донного блока организован добычный модуль в виде многофункционального самоходного агрегата сбора, обеспечивающий очищение от ила, дробление и сбора конкреций.
3. Транспортный модуль представлен насосным агрегатом для эффективного прокачивания тяжелых пульп и характеризуется повышенной эксплуатационной надежностью ввиду отсутствия абразивного износа проточных частей.

Список литературы

1. Пат. 89287 Україна, МПК E21C45/00, E21C50/00, F04F1/00. Спосіб збору корисних копалин підводних родовищ та багатофункціональна система для його реалізації / Півняк Г.Г., Франчук В.П., Кириченко Є.О., Єгурнов О.І., Євтеєв В.В.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет. – № а200806070; заявл. 12.05.08; опубл. 11.01.10, Бюл. № 1.
2. Пат. 90549 Україна, МПК E21C50/00, F04F1/00. Спосіб безперервного збору корисних копалин підводних родовищ та багатофункціональна система для його реалізації / Півняк Г.Г., Франчук В.П., Кириченко Є.О., Єгурнов О.І., Євтеєв В.В.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет. – № а200806066; заявл. 12.05.08; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.
3. Пат. 2460883 Российская Федерация, МПК E21C50/00. Способ непрерывного сбора полезных ископаемых подводных месторождений и многофункциональная система для его реализации / Пивняк Г.Г., Франчук В.П., Кириченко Е.А., Егурнов А.И., Евтеев В.В.; заявитель и патентообладатель Национальный горный университет. – № 2008141576/03; заявл. 16.10.08; опубл. 10.09.12, Бюл. № 25.
4. Пат. 88733 України, F04D7/00, F04D13/06. Гідротранспортна система / Кириченко Є.О., Євтеєв В.В., Кириченко В.Є., Романюков А.В., Татуревич А.А. – Опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.
5. Кириченко Е.А. Основы проектирования систем гидротранспорта полиметаллических руд Мирового океана [Текст]: моногр. / Е.А. Кириченко, О.Г. Гоман, В.Е. Кириченко, В.В. Евтеев. – Нікополь : ФОП Фельдман О.О., 2014. – 611 с. ISBN 978-966-2421-18-7

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А. Ю.
Надійшла до редакції 21.11.2014*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНОГО БАЛАНСУ ПРИ ВІДКРИТІЙ РОЗРОБЦІ ОБВОДНЕНОГО РОЗСИПНОГО РОДОВИЩА ЗАСОБАМИ ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ

В роботі наведено дослідження водного балансу при відкритій розробці розсипного титано-цирконієвого родовища засобами гідромеханізації з урахуванням підземного водоносного горизонту та поверхневих вод.

В работе приведены исследования водного баланса при открытой разработке россыпного титано-циркониевого месторождения средствами гидромеханизации с учетом подземного водоносного горизонта и поверхностных вод.

The paper presents the study of the water balance during open-placer deposits of titanium and zirconium jetting means, including the underground aquifer and water superficialis.

При відкритій розробці обводнених розсипних родовищ засобами гідромеханізації з застосуванням плаваючих земснарядів виникають проблеми з водним балансом на різних стадіях освоєння родовища.

Складові водного балансу змінюються в залежності від варіанту системи розробки і стадії освоєння родовища.

При гідровидобутку з застосуванням земснарядів із кар'єру на збагачувальну фабрику поступає руда в вигляді гідросуміші, яка вміщає глинисті і піщані частинки та важкі мінерали.

Для умов Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського розсипного титано-цирконієвого родовища середній вміст важкої фракції в руді складає 80 кг/м³. При цьому об'ємний вміст важкої фракції становить біля 5 %. Ця величина менша, ніж похибки при вимірах витрат видобутої руди та води. Тому об'єм відходів збагачення практично дорівнює об'єму видобутої руди або й дещо перевищує його внаслідок розпушення гірської породи. В розрахунках балансу об'єм концентрату можна не враховувати.

Розглянемо варіанти коли у водному балансі потрібно розрізняти два періоди: 1) період, в якому породи розкриву розміщають на зовнішньому відвалі і необхідна підпитка системи водою з зовнішнього джерела; 2) період, коли дефіцит об'єму води компенсується внутрішнім відвалом.

Складові балансу вимірюються в об'ємних одиницях витрати, м³. Згідно з довідником по гідромеханізації [1], питома витрата води q на видобуток і транспортування руди з вмістом глини 15% становить 15 м³ на 1 м³ руди. При цьому витрати води можна визначити як добуток виробничої потужності кар'єру в об'ємному вираженні Π на питому витрату води:

$$Q=q*\Pi, \text{ м}^3$$

Збагачення титано-цирконієвих руд проводиться з допомогою гравітаційних та магнітно-електричних властивостей гірських порід та здійснюється в 3 стадії. На першій стадії з руди відмивається глиниста фракція, масовий вміст якої стано-

виль 12-19 %, в середньому 15 %. Об'ємний вміст глини приблизно співпадає з масовим. Гідросуміш глинистих хвостів підлягає згущенню. Згущені глинисті хвости направляються у хвостосховище і вода з них не повертається. Тому витрата гідросуміші після видалення глини зменшується на величину:

$$Q = \Pi * C_2 (1 + W_2), \text{ м}^3,$$

де C_2 – вміст глини в руді, W_2 – вологість глинистих хвостів збагачення.

На другій стадії здійснюється гравітаційне збагачення руди, що призводить до утворення піщаних (кварцевих) хвостів збагачення. Останні направляються у хвостосховище, де пісок осідає, а вода акумулюється та повертається в кар'єр.

Об'ємний вихід піщаної фракції V_n дорівнює:

$$V_n = \Pi * (1 - n), \text{ м}^3,$$

де n – пористість руди в природному заляганні. Рудні піски у природному стані характеризуються об'ємною масою в сухому стані в середньому $1,76 \text{ т/м}^3$. Пористість піску визначається із формули:

$$n = (\gamma_{ск} - \gamma_{об}) / \gamma_{ск},$$

де $\gamma_{ск}$ – питома маса мінерального скелету, $2,7 \text{ г/см}^3$, $\gamma_{об}$ – об'ємна маса сухого ґрунту, $1,76 \text{ т/м}^3$. Підставляючи дані, одержимо $n = 0,35$.

Кількість води, яка залишається в порах піщаних хвостів, дорівнює видобутку об'ємного виходу піску на вологість хвостів W_n :

$$Q = \Pi * C_n * (1 - n) * W_n, \text{ м}^3.$$

Таким чином, витрата води, яка повертається в кар'єр, зменшується на суму:

$$D = \Pi * C_2 (1 + W_2) + \Pi * C_n * (1 - n) * W_n, \text{ м}^3.$$

Після винесення продуктивності за скобки отримаємо вираз:

$$D = \Pi * [C_2 (1 + W_2) + C_n * (1 - n) * W_n], \text{ м}^3.$$

Цей вираз відображає дефіцит води в системі зворотного водопостачання при видобутку руди та розробці розкривних сарматських пісків одноківшевіми екскаваторами та автосамоскидами.

Розглянемо витрати води при застосуванні технології розробки, коли і руду, і розкрив розробляють за допомогою земснарядів. Оскільки потужність сармату становить 16 м, а рудного покладу 10 м, продуктивність по розкриву в 1,6 разів більша продуктивності видобутку: $\Pi_p = 1,6 \Pi$. Сарматський пісок розкриву складують у гідровідвалі, де він осідає, а вода повертається в систему зворотного водопостачання. При цьому дефіцит води $D_{розкр}$ в системі оборотного водопостачання дорівнює добутку:

$$D_{розкр} = \Pi_p * (1 - n) * W_{сп}, \text{ м}^3,$$

де n – пористість піску в природному заляганні, $W_{сп}$ – вологість піску в гідровідвалі.

Наведемо приклад розрахунку дефіциту води при автотранспортній системі розробки розсипів на першому етапі гірничих робіт (проходження розрізної траншеї).

Проектом передбачена річна продуктивність кар'єру по рудних пісках - 2700 тис.м³.

Режим роботи кар'єру наступний: кількість робочих тижнів у році - 52; кількість робочих днів у році - 365; кількість робочих днів на видобутку у тижні - 7; кількість змін на добу - 2; тривалість зміни - 12 годин.

Необхідно відмітити, що робота земснаряда в зимній період ускладнюється внаслідок замерзання води в кар'єрі. Термін такого періоду становить біля 2 місяців – приблизно з половини грудня до половини лютого. Тому в розрахунках приймаємо кількість робочих днів - 300. При цьому добовий об'єм руди $П$ становить 9 тис. м³/добу. Приймаємо $C_2 = 0,15$, $W_2 = 1$, $C_{п*} = 0,85$, $n = 0,35$, $W_{п} = 0,5$. Тоді значення питомого дефіциту на одиницю продуктивності дорівнює 0,58.

При цьому дефіцит води в системі зворотного водопостачання буде рівнятися 5186 м³/добу або 216 м³/год.

Згідно з даними [1], питома витрата води $q = 15$ м³ на 1 м³ видобутку руди. Таким чином, в оборотному водопостачанні при видобутку 9 тис. м³/добу необхідно 135 тис. м³/добу води, або 5,6 тис. м³/год, з яких повернеться в систему 129,8 тис. м³/добу. Завдяки отриманим даним можна визначити видатність насосного обладнання видобувного земснаряда і насосних агрегатів зворотного водопостачання.

Баланс води в оборотній системі може бути порушений внаслідок припливу води в кар'єр. Як показали попередні дослідження [2] приплив підземних вод із неогенового водоносного комплексу на першій стадії видобувних робіт становить всього біля 1 тис. м³/добу і його можна не враховувати.

Для розрахунку припливу поверхневих вод використовуються дані про опади і випаровування які наведені в табл.1.

Таблиця 1

Середня кількість опадів і випаровування, мм

Місяці												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Опади, мм												
44,6	34,8	31,8	36,3	44,6	57,8	54,9	38,4	36,6	32,7	41,7	49,9	504,1
Випаровування із суші (евапотранспірація), мм												
4	13	36	54	72	82	76	66	44	29	9	2	487
Стік, мм												
40,6	21,8	0	0	0	0	0	0	0	3,7	32,7	47,9	146,7

Як видно із даних табл.1, середньорічний приплив поверхневих вод при нормі стоку 146,7 мм і водозбірній площі 7 км² становить 116 м³/год, що відпо-

відає половині дефіциту в оборотній системі. Однак, як видно із даних в теплий період року стік практично відсутній. В той же час існує можливість злив, коли притік поверхневих вод на порядки більший, ніж підземних. Площа водозбору кар'єру досягає 8 км². За даними метеостанції Комісарівка, що знаходиться на відстані 12 км від Мотронівсько-Аннівського кар'єру, за добу може випасти до 75 мм опадів. Притік дощових вод може досягти 600 тис. м³/добу, або 25 тис. м³/год.

Ливневі води повинні бути використані для регулювання рівня води у кар'єрі. В дощові періоди їх слід скидати із кар'єру в накопичувач, а в засушливі - використовувати для підпитки систем водопостачання.

Після того, як створяться умови для внутрішнього відвалоутворення в кар'єрі, компенсація втрат води може здійснюватися двома способами:

1) розміщення відходів збагачення у виробленому просторі кар'єру та організація зворотного водопостачання;

2) намив або відсипка у воду піску розкриття сарматського ярусу з подальшим формуванням на його поверхні відвалу глиняних порід.

При відсипці сарматського піску у воду об'єм частинок піску повинен дорівнювати об'єму видобутої руди плюс об'єм сарматського піску. Висота призми намиву повинна бути більшою ніж сума потужності руди та води.

При розрахунках кількості піску для компенсації дефіциту води приймаються наступні характеристики пісків сармату. Кут природного укосу сарматських пісків у не зруйнованому сухому стані 30-34°, під водою до 23°. Щільність сухого ґрунту в гранично пухкому складі 1,22 г/см³, у гранично щільному складі 1,56 г/см³. Коефіцієнт пористості в гранично пухкому складі 1,18, у гранично щільному - 0,70. Повна вологоємність 31,1%. При коефіцієнті пористості 1,18 об'єм розробки сарматського піску буде дорівнювати 1,44 тис. м³/год.

Таким чином, проведені дослідження водного балансу при відкритій розробці розсипних титано-цирконієвих руд на прикладі Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського родовища дозволили встановити, що при підводному видобутку рудних пісків - 9 тис. м³/добу необхідно забезпечити систему водопостачання водою в об'ємі - 135 тис. м³/добу, або 5,6 тис. м³/год. При цьому дефіцит води в системі водопостачання буде складати біля 6 тис. м³. Підпитка системи водопостачання забезпечується з резервного накопичувача води, який в свою чергу використовується в дощові періоди року для скидання зайвих поверхневих вод з кар'єру.

Список літератури

1. Ялтанец І.М. Справочник по гидромеханизации. - М.-Горная книга.- 2011.- 737 с.
2. Собко Б.Ю. Вплив розробки Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського родовища на гідрогеологічні умови території/ А.М.Гайдін, А.М.Лазніков // Збірник наукових праць НГУ.- 2014.- № 45 - С.184-189.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 05.11.2014*

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ПОРУШЕНИХ ВІДКРИТОЮ РОЗРОБКОЮ ЗЕМЕЛЬ Й ПОШУК ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗАЛИШКОВИХ ВИРОБОК КАР'ЄРІВ

Стаття присвячена дослідженням структури порушених земель, на ділянках з видобутку корисних копалин відкритим способом. Наведено площі порушень земель при розробці основних видів корисних копалин. Проаналізовано ризики, що виникають із несвоєчасною рекультивацією земель гірничого відводу, а також від покинутих гірничих виробок старих кар'єрів. Паралельно розглянуті обсяги відходів гірничого виробництва та їх повторне використання в якості заповнювача для залишкових вироблених просторів кар'єрів.

The article is devoted to the research of land violation indicators at the extraction of minerals by surface mining method. Data gives about the land violations area at the mining key minerals. Analyzed the risks from the not-on-time reclamation of the mining clam and abandoned excavations of the old quarries. In parallel considered the volumes of mining wastes and their reuse as aggregate for filling residual spaces of surface mines.

Стаття посвящена исследованиям площадей нарушения земель, связанных с добычей полезных ископаемых открытым способом. Приведены площади нарушений земель при разработке основных видов полезных ископаемых. Проанализированы риски, представляемые несвоевременной рекультивацией земель горного отвода, а также заброшенными горными выработками старых карьеров. Параллельно рассмотрены объемы отходов горного производства и их повторное использование в качестве заполнителя для остаточных выработанных пространств карьеров.

Актуальність роботи. Проблема залучення техногенних об'єктів, що утворюються в результаті ведення відкритих гірничих робіт до експлуатації, постає на дуже високому рівні в Україні, оскільки країна має значні запаси мінеральних ресурсів, які у великих обсягах видобувалися для промисловості. На теперішній час відомо понад 8600 родовищ корисних копалин, які представлені 97 видами мінералів [1]. З них на кінець ХХ сторіччя до промисловості було залучено близько 4000. На сьогодні в розробці знаходяться близько 3000 родовищ.

Обсяг корисних копалин, який щорічно вилучається з надр в Україні, досягає 450 млн т, а загальний обсяг гірської маси, що розробляється, досягає 1300 млн т (рис. 1). З загального обсягу гірської маси раціонально використовується не більше 30 %, у той час породи, які можуть бути використані як субпродукт видобутку розміщуються у відвали. Тим часом, серед них є різноманітні види кондиційної сировини – будівельної, вогнетривкої, формувальної, флюсової, що може використовуватися в промисловості зараз, чи у майбутньому.

Значні обсяги виймання корисних копалин зумовили появу великої кількості новостворених техногенних об'єктів, серед яких основними є відвали розкритих порід і залишкові вироблені простори кар'єрів. Загальна площа земель, зайнятих і порушених гірничодобувними підприємствами з відкритої розробки, перевищує 170 тис. га (рис. 2). Щорічно цей показник збільшується у зв'язку з браком фінансування в державі на рекультиваційні програми.

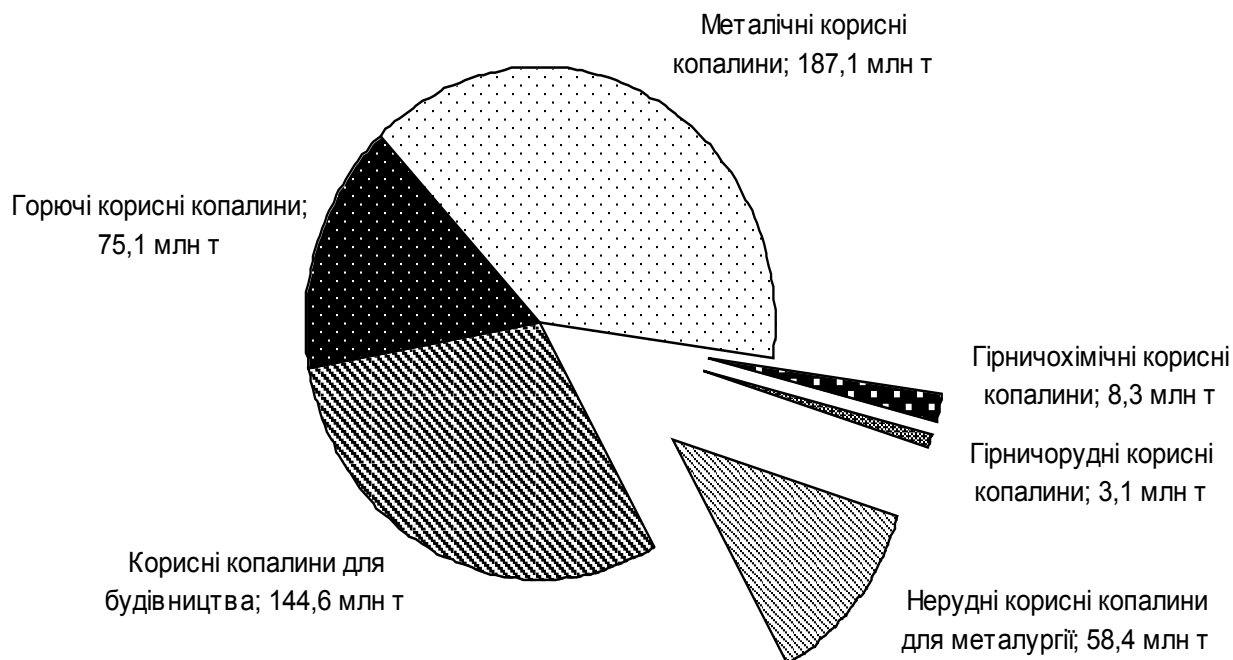


Рис. 1. Видобуток корисних копалин в Україні, 2013 р.

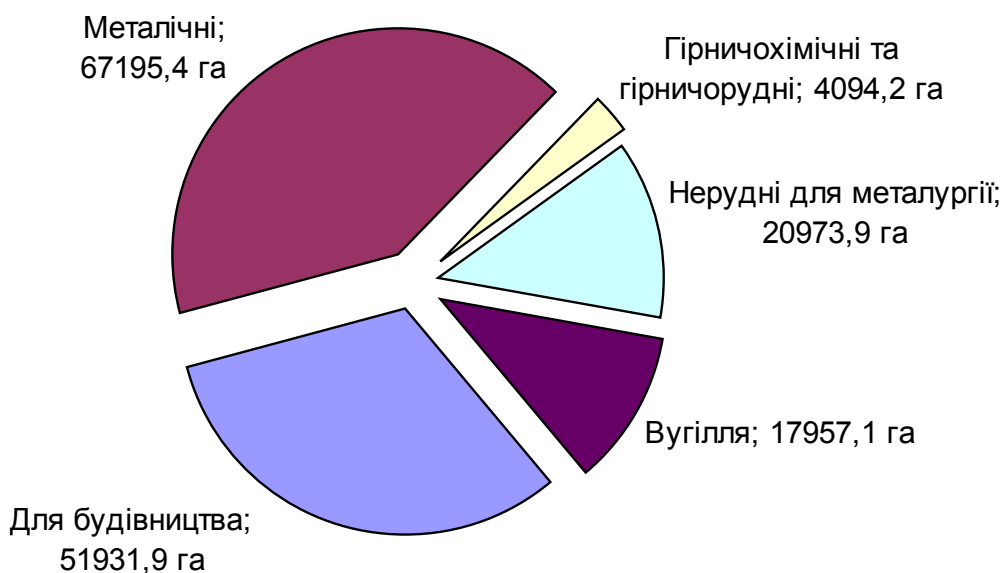


Рис. 2. Загальні порушення землі при відкритій розробці основних видів корисних копалин в Україні, 2013 р.

За умови дбайливого ставлення до виконання рекультиваційних робіт велика частина гірничого відводу може бути повернута у попереднє використання колишньому власнику. У випадках ігнорування правил виконання робіт з гірничотехнічної рекультивації, з обігу господарської діяльності людини вибувають значні території земель, які важко знов повернути до використання і сталого розвитку.

В результаті безвідповідального ставлення до рекультивації порушених земель на сьогодні в Україні налічується більш ніж 1500 покинутих кар'єрів [2]. До них відносяться гірничопромислові ділянки, де роботи з попередньої й детальної геологорозвідки, а також з видобутку корисних копалин були припинені без виконання рекультиваційних робіт. Здебільшого вони утворилися в результаті розробки родовищ будівельної сировини. Наявність великої кількості значених ділянок підтверджує гостру необхідність у розробці нових технологічних рішень щодо їх рекультивації.

Матеріал і результати досліджень. Для обґрунтування і розробки нових технологічних рішень, направлених на підвищення ефективності відновлення порушених земель необхідно виконати аналіз причин, які призвели до появи покинутих без рекультивації гірничих виробок. Умовно їх можна розділити на три групи: недіючі; без власника та без обслуговування.

На території України, практично в усіх областях, покинуті кар'єри представлені сотнями колишніх гірничопромислових ділянок, а у великих гірничопромислових регіонах їх необґрунтовано багато. Це пояснюється тим, що частина будівельних корисних копалин, що розроблялася окремим кар'єром, не була видобута разом з основною сировиною.

Аналіз теоретичних досліджень і практичних рекомендацій науководослідних робіт, які виконані вітчизняними і закордонними вченими показує, що зараз потенційну і реальну загрозу безпеці та здоров'ю людей, а також екологічну небезпеку навколишньому середовищу становлять саме проблеми покинутих кар'єрів і шахт.

Основною причиною їх появи є загальна практика залишати гірничий відвід без відновлення, маючи все необхідне (гірничотранспортне устаткування, інженерно-технічну інфраструктуру тощо), коли видобуток корисної копалини був завершений [3]. В результаті порушені землі були покинуті без рекультивації та захисту від вітрової та водної ерозії. Щоб уникнути цих проблем, західні гірничодобувні компанії прийшли до висновку, що необхідно ввести об'єднану програму відновлення порушених земель, перш ніж їм нададуть ліцензію на розробку нового родовища.

Для досягнення цієї мети сформовані бази даних, які містять не тільки відомості про всі території покинутих гірничопромислових ділянок, але і їх особливості. Спеціальні вимоги до відновлення цих територій пред'являються до районів з активним землекористуванням.

У країнах з розвинутою економікою питання рекультивації всіх раніше існуючих і нових порушень розглядаються на рівні питань національної культури та пріоритетів, як невід'ємної спадщини наступним поколінням.

У багатьох країнах світу існують програми безпеки для навчання і попередження громадськості про фізичну небезпеку покинутих гірничих виробок, а також про необхідність ефективних заходів з їх відновлення. Велику увагу приділяють освіті, використовують рекламні листки, емблеми тощо.

Проблема покинутих кар'єрів постає, насамперед, через відсутність єдиної державної або регіональної програми з рекультивації гірничопромислових діля-

нок, що знаходяться у небезпечному стані. У свою чергу покинуті кар'єри можуть спричинити негативний вплив за трьома напрямками, що викладені нижче.

Фізичний. Ці проблеми пов'язані в першу чергу зі станом залишкового виробленого простору, стійкістю уступів й укосів відвалів. Нещасні випадки, пов'язані зі станом гірничих виробок, відвалів і хвостосховищ є самою поширеною причиною смерті й поранень на кар'єрах. Приховану небезпеку представляють звичайні каменепади й обвали бортів кар'єру, а також зсуви на уступах кар'єру й укосах відвалів. Через ерозію бортів кар'єру й укосів відвалів вони можуть обвалюватися під вагою людини або тварини. На кар'єрах, де застосовувалися вибухові роботи, небезпека пов'язана з невикористаними й непідірваними речовинами, які можуть детонувати. Всі фізичні проблеми включають охорону здоров'я й безпеку, візуальні впливи й проблеми стабільності гірського масиву.

Екологічний. Гірничі виробки покинутих кар'єрів можуть впливати на ґрунти, воду, рослини й тварин. Ступінь цього впливу на сьогодні повністю не встановлена. Для її дослідження необхідно додатково визначити всі відсутні складові системи «Кар'єр – довкілля».

Загальні екологічні наслідки викликані зміною ландшафту: залишкові вироблені простори, які довгостроково не використовуються через втрату або забруднення ґрунту; зовнішні відвали та занедбані хвостосховища, які забруднюють пилом атмосферу і водні ресурси та ін. Вода також виступає основним засобом передачі забруднень, по якому передається вплив від покинутих гірничих виробок на сусідні території. Як відзначено вище, якість підземних і поверхневих вод загрожують водній фауні через підвищений зміст важких металів, рівню зважених частинок осадових порід та ін.

Найпоширенішою й найбільш значною проблемою покинутих гірничопромислових ділянок є кислотний дренаж. Особливо тих, які мають місце мінералізації сульфїду.

Соціально-економічний. Це повна втрата зайнятості й видів ділової активності в суспільстві при закритті гірничих підприємств (ХК «Олександріявугілля», РВО «Сірка» і ЯВО «Сірка» та ін.). Питання постає особливо гостро при незапланованому закритті кар'єру. Інші соціально-економічні наслідки в основному обумовлені фізичними й екологічними факторами. Вони включають приховану фізичну небезпеку для життя людини, а також економічні збитки регіону через втрату родючих земель. Неконтрольований поверхневий дренаж, пов'язаний з осіданням поверхні, може знищити ґрунт й зробити нестабільними великі площі земель.

Серйозні соціально-економічні наслідки можуть наступити в результаті незаконного і неконтрольованого використання вироблених просторів покинутих кар'єрів, без попередньої підготовки, у якості полігонів для розміщення індустріальних і побутових відходів.

Перелічені напрями впливу призводять до незворотних процесів, які починаються на навколишньому природному середовищі: порушується первісний природний рельєф, взаємозв'язок окремих екосистем і загальний екологічний

стан гірничодобувного регіону, багаторазово збільшується техногенне навантаження на територію. Тому рішення цієї проблеми набуває усе більшої актуальності та заслуговує на особливу увагу з боку держави.

Одним з можливих напрямів зменшення небезпеки, що являють собою вироблені простори кар'єрів може стати їх використання у якості техногенного об'єкта (резервуару) для розміщення супутніх корисних копалин. У цьому випадку залишковий вироблений простір кар'єру буде являти собою техногенне родовище типу внутрішній відвал. Приймальна спроможність якого залежатиме від параметрів залишкового виробленого простору кар'єру.

Використання супутніх корисних копалин і створення з них техногенних родовищ веде до зменшення обсягів відвальних порід, так як вони будуть використовуватися для заповнення залишкового виробленого простору сусіднього кар'єру. Негативним явищем цього процесу стане брак порід для засипання гірничих виробок кар'єру, з якого ці породи будуть вилучені. Однак зазначений метод заповнення залишкових вироблених просторів не має широкого поширення через велику кількість окремо розташованих кар'єрів, чи значної відстані між сусідніми кар'єрами, що зумовлює економічну недоцільність складування корисних копалин у техногенному родовищі.

Не менш суттєвою проблемою сталого розвитку екологічного середовища гірничодобувного регіону, який має розвинуту промислову діяльність, є поводження з промисловими, твердими побутовими та небезпечними відходами. Так, за експертною оцінкою Ради по вивченню продуктивних сил України НАН України, загальний обсяг утворення відходів, насамперед гірничопромислових, щороку коливається у межах 800 млн т, а обсяг накопичення вже перевищив 35 млрд т [4]. Найголовнішим питанням є те, що офіційні показники не повністю відображають всього обсягу їх утворення. Оскільки відходи гірничопромислового виробництва мають самі великі об'єми, це й зумовлює наявність найбільш неповної інформація щодо них.

Вже існуючі та новостворені полігони для складування промислових відходів спричиняють суттєвий негативний вплив на екологічний стан промислових регіонів через атмосферне повітря, ґрунтові та поверхневі води. Цей вплив позначається на здоров'ї та середній тривалості життя людини, а також призводить до зменшення територій для проживання й господарської діяльності.

Як вже відзначалося раніше, максимальні обсяги відходів утворюються на підприємствах гірничо-металургійної, вугільної, хімічної промисловості та енергетики. Основні види відходів, що утворюються у результаті промислової діяльності людини в Україні та рівень їх освоєння у якості субпродукту зазначені на рис. 3.

Показники, що наведені на рис. 3, свідчать про значний обсяг використання промислових відходів. Згідно зі статистичною звітністю, з отриманих у результаті промислової діяльності 356 млн т відходів, майже половина з них, 189,3 млн т або 53,4 % були повторно використані.

Значно складнішою виглядає ситуація при поводженні з твердими побутовими відходами (ТПВ). Згідно з даними Мінжитлокомунгоспу щорічно збира-

ється і вивозиться до 50 млн м³ твердих побутових відходів. Однак, як і у першому випадку, вказані значення не повною мірою відображають дійсні обсяги утворення відходів, оскільки послугами зі збирання ТПВ охоплено не більше 70 % населення України.

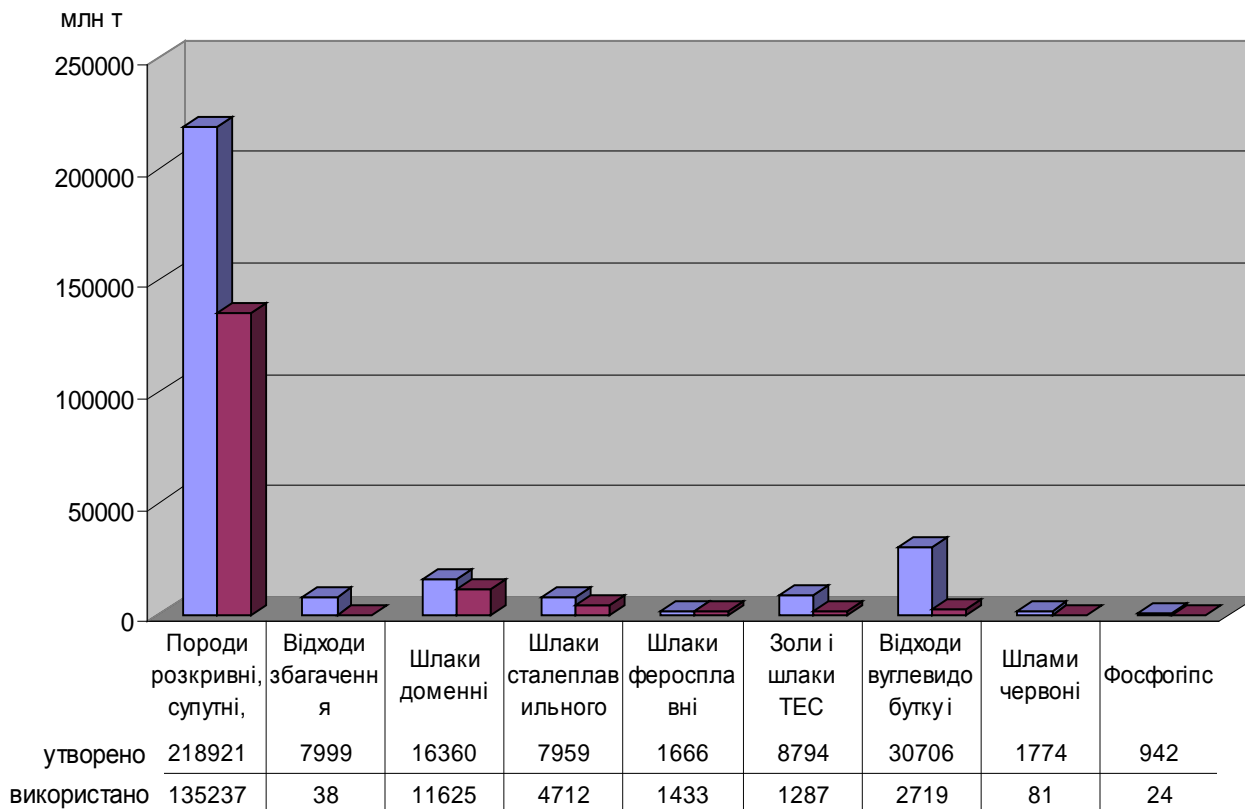


Рис. 3. Структура утворення і використання відходів промисловими підприємствами в Україні, 2013 р.

За даними Мінжитлокомунгоспу, майже вся маса твердих побутових відходів вивозиться та розміщується на полігонах та звалищах. Це викликає низку проблем, основними з яких є відсутність виділених земельних ділянок для спорудження нових полігонів і пожежонебезпечність звалищ через порушення технологічних вимог захоронення відходів.

Окрім зазначених проблем з легальними полігонами в країні існують значні проблеми з нелегальними сміттєзвалищами, які з'являються повсюди. Ці нелегальні об'єкти через недбалий, нецивілізований обіг з відходами стали величезною екологічною, соціальною й економічною загрозами не тільки для України, але й багатьох країн світу.

Виконані дослідження показують, що з одного боку гостро постає проблема сучасного стану територій гірничопромислових регіонів зі значною кількістю вироблених просторів кар'єрів, які є новоутвореними техногенними об'єктами з браком гірської породи для рекультивациі, а з іншого боку постає проблема надлишкового обсягу промислових та твердих побутових відходів, які потребують нових територій для складування.

Тому виникає актуальне питання, яке полягає у комплексному вирішенні проблеми гірничотехнічної рекультивації залишкових вироблених просторів кар'єрів шляхом створення на їх базі полігонів для розміщення промислових та твердих побутових відходів. Поставлена мета може досягатися шляхом вирішення наступних завдань:

1) аналіз відомих методів і технічних рішень зі створення спланованих техногенних об'єктів у межах гірничого відводу для їх подальшого використання у господарській діяльності;

2) розробка методики вибору раціонального напряму використання заздалегідь спланованих техногенних об'єктів гірничого відводу у господарській діяльності;

3) дослідження технологічних схем розробки родовища і відвалоутворення з метою формування залишкових вироблених просторів кар'єрів з параметрами, придатними для створення у ньому техногенного родовища або полігону для захоронення промислових і твердих побутових відходів;

4) обґрунтування технології формування заздалегідь спланованих техногенних об'єктів з метою їх подальшого використання у господарській діяльності з урахуванням екологічних аспектів проблеми.

Висновки. Виконані дослідження у галузі землекористування при відкритих гірничих роботах, та зі встановлення площ порушених земель, пов'язаних з видобутком корисних копалин підкреслюють необхідність розробки нових технологічних рішень для підвищення ефективності гірничотехнічної рекультивації. Встановлена кількість покинутих гірничих виробок старих кар'єрів підтверджує кризову ситуацію, що склалася з відновленням земель порушених гірничими розробками в країні. Запропоновані шляхи підвищення ефективності рекультиваційних робіт та залучення порушених ділянок до господарського обігу можливе за умови використання їх у якості техногенних родовищ корисних копалин або територій з тимчасового чи постійного зберігання твердих промислових і господарських відходів.

Список літератури

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні / М-во охорони навколишнього природного середовища України. – К. – 2007. – 393 с.
2. Ложніков О.В., Романченко Ю.В. Розробка технології гірничотехнічної рекультивації обводнених залишкових вироблених просторів кар'єрів / Геотехническая механика ИГТМ. – Дніпропетровськ, 2014. - №117. – С. 34 – 43..
3. Mining for the future. Mining, Minerals and Sustainable Development. №28. IED International institute for environment and development. April 2002. – 31 p. – Режим доступу: <http://www.mine.cemr.wvu.edu> – 10.06.13 г. – Заголовок з екрану.
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні / М-во екології та природних ресурсів України. – К. – 2013.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 17.11.2014*

УДК 622.271

© Б.Ю. Собко, А.М. Масєвський, М.О. Чебанов

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ КУТА ПОВОРОТУ ВІД ШИРИНИ ЗАХОДКИ ТА ВИСОТИ УСТУПУ, ПРИ РОЗВАНТАЖУВАННІ ДРАГЛАЙНУ У АВТОСАМОСКИД

Наведені результати досліджень впливу ширини заходки та висоти уступу на кут повороту драглайну при розвантажуванні у автосамоскид. Наведена формула для визначення кута повороту драглайнів при розвантаженні у автосамоскид.

Приведены результаты исследований влияния ширины заходки и высоты уступа на угол поворота драглайна при разгрузке в автосамосвал. Приведена формула для определения угла поворота драглайна при разгрузке в автосамосвал.

The results of studies of the effect stope width and height of the ledge on the angle of rotation of the dragline when unloading in dump. The formula for determining the angle of rotation of the dragline when unloading in dump.

На сьогодні широко застосовуються комплекси гірничо-транспортного обладнання з використанням крокуючих екскаваторів драглайнів та автосамоскидів, при розробці м'яких гірничих порід на кар'єрах зі складними гірничо-геологічними умовами. Але дотепер не визначений раціональні параметри вибою та робочої площадки. Тому дослідження по встановленню раціонального кута повороту який залежить від ширини заходки та висоти уступу є актуальним та своєчасним

При розгляданні комплексів обладнання "ЕШ+автосамоскид", драглайн потрібно розташовувати як можна ближче до автосамоскида, але за межами призми можливого обрушення (z) щоб зменшити кут повороту на розвантаження. Також необхідно враховувати відстань від нижчої бровки уступу до осі екскаватору, вона не повинна перевищувати максимального радіусу черпання.

Запропоновано технологічну схему роботи драглайну з нижнім черпанням, та розташуванням його на середині заходки при установці автосамоскиду на рівні екскаватора у положенні поблизу охоронного валу.

При дослідженні були прийняті комплекси обладнання які складаються з екскаваторів ЕШ-6/45, ЕШ-10/50 та автосамоскидів Cat-773e. Для визначення кута повороту були розглянуті схеми роботи драглайну при змінній висоті уступу (рис.1) та при змінній ширині заходки (рис.2).

Із даних наведених на рис.2 та рис.3 загальний кут повороту складається з двох кутів: кута повороту у забій $\varphi_{\text{ц}}$ та кута повороту до автосамоскида $\varphi_{\text{а}}$.

$$\varphi_{\text{п}} = \varphi_{\text{ц}} + \varphi_{\text{а}} \text{ , град} \quad (1)$$

Кут повороту у забій знаходиться між віссю повороту екскаватора та центром мас забою O_i , тобто середнім місцем черпання. Центр мас буде знаходитись на перетині діагоналей забою (рис.2; 3).

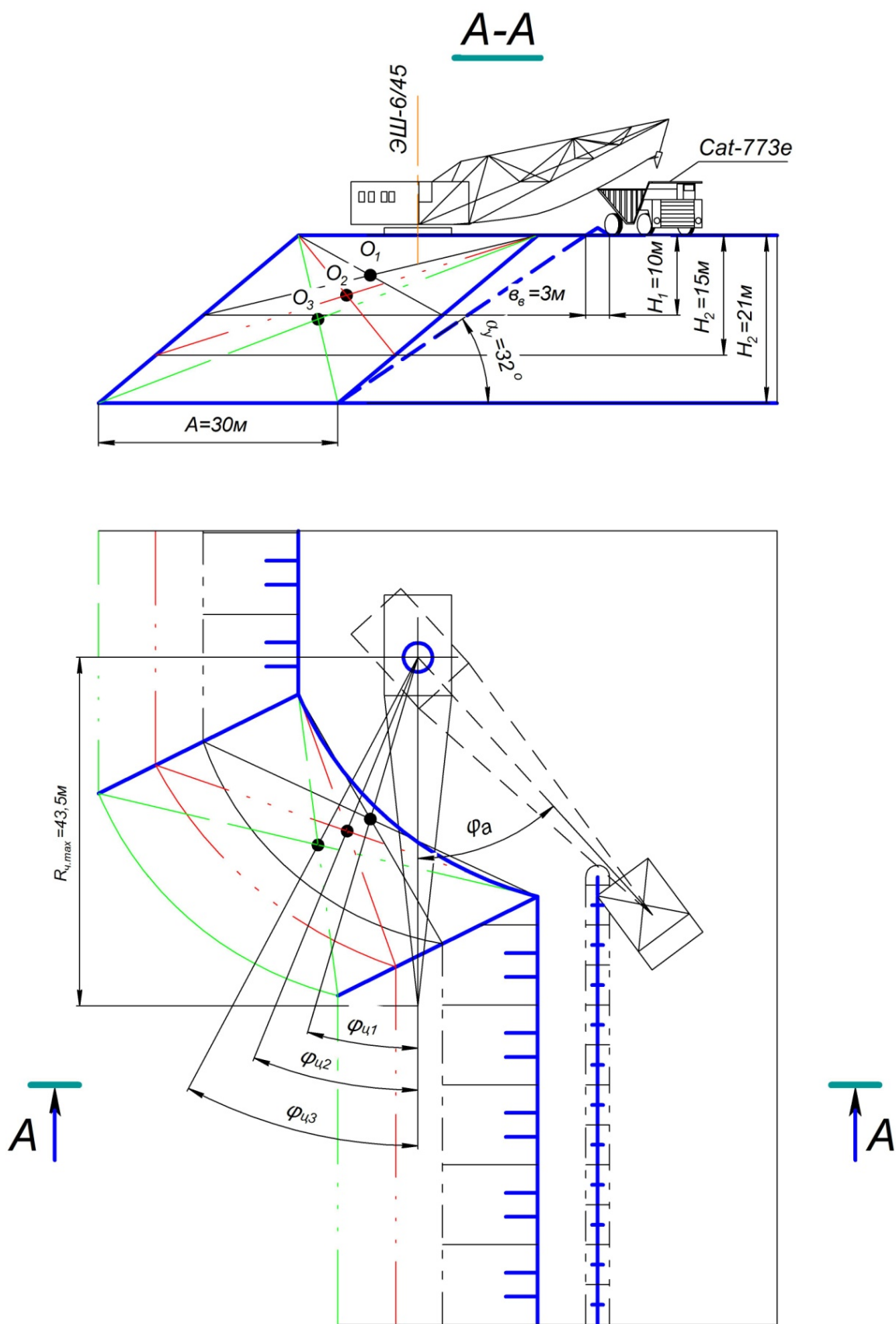


Рис. 1. Схема для визначення кута повороту драглайну при змінній висоті уступу

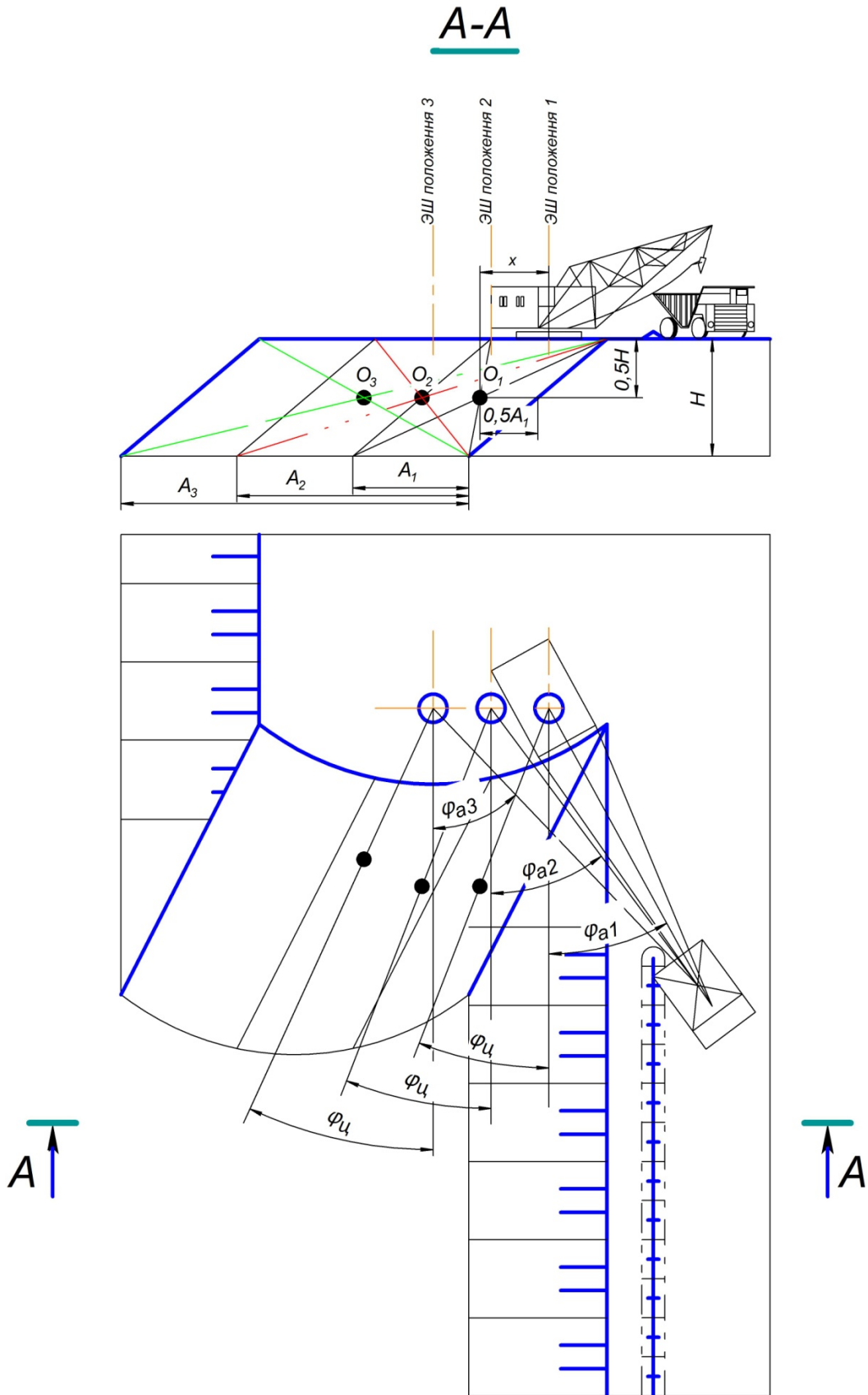


Рис. 2. Схема для визначення кута повороту драглайну при змінній ширині заходки

Розглядаючи кут повороту драглайну до вибою, була отримана формула для його визначення:

$$\varphi_{\text{ц}} = \arctg \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma}{R_{\text{ч.маx}} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma_3}, \text{ град} \quad (2)$$

де H – висота уступу, м; $R_{\text{ч.маx}}$ – максимальний радіус черпання, м; γ – кут укосу уступу, град; γ_3 – кут вибою драглайна. Він дорівнює куту стійкого укосу уступу ($\gamma_3 = \alpha_y$).

Як бачимо із параметрів формули (2) та даних наведених на схемі (рис.2) кут повороту у забій змінюється при збільшенні висоти уступу. Також очевидно, що ширина заходки (A) не впливає на кут повороту, це зумовлено тим що, центр мас завжди буде знаходитись на незмінній відстані від центру заходки на поверхні забою, там де розташовується екскаватор. Аналітично це твердження можливо виразити формулою:

$$x = 0,5 \cdot A + Hctg \gamma - 0,5 \cdot A, \text{ град}, \quad (3)$$

звідки:

$$x = Hctg \gamma, \text{ град}. \quad (4)$$

Кут повороту до автосамоскида знаходиться між віссю екскаватора та центром кузову автосамоскида. Для визначення цього кута отримана формула:

$$\varphi_{\text{а}} = \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_{\text{в}} + 0,5 \cdot b_{\text{а}}}{R_{\text{ч.маx}}}, \text{ град}, \quad (5)$$

де $b_{\text{в}}$ – ширина запобіжного валу, м; $b_{\text{а}}$ – ширина кузову автосамоскида, м.

З наведеної формули (5) та даних наведених на схемі (рис.2) висота уступу майже не впливає на кут повороту драглайну до автосамоскида. Але, висота уступу впливає на значення z , та це не значне змінення, тому у подальших розрахунках прийнято середнє значення $z = 6$ м.

Кут повороту до автосамоскида зростає при збільшенні ширини заходки. Розглянувши схему (рис. 3) зростання кута повороту можна обґрунтувати тим, що при збільшенні ширини заходки відстань від автосамоскида до екскаватору теж зростає.

Перетворивши вираз (1) заміною значень $\varphi_{\text{ц}}$ та $\varphi_{\text{а}}$, отримаємо кінцеву формулу для визначення кута повороту:

$$\varphi_{\text{п}} = \arctg \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma}{R_{\text{ч.маx}} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma_3} + \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_{\text{в}} + 0,5 \cdot b_{\text{а}}}{R_{\text{ч.маx}}}, \text{ град} \quad (6)$$

Для встановлення залежності кута повороту від ширини заходки, були отримані значення $\varphi_{\text{п}}$ для ЕШ-6/45 та ЕШ-10/50 за формулою (6) при зміні A від A_{min} до A_{max} і висоті уступу $H_1 = 15$ м. За результатами розрахунків побудовано графік залежності $\varphi_{\text{п}} = f(A)$ (рис. 4).

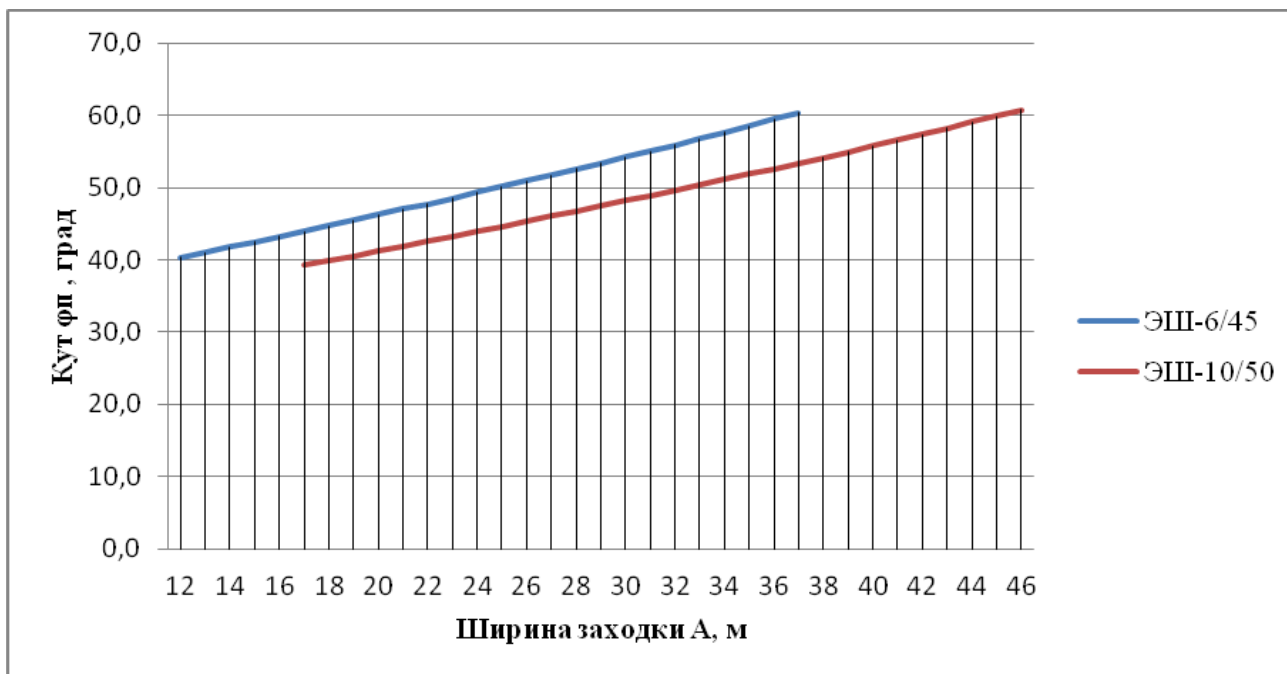


Рис. 4. Залежність кута φ_n від зміни ширини заходки A при висоті уступу $H = 15$ м

З даних графіку (рис.4) бачимо, що кут повороту прямо пропорційно зростає при збільшенні ширини заходки від $\varphi_{n.min1} = 40,3^\circ$ для ЭШ-6/45 і $\varphi_{n.min2} = 39,2^\circ$ для ЭШ-10/50, при $A_{min1} = 12$ м і $A_{min2} = 17$ м, до $\varphi_{n.max1} = 60,4^\circ$ при $A_{max1} = 37$ м, та $\varphi_{n.max2} = 60,8^\circ$ при $A_{max2} = 46$ м.

Розрахувавши значення φ_n , за формулою (6) при зміні висоти від H_{min} до H_{max} і постійній ширині заходки $A_1 = 30$ м, побудовано графік залежності $\varphi_n = f(H)$ (рис. 5)

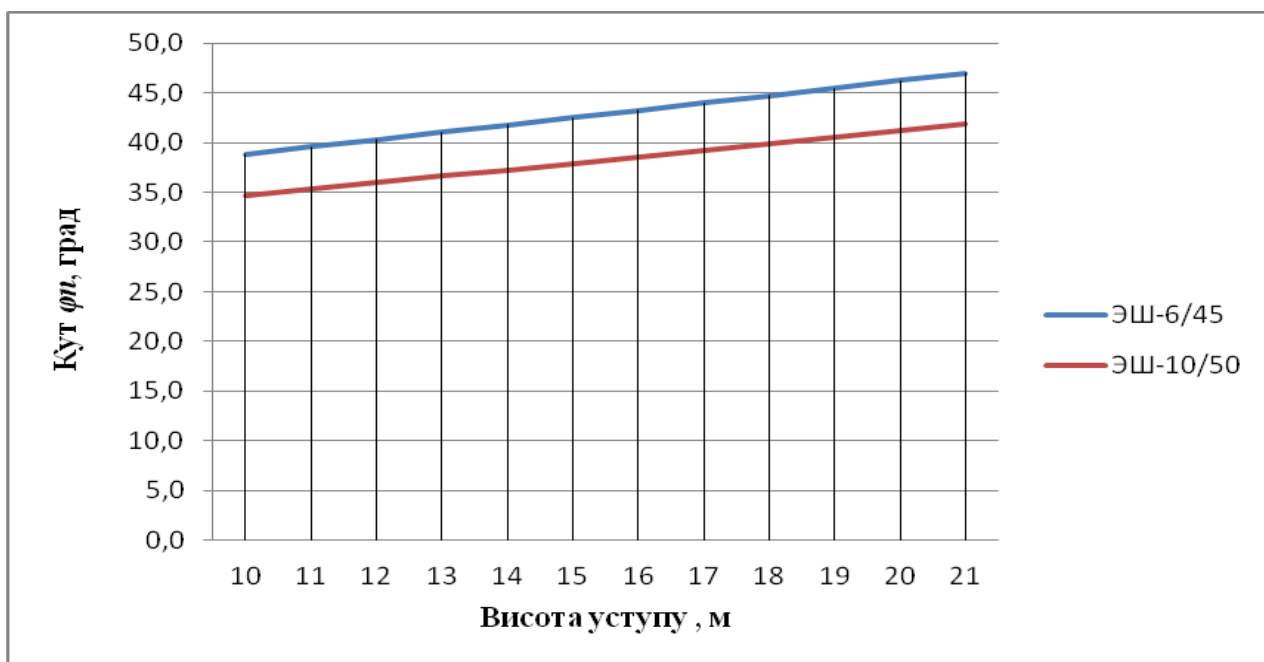


Рис. 5. Залежність кута φ_n від зміни висоти уступу при ширині заходки $A = 30$ м

Із кривих, наведених на графіку (рис.2.6) бачимо, що кут повороту змінюється прямолінійно, тобто пропорційно збільшується при збільшенні висоти уступу, від $\varphi_{n.min1} = 38,8^\circ$ для ЭШ-6/45, і $\varphi_{n.min2} = 34,7^\circ$ для ЭШ-10/50 при $H_{min} = 10$ м, до $\varphi_{n.max1} = 47,0^\circ$ та $\varphi_{n.max2} = 41,9^\circ$ при $H_{max} = 21$ м.

Виконані дослідження дозволили встановити, що ширина заходки та висота уступу значно впливають на величину кут повороту. Дані дослідження можна використовувати для визначення оптимальних параметрів забою, комплексів гірничотранспортного обладнання «ЭШ+автосамоскид», як фактор впливу на продуктивність драглайну.

Список літератури

1. Собко Б.Е. Определение оптимальной ширины заходки экскаватора-драглайна при его работе в комплексе с автосамосвалами / А.М.Маевский, Н.В.Несвитайло, М.А.Чебанов.- Збірник наукових праць НГУ.- 2013.- № 43.-С. 52-58.

*Рекомендовано до друку д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 12.10.2014*

УКД 622.8

© В.В. Фомичев, А. А. Слива

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ДОБЫЧИ УГЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРУГА В РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Выполнена оценка эффективности применения гидромеханического разрушения угля с использованием опережающего резания в струговой лаве. Установлена обобщенная зависимость между регулируемыми параметрами резания и уровнем энергозатрат при добыче угля, окруженного горными породами с высокими прочностными характеристиками.

Виконано оцінку ефективності застосування гідромеханічного руйнування вугілля з використанням випереджаючого різання в струговій лаві. Встановлена узагальнена залежність між регульованими параметрами різання і рівнем енерговитрат під час видобутку вугілля, оточеного гірськими породами з високими характеристиками міцності.

The evaluation of the effectiveness of hydro-mechanical destruction of coal using advanced cutting in longwall plow. Established a generalized relationship between controlled cutting parameters and the level of energy consumption in coal mining, surrounded by rocks with high strength properties.

Вступление. Первые опыты по применению струи высокого давления для резки различных материалов относятся к 70-м годам прошлого века. Теперь этот метод находит применение в строительстве, химико-технологическом производстве, добыче полезных ископаемых, как звено технологического процесса изготовления различных изделий и т.д.

Суть гидрорезания заключается в формировании струи обычной воды через небольшое отверстие диаметром 0,1...0,5 мм, с давлением на выходе 1000...3000 бар, при этом скорость истечения воды из сопла составляет 400...1000 м/с. При воздействии такой струи на материал, ее энергия превращается в механическую работу резания, а сама струя является режущим инструментом. Главными достоинствами этой методики резания является отсутствие термических и механических напряжений в месте реза, минимизация ударной нагрузки, отсутствие обратной реакции на режущий инструмент, малая ширина реза.

Актуальность. Гидромеханический способ разрушения угля и горных пород основан на совместном использовании в исполнительных органах горных машин непрерывных струй воды и механического инструмента, режущего или скалывающего действия.

Сущность способа заключается в том, что, струя воды, ориентированная тем или иным путем относительно режущего механического инструмента, позволяет, при взаимодействии с горным массивом, снизить воздействующие на него нагрузки.

Перечислим основные достоинства гидромеханического способа разрушения угля и слабых горных пород:

- повышение энерговооруженности выемочных машин без увеличения габаритов и массы, увеличение скорости их подачи более чем в 2 раза за счет уменьшения усилий резания на резах в 1,5-1,8 раза;
- снижение запыленности атмосферы забоя до уровней, не превышающих предельно допустимых концентраций;
- улучшение сортности добываемого угля.

Существует три группы гидромеханических исполнительных органов, разделяемых по диапазонам низкого, среднего и высокого давления струи воды.

Примером использования струй воды низкого давления в конструкциях проходческих комбайнов являются гидромеханические исполнительные органы, работа основана на разрушении породного массива резами совместно со струями воды давлением около 4 МПа, направленными непосредственно в зону резания. Опыт применения таких комбайнов в Великобритании показал, что их работа характеризуется только небольшим снижением пылеобразования и увеличением срока службы резцов.

Струи воды при среднем давлении так же способствуют снижению пылеобразования в зоне ведения проходческих работ и в более значительной степени снижает износ резцов, однако не обеспечивает ощутимый прирост производительности по разрушению пород. Поэтому, с точки зрения эффективности разрушения горных пород наибольший интерес представляют рабочие органы проходческих комбайнов, в которых используют струи воды высокого давления в сочетании с механическим инструментом.

Фирмами «Роббинс» и «Флоу Рисерч» (США) создан и испытан проходческий комбайн с гидромеханическим исполнительным органом роторного типа. На вращающейся планшайбе диаметром 2 м расположены шарошки и 35

насадок из сапфира диаметром 0,25 мм. Для создания высокоскоростных струй давлением до 420 МПа использовали две параллельно работающие насосные установки мощностью по 360 кВт. При испытаниях, проведенных на гранитах с пределом прочности на одноосное сжатие равным 235 МПа, скорость проходки увеличилась в 1,5-2 раза по сравнению с разрушением механическим способом.

Опыт эксплуатации гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов позволил выделить следующие основные преимущества гидромеханического способа разрушения горных:

- расширение области применения проходческих комбайнов на более прочные породы (предел прочности на сжатие 180-240 МПа);
- снижение усилий резания на 40-60% и подачи на 60-70%;
- уменьшение крутящего момента и потребляемой мощности на рабочем органе в 1,3-2,2 раза;
- повышение скорости проходки в 1,5-5 раза без увеличения установленной мощности двигателя исполнительного органа;
- уменьшение расхода механического инструмента в 2-6 раз;
- увеличение производительности комбайна при работе по прочным породам в 1,7-2,2 раза при сохранении массы и габаритов машины;
- уменьшение пылеобразования на 70-85% и искрообразования на 90-100%;
- уменьшение расходов на проходку на 30-50%.

Постановка задачи. Однако на пути широкого практического применения гидромеханического способа разрушения горных пород стоят серьезные технические проблемы.

Для эффективного применения в забое необходимо использовать струи воды с начальным давлением не ниже 100 МПа, а для прочных горных пород это значение должно находиться в диапазоне 200 - 500 МПа. Следовательно, проходческий комбайн избирательного действия должен быть оснащен насосом высокого давления, мощность которого равна мощности привода исполнительного органа, а зачастую и превышает ее.

Высокая скорость воды на выходе из формирующего струю устройства обуславливает его значительный абразивный износ, причем стойкость насадки быстро уменьшается с увеличением начального давления. При давлении в 70-80 МПа твердосплавная насадка служит примерно 200 ч, а при давлении в 350 МПа - всего 3-4 ч [1]. Стойкость сапфировых и алмазных насадок в 4-5 раз выше, но в связи с высокой сложностью обработки сапфировых и алмазных заготовок приходится применять не оптимальную форму насадки.

Большую трудность представляет канализация воды по проходческому комбайну и подвод ее к рабочему органу и резцам. По экономическим соображениям потери давления не должны превышать 10-15%, что приводит к большим условным проходам трубопроводов (в том числе гибких рукавов) и различной арматуры.

Все перечисленные проблемы могут быть частично или полностью решены только при условии получения диапазона наиболее приближенных к оптимальным значениям технологических параметров резания для конкретной конструкции добычного или проходческого комбайна. Колебания значений таких параметров должны зависеть от тех горно-геологических условий.

Задачей данного исследования является определение технологических характеристик гидромеханической струговой установки с опережающей гидро-резкой по верхней и нижней границам «уголь – горная порода». Показатели этих технологических характеристик должны с одной стороны обеспечить большую производительность струга, с другой стороны гарантировать возможность эффективной реализации технологии.

К основным управляемым технологическим параметрам, рассматриваемым в данной работе, отнесем связь H_{Δ} «глубина гидрорезки – толщина стружки». Производными от этой связи являются скорости передвижения формирующих струю насадок и резцов струга, величина опережения гидрорезкой основного фронта резания, и абсолютные значения глубины гидрорезки и толщины стружки. Все эти параметры в той или иной мере зависят от прочностных характеристик угля и примыкающих к нему горных пород [2].

Следовательно, определение оптимальных показателей управления работой гидромеханической струговой установки, сводиться к выбору величины давления струи воды на горную породу, величины и характера опережения гидрорезки и скорости перемещения самого струга.

Определение оптимальных характеристик резанья. В рассматриваемой установке реализуется две технологии разрушения материала – это резание с образованием элементной стружки и ударное разрушение водной струей. Физика процесса в обоих случаях имеет различный характер, поэтому для определения степени и вида взаимного влияния необходимо провести анализ воздействия этих процессов на НДС разрушаемых горных пород и угля.

Образование стружки при работе обычного струга имеет достаточно простое физическое описание характерной для процесса резания хрупких материалов [2]. В этом случае под воздействием передней поверхности резца, располагающейся непосредственно у режущей кромки, образуется система трещин распределяющихся в направлении движения резания (рис. 1).

На первом этапе формирования стружки происходит непрерывное повышение силы резания, обеспечивающее развитие ведущей равномерно-подвижной трещины 1. Это продолжается до тех пор, пока решающее значение в формировании элемента стружки не начнет приобретать напряжение изгиба, которое вызывает быстрое падение силы резания, вследствие отделения этого элемента стружки по поверхности 2. На втором этапе происходит зачистка поверхности резания 3, от мелких элементов. В ряде случаев на поверхности резания этот этап отсутствует вследствие развития основной трещины ниже поверхности резания 3. То есть, для системы «уголь - струг» разрушение происходит в виде хрупкого отрыва, обусловленного периодическим процессом раз-

вития опережающей трещины. При этом работа, затрачиваемая на образования стружки пропорциональна поверхности разрушения.

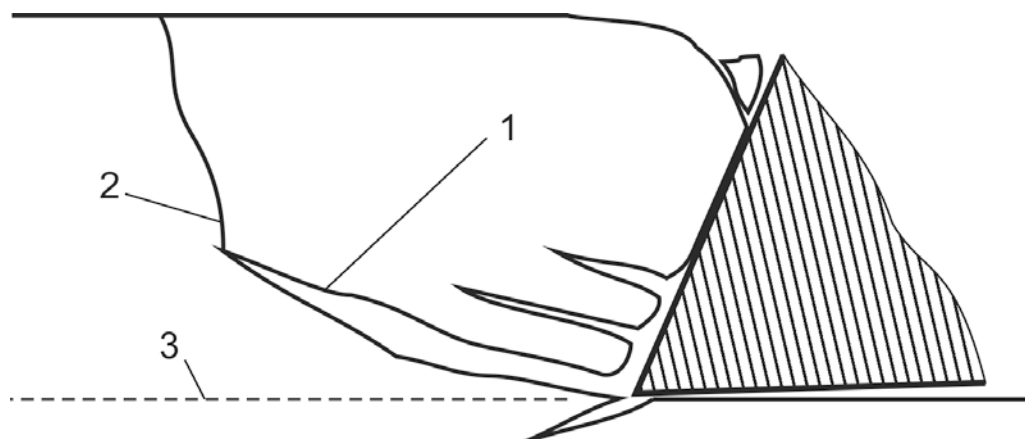


Рис. 1. Формирование системы трещин перед резцом струговой установки

Можно сделать вывод, что в условиях образования элементных стружек срезаемого слоя угля разрушение происходит не по линиям максимальных касательных напряжений, а по линиям разрыва, которые образуются как огибающие линии скольжения. Образовавшиеся поверхности разрыва являются геометрическим местом точек, которые характеризуются резким изменением напряжений. Физически это и обуславливает образование трещины.

Показателем эффективности процесса резания, таким образом, можно считать удельную энергоёмкость \tilde{E} , которая является величиной затрачиваемой энергии, приходящейся на единицу пути резания. В общем виде, зависимость этой величины от кинетической энергии струга может быть записана следующим образом

$$\tilde{E} = f(U_K, \sigma_{сж}, l); \quad (1)$$

где U_K - кинетическая энергия струга; $\sigma_{сж}$ - предел прочности угля на сжатие; l - толщина стружки.

Представленная функциональная зависимость имеет вид кривой с несколькими минимумами соответствующими оптимальным показателям энергозатрат. Физически такое поведение функции можно объяснить следующим образом: при малых величинах энергии U_K , значения \tilde{E} велики (процесс не эффективен), с ростом кинетической энергии энергоёмкость процесса резания падает, пока не достигнет оптимального минимума, с дальнейшим увеличением U_K величина \tilde{E} опять начинает расти и при нагрузках примерно в двое превышающих первое оптимальное значение образуется второй минимум кривой.

Процесс нарезания щелей в породном массиве струей воды высокого давления (рис. 2) определяется следующими основными характеристиками: давлением воды P и диаметром отверстия формирующей струю насадки, скоростью перемещения насадки S , расстоянием между насадкой и поверхностью породы, количеством проходов струи и прочностными свойствами горной породы [3].

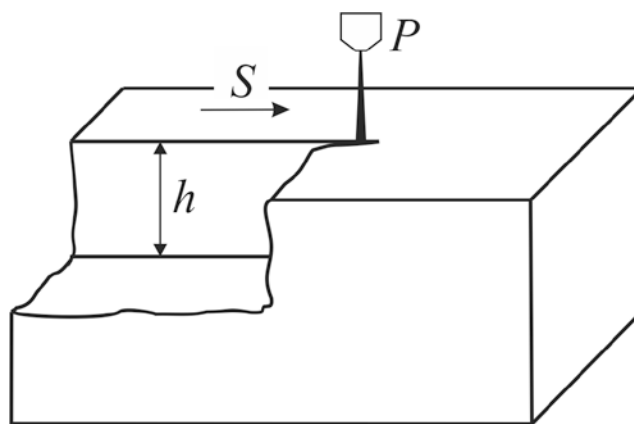


Рис. 2. Схема процесса резания горной породы струей воды высокого давления

Диаметр струеформирующей насадки, расстояние между насадкой и поверхностью породы число проходов струи это те параметры, которые либо слабо поддаются управлению, либо не поддаются управлению вообще. Следовательно, в нашем случае, рассматривать их смысла не имеет.

Поскольку разрушение породы струей воды происходит под действием ударной нагрузки ориентированной строго перпендикулярно разрушаемой поверхности, то основными напряжениями вызывающими формирование щели являются нормальные. Само разрушение не приводит к формированию трещин или зон пластических деформаций, так как порода разрушается мгновенно во всей зоне приложения нагрузки без возникновения краевого эффекта. Поэтому необходимая для резания величина давления струи воды всегда прямо пропорциональна пределу прочности на одноосное сжатие для любого разрушаемого материала.

Таким образом, становится необходимым оценить степень влияния давления воды на глубину щели. Изменение давления воды принималось в диапазоне от 100 до 500 МПа, скорость перемещения насадки вдоль поверхности породы – 25 мм/с. Для этих показателей были получены следующие результаты: повышение давления воды приводит к увеличению глубины щели в 6 раз для горных пород с пределом прочности на одноосное сжатие от 85 МПа и выше, для пород с пределом прочности до 30 МПа глубина возросла в 29 раз. При этом абсолютные показатели глубины щели составили от 3 до 87 мм. Это позволяет говорить о том, что с технологической точки зрения наиболее приемлемой прогнозируемой глубиной опережающего резания для гидромеханического струга является 30 – 40 мм.

С точки зрения технических особенностей реализации наиболее важным можно считать определение оптимальной скорости передвижения струи воды относительно горной породы. Результаты, полученные при проведении исследований [3, 4], позволили сделать однозначный вывод о том, что во всем диапазоне давления воды увеличение скорости перемещения формирующей струю насадки приводит к уменьшению глубины щели h .

Поскольку, в дальнейшем, скорость перемещения насадки V при гидрорезании может стать сдерживающим фактором по определению оптимальных режимов работы гидромеханического струга ее расчетные показатели должны базироваться на учете величины давления воды и прочностных характеристиках горной породы. Зависимость, полученная в ходе экспериментальных работ в [3] выглядит следующим образом

$$V = P^2(\sigma_{сж} \cdot 10^{-2} - 0,9) \cdot 10^{-3} - \sigma_{сж}(6,5P - 0,84) + 0,57P - 50,98; \quad (2)$$

где P - давление воды; $\sigma_{сж}$ - предел прочности породы на сжатие.

Теперь определимся с параметрами опережающего резания при использовании гидромеханической струговой установки. В качестве базовых рассмотрим результаты вычислительных экспериментов проведенных в работе [4]. В ходе исследований был выполнен анализ влияния на удельную энергоемкость разрушения различных комбинаций взаимного расположения резцов.

В случае резания породы, с высокими прочностными характеристиками, группой резцов, был получен, как и следовало было ожидать, значительный прирост усилия резания по сравнению с резанием одиночным резцом. Однако, величина усилия резания для группы резцов не оказалась простой суммой значений одиночных резцов. Разница этого показателя для группы резцов и одиночного резца лежит в диапазоне 10 – 15 %.

Из этого следует важный вывод относительно резания материалов группой резцов. Максимальная эффективность резания соответствует условию суперпозиции НДС создаваемого задними и опережающими резцами. Это условие будет реализовано тогда, когда передние резцы опережают задние на величину, равную расстоянию от свободной грани модели до места излома линии, вдоль которой происходит разрушение. При условии равенства глубин резания резцов это означает приблизительное равенство величин опережения и глубины резания.

Для оценки эффективности опережающего резания воспользуемся приведенной удельной энергоемкостью разрушения породы

$$\tilde{E}_i = \frac{\tilde{E}}{\tilde{E}_{\min}}; \quad (3)$$

где

$$\tilde{E} = \frac{E}{hl} = \frac{1}{hl} \int_{l_0}^{l_1} F(l) dl = \frac{V_s}{hl} \int_{t_0}^{t_1} F(t) dt;$$

\tilde{E}, E - удельные и полные энергозатраты резания соответственно; \tilde{E}_{\min} - минимально возможные энергозатраты резания; $F(t), F(l)$ - усилия резания как функции от времени и длины среза; V_s, h, l - скорость, глубина и длина выполненного среза соответственно.

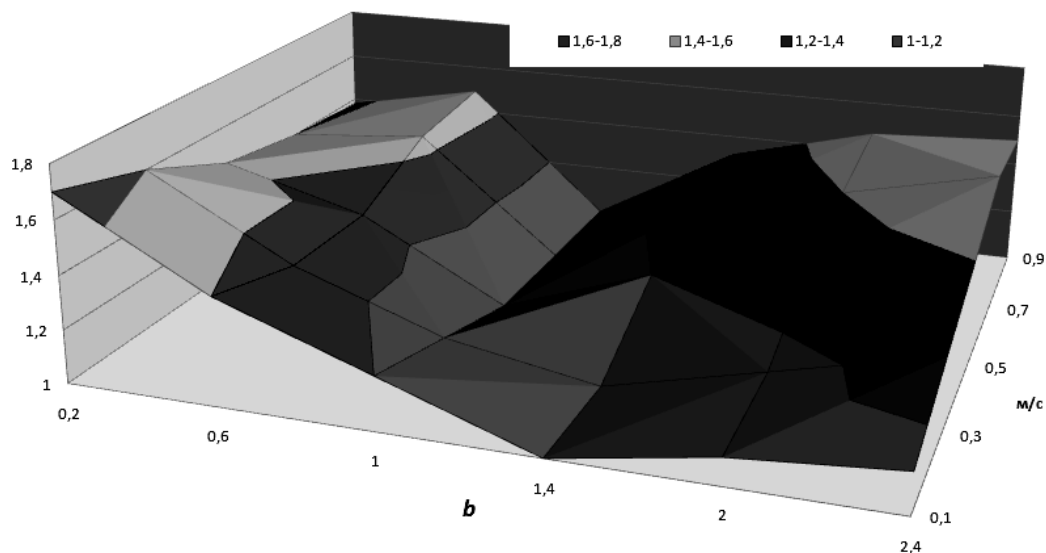


Рис. 3. Зависимость приведенной удельной энергоемкости разрушения от скорости резания и соотношения b длины опережения и глубины реза

Как видно на рис. 3 минимумы удельной энергоемкости разрушения горной породы находятся в диапазоне значений от 0,9 до 1,38 параметра b . Причем с ростом скорости резания для значений этого параметра в диапазоне 0,2 – 0,4 наблюдается снижение удельной энергоемкости разрушения материала. Это может быть использовано при выборе оптимальных показателей управления процессом резания.

Поскольку, как было показано выше, ни в одном виде разрушений, при использовании гидромеханического струга, не наблюдаются пластические деформации, последующее решение может быть выполнено в рамках линейной механики разрушений.

При использовании обычной струговой установки формирование трещин, благодаря которым происходит срез угля, осуществляется за счет двух физических составляющих: перемещения берегов трещины вдоль нормали к ее исходной поверхности и деформации сдвига параллельно фронту трещины. Зачастую в пространственной задаче с криволинейным фронтом трещины особенность напряжений значительно отличается от корневой [5].

Энергетический интеграл, иначе интеграл Черепанова-Райса, не зависит от выбора контура интегрирования и поэтому называется инвариантным. Для рассматриваемого случая, обозначим J –интеграл в случае роста трещины в направлении оси перемещения струга символом J_x , а при приращении длины трещины в направлении перпендикулярном оси перемещения символом J_y . Тогда направление роста трещины из вершины совпадает с вектором суммарного изменения энергии J , компоненты которого определяются следующим образом

$$\begin{aligned} J_x &= \frac{(1+\nu)(1+k)}{4E} (K_I^2 + K_{II}^2); \\ J_y &= \frac{(1+\nu)(1+k)}{2E} K_I K_{II}; \end{aligned} \quad (4)$$

где K_I, K_{II} - коэффициенты деформирования трещин; $k = 3 - 4\nu$ для плоской деформации; $k = (3 - \nu)/(1 + \nu)$ для плоского напряженного состояния; ν - коэффициент Пуассона; E - модуль упругости.

Теперь учитывая весь комплекс энергозатрат при работе гидромеханического струга и установив механическую связь между основными характеристиками разрушения материала под воздействиями различных сред была получена следующая функциональная зависимость

$$\tilde{E}_{II} = \frac{K_{II}^{0,57} \cdot V(0,92 - n \cdot S \cdot l)}{K_I \cdot V_s \cdot l_s} = \frac{K_{II}^{0,57} \cdot V(0,92/l - n \cdot S)}{K_I \cdot V_s} H_{\Delta}; \quad (5)$$

где S - величина опережения резания; V_s, l_s - скорость перемещения и глубина резания основной каретки струга; n - число проходов струи воды при опережающем резании.

Выводы. Определяющим фактором, влияющим на выбор оптимальных характеристик работы гидромеханического струга, является величина давления струи воды. При этом, баланс энергозатрат на единицу добытого угля, стремится к наименьшему минимуму когда H_{Δ} находится в диапазоне значений от 0,8 до 1,3. Однако, технологическое обеспечение таких значений H_{Δ} не имеет смысла из-за высоких абсолютных значений энергозатрат. Поэтому наиболее приемлемой является величина, находящаяся в диапазоне от 0,2 до 0,4.

Прочностные характеристики угля и пород оказывают на характеристики резания гидромеханического струга, тем большее значение, чем выше их разница. Влияние прочности угля и пород имеет нелинейный характер с максимумом в зоне наименьшей абсолютной разности этих показателей.

Таким образом, полученные зависимости могут быть использованы для управления процессом добычи угля с применением гидромеханического струга в широком диапазоне горно-геологических условий с применением автоматизированных систем управления производством, поскольку позволяет оперировать четко установленными признаками.

Список литературы

1. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. / - М.: Высшая школа, 1974. – 587 с.
2. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. / - М.: Наука, 1974. – 640 с.
3. Бренер В.А., Жабин А.Б., Поляков А.В. Результаты исследований процесса разрушения горных пород струями воды сверхвысокого давления // Горное оборудование и электромеханика. - 2006. - № 6. - С. 29-32.
4. Костандов Ю.А. Особенности поведения материалов при инструментальном резании // Динамические системы. Вып. 21 – 2006. – С. 107-114.
5. Брок Д. Основы механики разрушения. / - М.: Высшая школа, 1980. – 368 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.
Надійшла до редакції 11.12.2014*

ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ МЕТОДИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ З ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗКРИТТЯ БУРОВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ

Проведен анализ вскрытия и подготовки к эксплуатации глубоких горизонтов буровугольных месторождений. На примере Ново-Дмитровского месторождения рассмотрены схемы вскрытия карьерного поля. Установлен критерий эффективности вскрытия глубокого обводненного буровугольного месторождения. Обоснованы основные методические положения по формированию системы вскрытия буровугольных месторождений.

Проведено аналіз способів розкриття та підготовки до експлуатації глибоких горизонтів буровугільних родовищ. На прикладі Ново-Дмитрівського родовища розглянуті схеми розкриття кар'єрного поля. Встановлено критерій ефективності розкриття глибокого обводненого буровугільного родовища. Обґрунтовані основні методичні положення з формування системи розкриття буровугільних родовищ.

The ways of mining and preparing for exploitation of deep horizons of lignite deposits are analyzed. On the example of Novo-Dmitrovsky deposit the schemes of mining career fields are considered. The criterion of the efficiency mining of deep watered deposit is set. The main methodical aspects for the sequence of formation system of opening lignite deposits are substantiated.

Вступ. Підготовка кар'єрного поля до експлуатації характеризується певною послідовністю й способом проведення спеціально призначених для цього гірничих виробок розкриття, що обумовлюють доступ кар'єрного транспорту з поверхні до покладу корисної копалини та подальшого його відпрацювання. Залежно від розташування покладів корисних копалин над рівнем земної поверхні, кутом їх залягання, продуктивності кар'єрів із добування гірничої маси, конструктивних особливостей і робочих параметрів виймально-транспортного устаткування та місця знаходження відвалів пустих порід приймаються певний тип виробок розкриття та технологія їх проведення. З метою подальшої експлуатації родовищ устаткування, що було задіяне для проведення виробок розкриття, доцільно ефективно використовувати також і у майбутньому до повного відпрацювання балансових запасів корисних копалин у межах кар'єрного поля.

У загальному випадку для нормального функціонування підприємства відповідно заданому технічним проектом режиму експлуатації родовища розкриття кар'єрного поля здійснюється гірничими виробками, які забезпечують транспортний доступ із земної поверхні до робочих горизонтів у кар'єрі з метою доставки порід розкриття на відвали, а корисної копалини – до пунктів приймання на поверхні. Проведення виробок розкриття починають з поверхні або із вже розкритого проміжного робочого горизонту й закінчують на позначці робочої площадки горизонту, що розкривається.

Актуальність теми. Відпрацювання родовищ з похилим, крутопохилим та крутим заляганням пластів, до яких належать глибокозалягаючі буровугільні поклади, ведеться з систематичним поглибленням дна кар'єрів. Досягнення кінцевої глибини здійснюється через значний проміжок часу від початку експлу-

атації кар'єру, який коливається від 10 – 15 до 40 – 60 і більше років. За таких умов виробки розкриття проводять поступово одна за одною відповідно до потрібного терміну введення до експлуатації чергового нижнього горизонту в кар'єрі. Як правило, в основний період експлуатації кар'єру породи розкриття складають у зовнішніх відвалах. Проте, залежно від потужності вміщуючих порід і пластів корисних копалин, при певних технологіях розробки з'являється можливість організації складування відходів виробництва також і у виробленому просторі [1].

Розкриття робочих горизонтів зазвичай виконується із застосуванням основного гірничотранспортного устаткування, що експлуатується в кар'єрі: виймально-навантажувального у сукупності із автомобільним, залізничним, конвеєрним або гідравлічним транспортом та їх комбінаціями між собою. Доступ до нижньої позначки горизонту, що розкривається, ведеться шляхом проведення виробок розкриття, кут нахилу та ширина по підшві яких регламентується типом рухомого складу кар'єрного транспорту, його габаритами, кількістю смуг руху в вантажному та порожняковому напрямках, проведенням допоміжних транспортних комунікацій для його обслуговування тощо. При цьому кут залягання родовища корисної копалини, потужність порід розкриття та відстань переміщення гірничої маси поверхнею поряд із її фізико-технічними характеристиками та встановленою продуктивністю кар'єру й витратами на придбання гірничотранспортного устаткування у процесі його експлуатації є основними для обґрунтування доцільних параметрів гірничотранспортної системи.

Якщо аналізувати умови розробки глибокозалягаючих покладів буровугільних родовищ над сольовими штоками, то розкриття й підготовка до експлуатації кар'єрного поля для них є актуальним складним завданням, від правильного вирішення якого суттєво залежать основні техніко-економічні показники кар'єру у процесі його експлуатації. У цьому зв'язку **метою роботи** є обґрунтування основних методичних положень з формування послідовності розкриття обводнених горизонтів глибоких буровугільних родовищ.

Викладення основного матеріалу. Досліди показують, що розкриття й підготовку буровугільних родовищ над сольовими штоками до експлуатації доцільно розглянути на прикладі Ново-Дмитрівського родовища, що розташоване в північно-західній частині Донбасу. Поклади родовища залягають на глибині до 360 м від денної поверхні. Розкриття його можливо проводити як у поперечному так і поздовжньому напрямках (рис. 1). При поперечному розкритті довжина фронту робіт на кожному із горизонтів змінюється від 2536 до 1260 м відповідно до зниження глибини кар'єру від 50 до 250 м. Для потужних роторних екскаваторів таке значення довжини фронту робіт недостатнє й не відповідає Нормам технологічного проектування. Крім того, висота кожного із уступів по 50 м для будівництва кар'єру з річною інтенсивністю по вийманню вугілля 9 млн т потребує експлуатації чотирьох екскаваторів типу СРС-6300, що не дозволяє повністю використовувати їх технічну продуктивність [2].

При поздовжньому напрямку розкриття уступів уздовж південно-західної границі кар'єрного поля довжина фронту для тих же глибин збільшується до 3460 – 2000 м. Це дозволяє більш продуктивно використовувати потужну виїмальну техніку в робочій зоні. При цьому з'являється можливість відпрацьовувати два уступи висотою по 50 м з навантаженням породи на один виїльний стрічковий конвеєр. На верхньому уступі порода від роторного екскаватора подається на стрічковий конвеєр через перевантажувач, на нижньому – через відвалоутворювач типу ОШР-10000/190 з верхнім навантаженням.

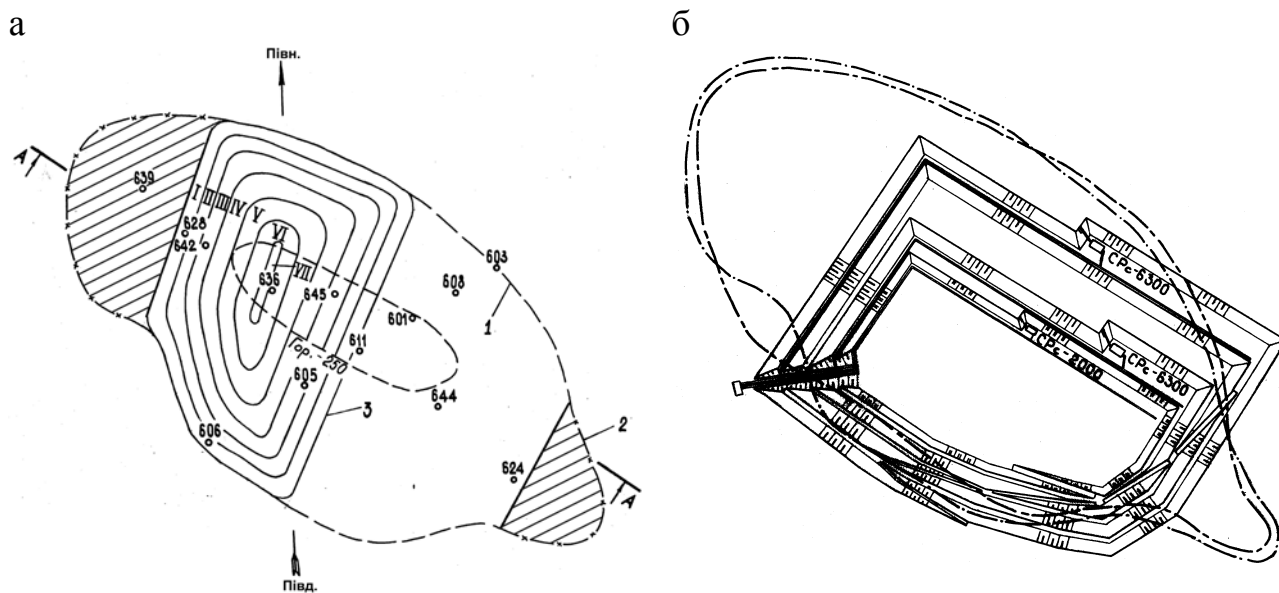


Рис. 1. План кар'єрного поля Ново-Дмитрівського родовища бурого вугілля: при поперечному (а) і поздовжньому напрямку розкриття (б): 1 – границя основної ділянки; 2 – перспективні границі кар'єру; 3 – контури проведення виробок розкриття при досягненні дна кар'єру; I – VII – робочі горизонти кар'єру

За пропозицією інституту УкрНДІпроект розкриття найбільш потужного Ново-Дмитрівського родовища запропоновано здійснити в південно-східній частині груповою траншеєю з переміщенням фронту гірничих робіт у південно-західному напрямку. При цьому траншеєю раціонально обладнати конвеєрним транспортом, розташувати в ній підйомний магістральний, на бермах – збірні, а на робочих площадках горизонтів – виїльні пересувні стрічкові конвеєри.

Слід відмітити, що жодна із запропонованих схем розкриття не враховує значного обводнення продуктивних горизонтів. У цьому зв'язку необхідне застосування нетрадиційних схем розкриття глибоких буровугільних родовищ із поєднанням процесів виїмання та одночасного осушення кар'єрного поля від підземних вод. Застосування засобів гідромеханізації при розкритті обводнених горизонтів дозволить вести підготовку кар'єру до експлуатації упродовж усієї глибини гірничих робіт проти 60 – 100 м – для автосамоскидів і 250 – 300 м – для залізничного транспорту.

Наведені вище схеми розкриття дозволили виділити наступні особливості експлуатації глибоких буровугільних кар'єрів України:

- значна кінцева глибина;
- поступове збільшення глибини гірничих робіт й кількості уступів, що розкриваються;
- мінливість обсягів вантажопотоків;
- необхідність переміщення гірничої маси за межі кар'єру;
- переважна наявність м'яких порід, що потрібно враховувати для забезпечення потрібної стійкості бортів;
- наявність суттєвого обводнення продуктивних горизонтів.

Такі родовища, як правило, розкриваються системою загальних або групових капітальних траншей внутрішнього або змішаного закладення. Параметри підготовки горизонту до експлуатації залежать від конструктивних особливостей виймально-навантажувального устаткування та виду кар'єрного транспорту

У загальному вигляді послідовність розкриття робочих горизонтів у кар'єрі виглядає наступним чином. Для проведення в'їзної й розрізної траншей на першому розкривному горизонті доцільно використовувати драглайн, наприклад, типу ЕШ-6/60 або зворотню лопату ЕГО-8 із навантаженням гірничої маси до автосамоскидів. Цими ж екскаваторами спочатку проходиться нагірна дренажна траншея (рис. 2), плануються площадки для монтажу стрічкових конвеєрів та роторних комплексів.

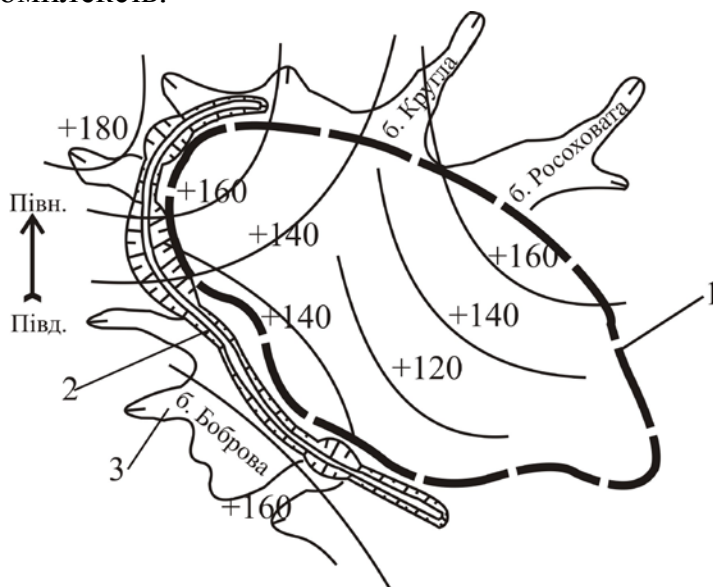


Рис. 2. Схема розташування водовідвідної траншеї на земній поверхні: 1 – контури кар'єрного поля; 2 – водовідвідна траншея; 3 – балки

Захист гірничих виробок від впливу зливових та талих вод здійснюється для запобігання затоплення виробленого простору кар'єру. Задля зниження їх обсягу прийнято рішення відгородити зону підпитки водоносних горизонтів шляхом проведення водовідвідної траншеї у напрямку із північного заходу на південний захід довжиною до 5 км, з якої самопливом буде проводитися відвід поверхневих вод за межі кар'єру.

Після підготовки початкових вибоїв поступово вводяться до експлуатації більш потужні драглайни типу ЕШ-20/90. Їх кількість залежить від обсягів виймання гірничої маси. При досягненні позначки глибини кар'єру –55 м та виявленні рівня підземних вод на дні нижньої із траншей встановлюється земснаряд, який поступово буде поглиблювати їх до проектної глибини й одночасно осушувати виробки розкриття. Надалі, після осушення вищележачих горизонтів, виконується рознос бортів кар'єру екскаваторами ЕШ-20/90 із навантаженням гірничої маси через бункер-перевантажувач до стрічкових конвеєрів. Розширення верхніх осушених горизонтів здійснюється потужними роторними комплексами СРС-6300 до встановлених границь кар'єрного поля.

Оскільки буровугільні родовища північно-західного Донбасу мають складні гідро- та гірничогеологічні умови розробки, для визначення критерію ефективності їх експлуатації слід встановити взаємозв'язок між факторами, що суттєво впливають на термін підготовки та порядок розкриття продуктивних горизонтів. Аналіз гідрогеологічної характеристики Ново-Дмитрівського родовища показав, що основним фактором, який відображає особливості розкриття глибоких буровугільних родовищ, є їх суттєва обводненість. Саме ця особливість передбачає розробку нетрадиційних способів осушення виробок розкриття під час поглиблення розрізної траншеї. Взаємозв'язок факторів і параметрів розкриття наведено на рис. 3.

Слід відмітити, що промислове значення на родовищі мають три вугільні горизонти. При досягненні підшви кожного із них можливо досягти певної виробничої потужності, при якій видобування бурого вугілля буде вважатись економічно вигідним. Вибір типу виймально-навантажувального устаткування та його нормативна продуктивність прямопропорційно впливають на швидкість осушення й темп поглиблення фронту гірничих робіт, що призводить до зменшення часу на розкриття й введення до експлуатації кожного із вугільних горизонтів.

Аналізуючи вищенаведені фактори, у якості основного критерію ефективності у дослідженнях прийнято мінімальний термін розкриття й підготовки до експлуатації обводнених горизонтів глибоких буровугільних родовищ із заданою виробничою потужністю. На підставі цього, для вибору осушувального устаткування необхідно виконати прогнозування притоків підземних вод при розкритті кожного із нижніх горизонтів.

Оскільки гірничо-будівельні роботи складаються з проведення капітальних і розрізних виробок, а також робіт із розносу уступів до меж, обумовлених контуром кар'єру на момент введення його в експлуатацію, сформульовані основні методичні положення, що дозволяють узагальнити послідовність формування системи виробок розкриття глибоких буровугільних родовищ. При цьому обсяг робіт з проведення капітальних і розрізних траншей, утворення робочих площадок і нормативних розкритих запасів корисної копалини, необхідне устаткування, послідовність і термін виконання цих робіт визначають розрахунками й фіксують у графіку будівництва кар'єру.



Рис. 3. Схема щодо визначення терміну ефективності розкриття родовища

Глибина й довжина розрізної траншеї, як правило, відповідають висоті й довжині підготовлюваного до розробки горизонту. Ширина основи розрізної траншеї визначається за умови нормального розташування на ній гірничого й

транспортного устаткування при вийманні порід у межах першої західки. Кут укосу її бортів у напрямку посування фронту робіт приймають рівним куту укосу робочих уступів відповідно до фізико-технічних характеристик розроблюваних порід. Якщо один із бортів розрізної траншеї є частиною неробочого борту кар'єру, то кут його укосу приймається рівним куту укосу неробочого уступу. Об'єм $V_{m.p}$ (м³) розрізної траншеї визначається за формулою

$$V_{m.p} = S_{m.p} \cdot l_{m.p}, \quad (1)$$

де $S_{m.p}$ – площа поперечного перерізу розрізної траншеї, м²; $l_{m.p}$ – довжина розрізної траншеї, м.

При розносі одного борту розрізної траншеї, що прийнятне для умов Ново-Дмитрівського родовища (траншея розташовується по одному із контурів кар'єру), площа її поперечного перерізу $S_{m.po}$ (м²) визначається за формулою

$$S_{m.po} = 0,5H \left[2b_{m.p} + H_{m.p} \left(\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \alpha_n \right) \right], \quad (2)$$

де $H_{m.p}$ – глибина розрізної траншеї, м; $b_{m.p}$ – ширина підшви розрізної траншеї, м; α_p, α_n – відповідно кут укосу робочого й неробочого бортів розрізної траншеї, град.

Слід відзначити, що конструктивні особливості схем проведення виробок розкриття передбачають подальше відпрацювання гірських порід у межах кар'єрного поля із застосуванням того ж самого устаткування, яке обумовлює використання оптимальної саме для нього технології й організації гірничотранспортних робіт. Оскільки фізико-технічні якості порід розкриву й корисних копалин та глибина їх відпрацювання доволі різноманітні, то визначення параметрів проведення виробок розкриття й подальшої розробки родовища слід вирішувати сумісно із обґрунтуванням доцільної у цілому системи гірничотранспортних робіт.

Так, для Ново-Дмитрівського родовища, розкриття кар'єрного поля та його підготовку доцільно вести тим же устаткуванням, що й у основний період експлуатації. При цьому для проведення нагірної канами та в'їзної траншеї слід використовувати драглайн ЕШ-6/60, що надалі буде застосовуватись для виконання допоміжних операцій у кар'єрі. Система вибійних стрічкових конвеєрів складається із трьох-чотирьох послідовно з'єднаних конвеєрних ставів.

У першу чергу доставляють і наладжують екскаватори ЕШ-6/60, ЕШ-20/90 №1 і №2, СРС-6300№1, а також відповідні їм конвеєри та відвалоутворювачі. Потім, для підвищення мобільності роботи комплексу СРС-6300№1 уводять у дію перевантажувач ПГ-5000/60 №1. Слід відмітити, що для поглиблення розрізної траншеї драглайнами ЕШ-20/90 №1 і №2 необхідно забезпечити посування фронту гірничих робіт при почерговому відпрацюванні відповідних західок. При досягненні позначок +65 – +5 м уводяться у дію два земснаряди та 2 гідромонітори, які збираються за час відпрацювання західок драглайнами на верхніх уступах. Загальний взаємозв'язок роботи гірничотранспортного устаткування у період будівництва кар'єру та почерговість їх уведення до експлуатації показані на рис. 4.

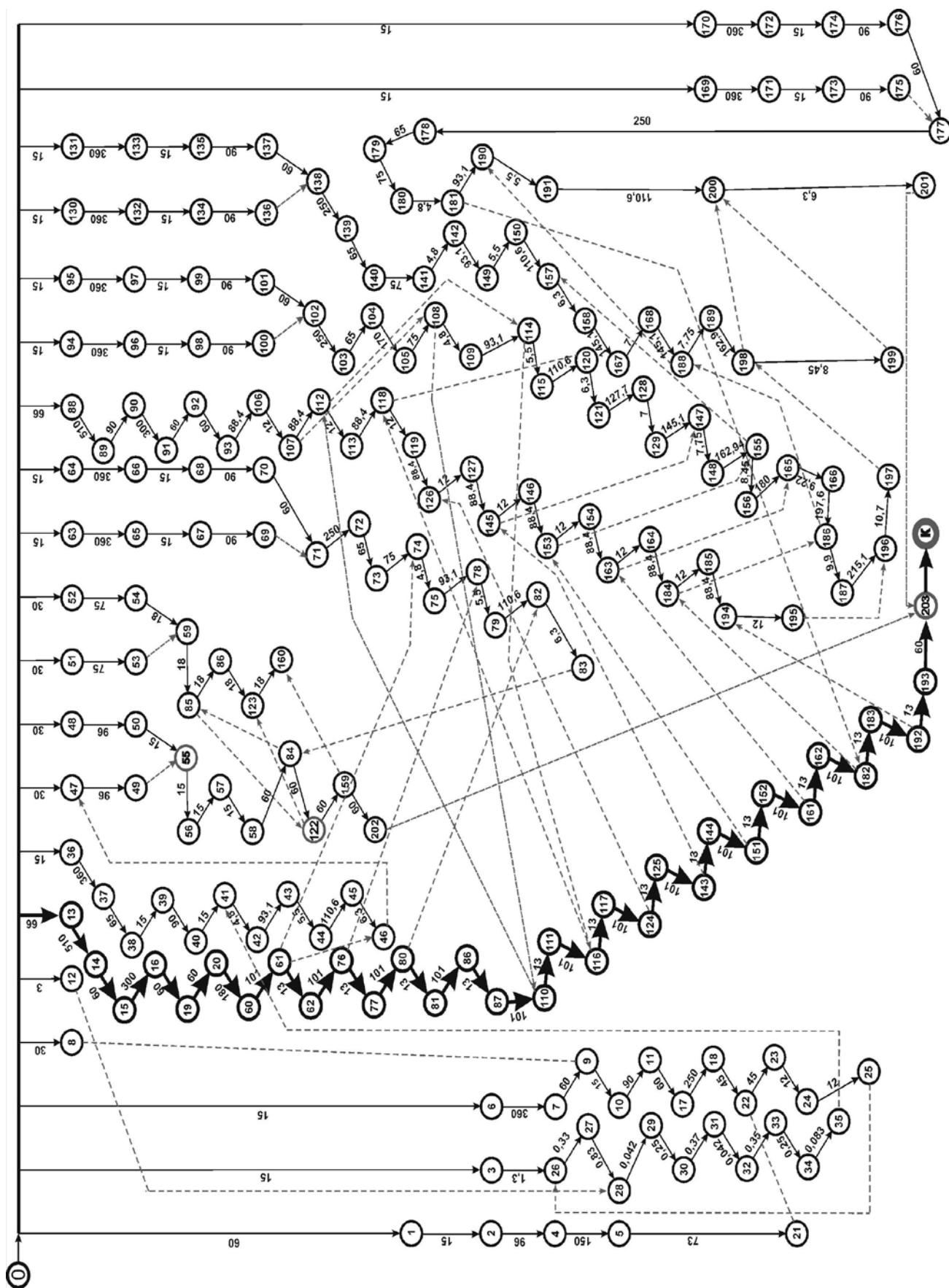


Рис. 4. Сітьовий графік розкриття Ново-Дмитрівського родовища бурого вугілля

Порядок розрахунку обсягів виймально-навантажувальних робіт виконувався згідно заданих параметрів зон розкриття обводненого родовища з урахуванням стійкості багатощарових уступів. Нормативна продуктивність устаткування прийнята згідно теоретичним розрахункам та корегуванням отриманих практичних досліджень роботи аналогічних екскаваторів в умовах діючих кар'єрів з м'якими породами розкриття. Тривалість монтажних робіт відповідає встановленим нормам.

При розкритті Складного й Основного вугільних горизонтів шляхом відпрацювання відповідних західок, порядок виконання гірничобудівних робіт аналогічний вищевказаному. Земснаряди разом з гідромоніторами ведуть поступове поглиблення розрізної траншеї до проектної глибини кар'єру, одночасно осушуючи кар'єрне поле від підземних вод. Загальна кількість задіяних у роботі драглайнів досягає 10 одиниць. При цьому у певний час виникає можливість утворення внутрішніх відвалів порід розкриття відвалоутворювачами, що працюють у комплексі із драглайнами та роторними екскаваторами.

Оскільки точний час початку робіт не встановлено, тривалість їх виконання представлена у відносному вигляді шляхом сумування тривалості окремих операцій на критичному шляху (див. рис.4). Резерв часу при цьому залежить від роботи, що виконується та досягає максимуму при ув'язуванні основних і допоміжних гірничобудівних операцій. Досягнення Верхнього, Складного та Основного вугільних горизонтів відповідає на графіку 55, 122 та 203 подіям, яким передують роботи із поглиблення траншеї земснарядами 500-60 МН №1 і №2 та заукіски уступів гідромоніторами КУГУ-350. Саме експлуатація цього устаткування лежить на критичному шляху й прямопропорційно впливає на зменшення часу розкриття кожного із буровугільних горизонтів.

Аналіз сітьового графіку будівництва Ново-Дмитрівського показує, що на критичному шляху також розташовані роботи з доставки роторного екскаватора СРС-6300№1, доставка і монтаж відвалоутворювача ОШР-1000/190№1, перевантажувача ПГ-5000/60№1, стрічкових конвеєрів для комплексу СРС-6300№1 та почергове відпрацювання західок на верхньому розкриттєвому горизонті довжиною 2400 м. При нормативній продуктивності роторного екскаватора СРС-6300 128,4 тис. м³/добу, час на відпрацювання західки становить 101 добу. Початковий загальний час робіт на критичному шляху склав біля 20 років, що не відповідає необхідному терміну розкриття та підготовки кар'єру до експлуатації. Тому для скорочення цього терміну запропоновано доставку й монтаж устаткування для роботи комплексу СРС-6300№1 проводити паралельно, а не послідовно, як у початковому варіанті. При цьому найбільш ефективним способом швидшого досягнення проектної глибини кар'єру буде ув'язування у часі відпрацювання відповідних західок роторними комплексами, потужними драглайнами та земснарядами. Комплекс таких паралельних дій призведе до поетапного освоєння виробничої потужності Ново-Дмитрівського родовища.

Висновки. На основі наведеного сформульовані основні методичні положення з формування раціональної системи розкриття обводнених горизонтів буровугільних родовищ:

– надходження підземних вод до виробок розкриття у надвеликих обсягах перешкоджає застосуванню їх розкриття традиційними способами, що призводить до невизначеності порядку формування раціональних зон розкриття буровугільного родовища до кінцевої глибини;

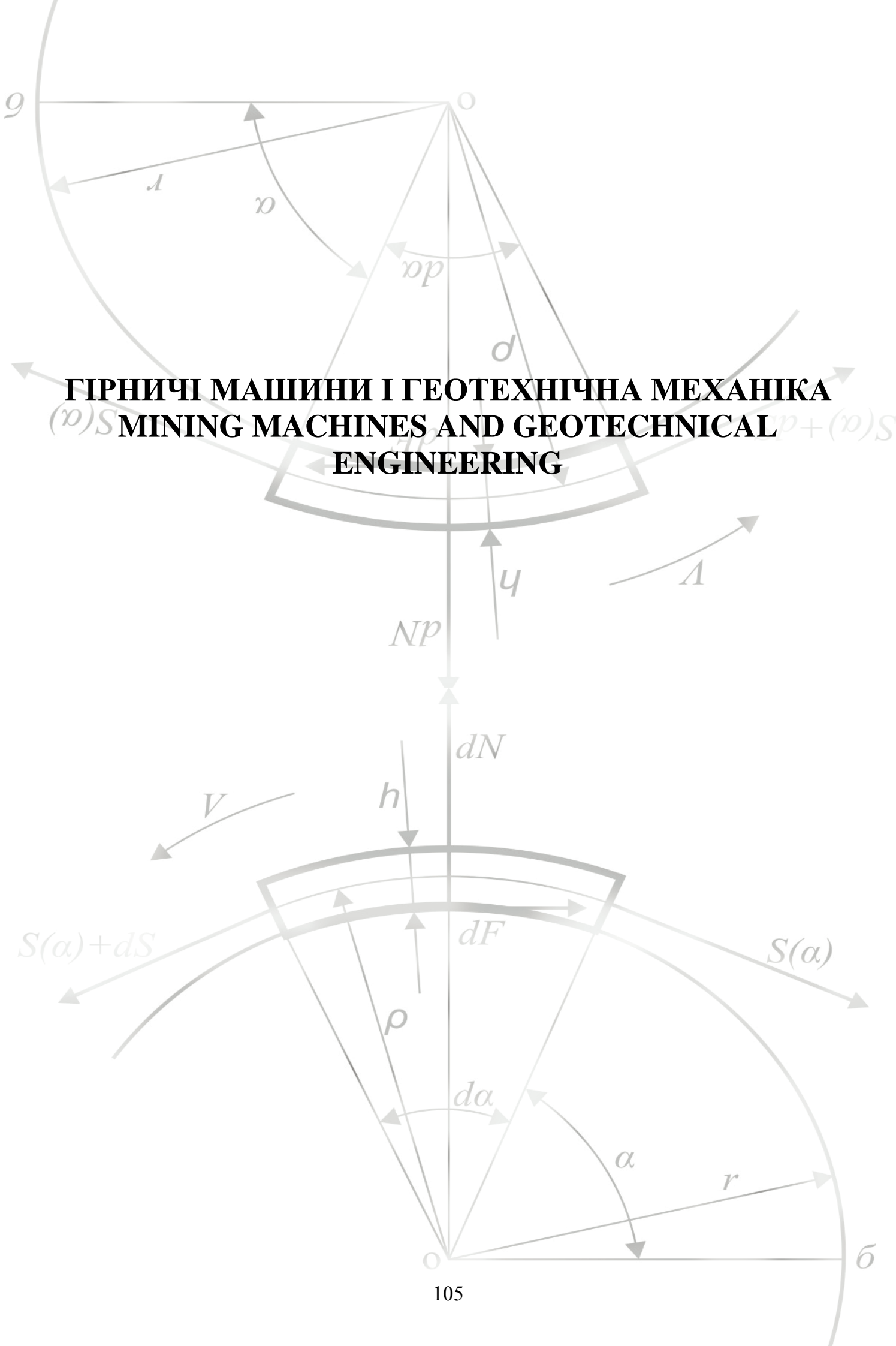
– інтенсивність розвитку депресійної воронки у межах границь розкриття є визначальною при встановленні стійких параметрів уступів й обумовлює вибір виймально-навантажувального і транспортного устаткування для забезпечення мінімального терміну розкриття обводнених горизонтів;

– збільшення обсягів виймання гірничої маси в умовах інтенсивного темпу поглиблення гірничих робіт при формування раціональної системи розкриття обводнених горизонтів досягається шляхом поєднання процесів осушення зони розкриття та посування її верхньої частини уступами підвищеної висоти.

Список літератури

1. Томаков П.И. Технология, механизация и организация открытых горных работ / П.И. Томаков, И.К. Наумов. – М.: МГИ, 1992. – 464 с.
2. Шустов А.А. Технологические схемы отработки мягких обводненных пород на мульдообразных буровугельных месторождениях / А.А. Шустов, А.Ю. Дриженко // Перспектива развития Прокопьевско-Киселевского угольного района как составная часть комплексного инновационного плана моногородов: междунар. науч.-практ. конф., 30 марта 2011 г.: тезисы докл. – Прокопьевск, 2011. – С. 217 – 219.
3. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д-ск.: НГУ, 2011. – 542 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.
Надійшла до редакції 11.12.2014*



ГІРНИЧІ МАШИНИ І ГЕОТЕХНІЧНА МЕХАНІКА
MINING MACHINES AND GEOTECHNICAL ENGINEERING

УДК 622.647.2

© Р.В. Кирия, Т.Ф. Мищенко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ОБЪЕМА ГРУЗА В АККУМУЛИРУЮЩЕМ БУНКЕРЕ, РАБОТАЮЩЕМ В РЕЖИМЕ ПОДДЕРЖАНИЯ В НЕМ ОБЪЕМА ГРУЗА В ЗАДАНЫХ ПРЕДЕЛАХ

В работе на основании математической модели функционирования аккумулярующего бункера в системе подземного конвейерного транспорта, работающего в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах, определен средний объем груза в бункере в зависимости от параметров поступающего и разгружаемого грузопотоков. Результаты теоретических исследований сравнивались с результатами имитационного моделирования.

В роботі на підставі математичної моделі функціонування акумулюючого бункера в системі підземного конвеєрного транспорту, що працює в режимі підтримки в ньому об'єму вантажу в заданих межах, визначено середній об'єм вантажу в бункері залежно від параметрів вантажопотоку, який поступає до бункера і розвантажується з нього. Результати теоретичних досліджень порівнювалися з результатами імітаційного моделювання.

In work on the basis of mathematical model of functioning of heat-sink bunker in the system of underground conveyer transport working in the mode of maintenance in him of volume of load in the set limits, the middle volume of load is certain in a bunker depending on the parameters of acting and off-loaded goods traffics. The results of theoretical researches were compared to the results of imitation design.

Для повышения пропускной способности системы подземного конвейерного транспорта на угольных шахтах широкое применение получили аккумулярующие бункеры. Они позволяют за счет накопления некоторого количества груза в бункере во время простоев конвейеров увеличить пропускную способность системы подземного конвейерного транспорта (временное резервирование) [1, 2].

Однако, несмотря на применение аккумулярующих бункеров, эффективность функционирования системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт невысокая. Это связано с большими потерями производительности системы конвейерного транспорта из-за переполнения бункеров, а также потерями электроэнергии из-за недогруженности конвейеров.

Одним из методов повышения эффективности работы системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт является управление аккумулярующими бункерами с помощью контроллеров. При этом в аккумулярующем бункере с помощью изменения скорости питателя поддерживается объем груза в бункере в заданных пределах, что позволяет не отключать надбункерную конвейерную линию из-за переполнения бункера (рис. 1) [3]. Причем величина пределов зависит от места расположения бункера в системе конвейерного транспорта.

На угольных шахтах разгрузка бункера осуществляется с помощью питателя (см. рис. 1). В этом случае производительность разгрузки бункера может регулироваться путем изменения скорости питателя или размером выпускного отверстия.

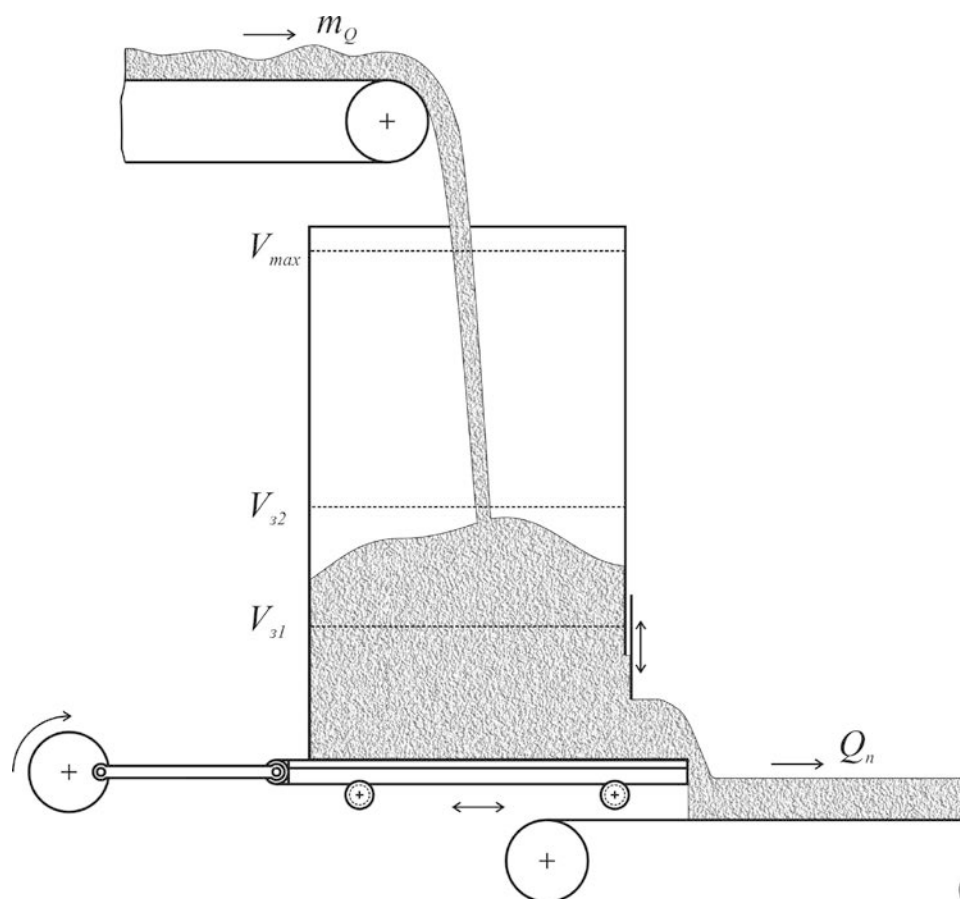


Рис. 1. Схема работы аккумулятора в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах

Однако в условиях угольных шахт из-за существенной неравномерности поступающего в бункер грузопотока и низкой надежности управляющего оборудования непрерывное поддержание в бункере объема груза в заданных пределах с помощью изменения скорости питателя или размера выпускного отверстия невозможно. Поэтому на практике поддержание в аккумулярующем бункере объема груза в заданных пределах осуществляется путем включения и выключения питателя вручную.

Для повышения эффективности управления поддержанием в аккумулярующем бункере объема груза в заданных пределах необходимо применение компьютерных технологий на основе контроллеров. Для этого на основе математической модели процесса функционирования аккумулярующего бункера в режиме поддержания объема груза в заданных пределах необходимо разработать алгоритм его оптимального управления.

Предположим, что поступающий в бункер и разгружаемый из него грузопотоки $Q_s(t)$ и $Q_p(t)$ представляют собой последовательности прямоугольных импульсов высотой, равной средней производительности загрузки и разгрузки грузопотока m_Q (т/мин) и Q_n (т/мин) соответственно, и интервалов времени работы t_1 , t_2 и простоя τ_1 , τ_2 конвейерного оборудования, распределенных по экспоненциальному закону (рис. 2).

Обозначим интенсивность потоков отказов и восстановлений надбункерной и подбункерной конвейерных линий через λ_1, μ_1 (1/мин) и λ_2, μ_2 (1/мин) соответственно.

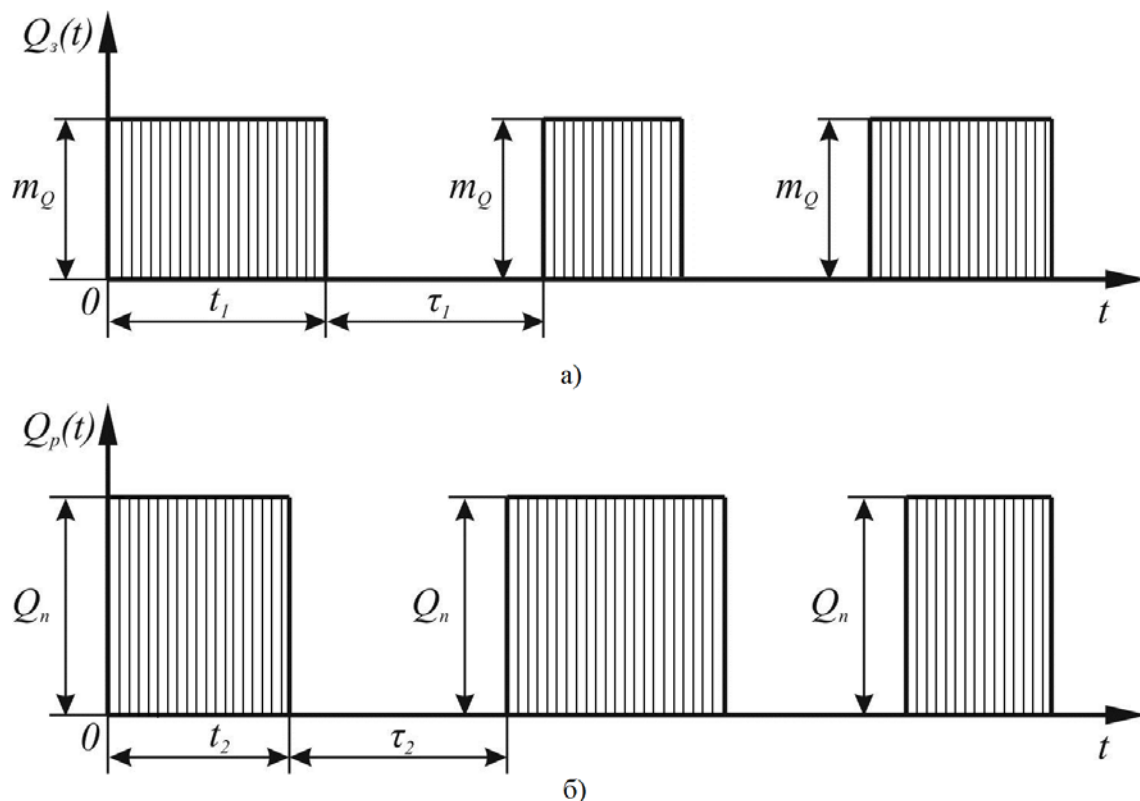


Рис. 2. Графики поступающего в аккумулирующий бункер грузопотока (а) и выходящего из аккумулирующего бункера грузопотока (б)

В режиме поддержания в бункере объема груза в заданных пределах надбункерная конвейерная линия работает постоянно. В случае достижения заданного минимального объема груза в бункер V_{31} (м^3) питатель отключается и подбункерная конвейерная линия останавливается. Работает только надбункерная конвейерная линия. При достижении заданного максимального объема груза в бункере V_{32} (м^3) питатель снова включается и происходит разгрузка бункера до объема V_{31} . При этом надбункерная конвейерная линия выключается только в случае аварийного переполнения бункера.

Для предотвращения постоянного переполнения аккумулирующего бункера производительность питателя Q_n должна быть больше средней производительности поступающего грузопотока m_Q ($Q_n > m_Q$).

Определим средний объем груза V_c в бункере.

В случае, если аккумулирующий бункер работает в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах, процесс функционирования бункера представляет собой кусочно-марковский процесс, состоящий из загрузки при неработающем питателе ($Q_n = 0$) и разгрузки бункера при работающем питателе ($Q_n > 0$) (рис. 3). При этом, если предположить, что объем груза в бункере $V(t)$

является эргодическим случайным процессом, то средний объем груза в бункере можно определить из выражения [4]

$$V_c = M[V(t)] = M \left[\frac{1}{\xi_c} \int_0^{\xi_3} V_3(t) dt + \frac{1}{\xi_c} \int_0^{\xi_p} V_p(t) dt \right], \quad (1)$$

где $V(t) = V_3(t) + V_p(t)$; $V_3(t)$ – текущий объем груза в бункере в момент загрузки, м³; $V_p(t)$ – текущий объем груза в бункере в момент разгрузки, м³; ξ_c – время цикла загрузки и разгрузки бункера, с; ξ_3 , ξ_p – время загрузки и разгрузки бункера соответственно, с (см. рис. 3).

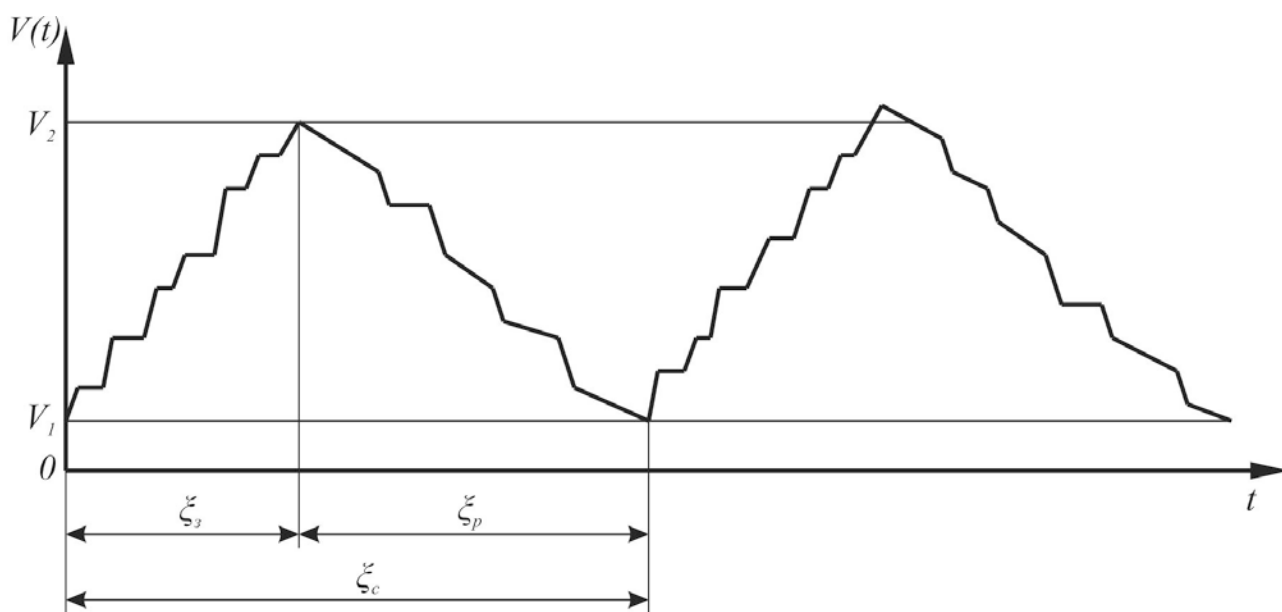


Рис. 3. Реализация случайного процесса объема груза в бункере в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах

При этом ξ_c , ξ_3 , ξ_p являются случайными величинами, удовлетворяющими условию

$$\xi_c = \xi_3 + \xi_p. \quad (2)$$

Из последнего равенства следует [7]

$$M[\xi_c] = M[\xi_3] + M[\xi_p]$$

или

$$t_c = t_3 + t_p, \quad (3)$$

где t_c – среднее время цикла загрузки и разгрузки бункера, с; t_3 , t_p – среднее время загрузки и разгрузки бункера соответственно, с.

Математические ожидания объемов груза в бункере $V_3(t)$ и $V_p(t)$ можно определить по формулам:

$$M[V_3(t)] = V_{31} + \frac{\bar{m}Q}{\gamma} \cdot t, \text{ если } 0 < t < \xi_3;$$

$$M[V_p(t)] = V_{32} + \frac{(\bar{m}_Q - \bar{Q}_n)}{\gamma} \cdot t, \text{ если } \xi_3 < t < \xi_p. \quad (4)$$

Согласно [4] математическое ожидание случайной величины $Y(t)$, являющейся интегралом случайной величины $V(t)$ с математическим ожиданием, линейно зависящим от времени, и случайным верхним пределом $\xi(t)$, можно определить по формуле

$$M[Y(t)] = M \left[\int_0^{\xi(t)} V(t) dt \right] = am_{\xi} + \frac{b}{2} (m_{\xi}^2 + \sigma_{\xi}^2), \quad (5)$$

где $M[V(t)] = a + bt$; $m_{\xi} = M[\xi(t)]$; $\sigma_{\xi}^2 = D[\xi(t)]$.

Используя соотношение (5), с учетом (4), равенство (1) после преобразования примет вид:

$$V_c = \frac{V_{31}t_3 + V_{32}t_p}{t_c} + \frac{\bar{m}_Q(t_3^2 + \sigma_3^2) - (\bar{Q}_n - \bar{m}_Q)(t_p^2 + \sigma_p^2)}{2\gamma t_c}, \quad (6)$$

где σ_3, σ_p – средние квадратичные отклонения времени загрузки ξ_3 и разгрузки ξ_p бункера, с.

Предположим, что объем груза в бункере намного больше одного кубического метра, т.е. $V_{32} - V_{31} \gg 1 \text{ м}^3$. Тогда $\sigma_3 \ll t_3$. Пренебрегая σ_3 в равенстве (6), получим

$$V_c = \frac{V_{31}t_3 + V_{32}(t_p + \sigma_p)}{t_c} + \frac{\bar{m}_Q t_3^2 - (\bar{Q}_n - \bar{m}_Q)(t_p^2 + \sigma_p^2)}{2\gamma t_c}. \quad (7)$$

Для определения среднего времени загрузки t_3 и разгрузки бункера t_p , аналогично уравнениям Ховарда [5, 6], составим уравнения относительно средних времен достижения заданного количества груза в бункере θ_i при различных начальных состояниях надбункерной и подбункерной конвейерных линий.

В результате получим

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\theta_1}{dm} = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\theta_1 + \lambda_1\theta_2 + \lambda_2\theta_3, \\ q'_2 \frac{d\theta_2}{dm} = 1 + \mu_1\theta_1 - (\lambda_2 + \mu_1)\theta_2 + \lambda_2\theta_4, \\ q'_3 \frac{d\theta_3}{dm} = 1 + \mu_2\theta_2 - (\lambda_1 + \mu_2)\theta_3 + \lambda_1\theta_4, \\ q'_4 \frac{d\theta_4}{dm} = 1 + \mu_2\theta_2 + \mu_2\theta_3 - (\mu_1 + \mu_2)\theta_4, \end{cases} \quad (8)$$

где $q'_1 = m_Q - Q_n$; $q'_2 = -Q_n$; $q'_3 = m_Q$; $q'_4 = 0$; $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ – средние времена заполнения заданного количества груза в бункер, соответствующие в начальный момент времени первому, второму, третьему и четвертому состояниям

надбункерной и подбункерной конвейерных линий; m – текущее значение количества груза в бункере.

Первому состоянию соответствует состояние, при котором надбункерная и подбункерная конвейерные линии работают одновременно. Второму состоянию соответствует простой надбункерной конвейерной линии и работа подбункерной конвейерной линии. Третьему состоянию соответствует работа надбункерной конвейерной линии и простой подбункерной конвейерной линии. Четвертому состоянию соответствует одновременный простой надбункерной и подбункерной конвейерных линий.

При этом начальные условия принимают вид: при $m = 0$ $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = 0$.

Если одновременный простой надбункерной и подбункерной конвейерных линий является маловероятным событием, то система уравнений (8) примет вид:

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\theta_1}{dm} = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\theta_1 + \lambda_1\theta_2 + \lambda_2\theta_3, \\ q'_2 \frac{d\theta_2}{dm} = 1 + \mu_1\theta_1 - \mu_1\theta_2, \\ q'_3 \frac{d\theta_3}{dm} = 1 + \mu_2\theta_1 - \mu_2\theta_3, \end{cases} \quad (9)$$

где $q'_1 = m_Q - Q_n$; $q'_2 = -Q_n$; $q'_3 = m_Q$.

При этом начальные условия имеют вид: при $m = 0$ $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0$.

Определим среднее время загрузки бункера t_3 при неработающем питателе. В этом случае $\lambda_2 = 0$, а уравнение (8) примет вид:

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\theta_1}{dm} = 1 - \lambda_1\theta_1 + \lambda_1\theta_2, \\ q'_2 \frac{d\theta_2}{dm} = 1 + \mu_1\theta_1 - \mu_1\theta_2, \end{cases} \quad (10)$$

где $q'_1 = m_Q$; $q'_2 = 0$; θ_1 – среднее время, за которое количество груза в бункере увеличится на m при условии, что в начальный момент времени надбункерная конвейерная линия работает; θ_2 – среднее время, за которое количество груза в бункере увеличится на m при условии, что в начальный момент времени надбункерная конвейерная линия не работает.

При этом начальные условия имеют вид: при $m = 0$ $\theta_1 = \theta_2 = 0$.

Решая систему уравнений (10), получим:

$$\theta_1 = \frac{m}{m_Q}; \quad \theta_2 = \frac{m}{m_Q} + \frac{1}{\mu_1}. \quad (11)$$

Полагая в последнем равенстве $m = \gamma(V_{32} - V_{31})$, в результате имеем

$$\theta_1 = \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{m_Q}; \quad \theta_2 = \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{m_Q} + \frac{1}{\mu_1}. \quad (12)$$

Среднее время загрузки бункера t_3 , т.е. среднее время, в течение которого объем груза в бункере уменьшится от V_{32} до V_{31} при произвольном начальном состоянии надбункерной конвейерной линии, определим по формуле

$$t_3 = P'_1\theta_1 + P'_2\theta_2, \quad (13)$$

где P'_1, P'_2 – вероятность работы и простоя надбункерной конвейерной линии соответственно.

В случае стационарного процесса, т.е. при $t \rightarrow \infty$, P_1, P_2 определяются по формулам

$$P'_1 = \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1}; \quad P'_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1}. \quad (14)$$

Подставляя (12) и (14) в (13), после преобразования получим:

$$t_3 = \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{\bar{m}_Q} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1}. \quad (15)$$

Для определения времени разгрузки бункера t_p , т.е. когда включен питатель, необходимо решить уравнения (8).

Однако получение аналитического решения уравнений (8) и (9) связано с большими математическими трудностями. Поэтому сначала получим аналитические решения уравнений (8) для частной задачи при непрерывной работе подбункерной конвейерной линии, т.е. при $\lambda_2 = 0$. А затем, используя это решение, получим приближенное решение системы уравнений (8) при $\lambda_2 \neq 0$.

Предположим, что в момент, когда объем груза в бункере достигает V_{32} , включают питатель и подбункерная конвейерная линия непрерывно работает, т.е. $\lambda_2 = 0$. Тогда система уравнений (8) примет вид:

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\theta'_1}{dm} = 1 - \lambda_1\theta'_1 + \lambda_1\theta'_2, \\ q'_2 \frac{d\theta'_2}{dm} = 1 + \mu_1\theta'_1 - \mu_1\theta'_2, \end{cases} \quad (16)$$

где $q'_1 = m_Q - Q_n$; $q'_2 = -Q_n$.

Здесь θ'_1, θ'_2 – среднее время, за которое количество груза в бункере уменьшается на m (т) при условии, что в начальный момент надбункерная конвейерная линия работает и не работает соответственно. Решая систему уравнений (16) при начальных условиях $m = 0$, $\theta'_1 = \theta'_2 = 0$ и полагая $m = \gamma(V_{32} - V_{31})$, в результате получим:

$$\theta'_1 = \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{(Q_n - \bar{m}_Q)} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} \cdot \frac{Q_n m_Q}{(Q_n - \bar{m}_Q)^2} \times \left[1 - e^{-\frac{\gamma(V_{32} - V_{31})(\lambda_1 + \mu_1)(Q_n - \bar{m}_Q)}{(Q_n - m_Q)Q_n}} \right]; \quad (17)$$

$$\theta'_2 = \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{(Q_n - \bar{m}_Q)} - \frac{\mu_1}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} \cdot \frac{m_Q(Q_n - m_Q)}{(Q_n - \bar{m}_Q)^2} \times \left[1 - e^{-\frac{\gamma(V_{32} - V_{31})(\lambda_1 + \mu_1)(Q_n - \bar{m}_Q)}{(Q_n - m_Q)Q_n}} \right]. \quad (18)$$

Если разгрузка из бункера осуществляется непрерывно ($\lambda_2 = 0$), т.е. без остановок подбункерной конвейерной линии, то время разгрузки бункера будет меньше, чем в случае остановок подбункерной конвейерной линии ($\lambda_2 \neq 0$). Если объем груза в бункере V_{32} увеличить на объем среднего количества груза, не пропущенного подбункерной конвейерной линией за время ее простоя t_n в течение времени t_p , то время разгрузки бункера объемом V'_{32} при непрерывно работающей подбункерной конвейерной линии ($\lambda_2 = 0$) приблизительно совпадает со средним временем t_p разгрузки бункера объемом V_{32} , но с остановками подбункерной конвейерной линии ($\lambda_2 \neq 0$).

Следовательно, если в равенство (17) вместо θ'_1 подставить t_p , а вместо V_{32} подставить V'_{32} , определенное из выражения

$$V'_{32} = V_{32} + t_n \frac{Q_n}{\gamma}, \quad (19)$$

где $t_n = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} t_p$ – среднее время простоя подбункерной конвейерной линии

в течение времени t_p ,

то получим уравнение относительно t_p :

$$t_p = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \cdot \frac{Q_n}{(Q_n - \bar{m}_Q)} t_p + \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{(Q_n - \bar{m}_Q)^2} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} \cdot \frac{Q_n m_Q}{(Q_n - \bar{m}_Q)^2} \times \left[1 - e^{-\frac{\gamma(V'_{32} - V_{31})(\lambda_1 + \mu_1)(Q_n - \bar{m}_Q)}{(Q_n - m_Q)Q_n}} \right], \quad (20)$$

где $V'_{32} = V_{32} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_n}{\gamma} t_p$.

Последнее уравнение решается методом последовательных приближений. При этом за нулевое приближение принимается значение θ'_1 из (17), т.е. $t_p = \theta'_1$.

Предположим, что разность $V'_{32} - V_{31}$ – большая величина, тогда из равенства (20), пренебрегая экспонентой в квадратных скобках и определяя среднее время загрузки t_p , после преобразования получим:

$$t_p = \frac{\gamma(V_{32} - V_{31})}{Q_n - \bar{m}_Q} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{Q_n \bar{m}_Q}{(Q_n - \bar{m}_Q)(Q_n - \bar{m}_Q)}. \quad (21)$$

Подставляя в (7) $\sigma_p = 0$, t_3 и t_p , определенные соответственно по формулам (15) и (21), а вместо V_{32} значение V'_{32} , определенное по формуле (19), получим

средний объем груза в бункере V_c в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах:

$$V_c = \frac{V_{31}t_3 + V'_{32}t_p}{t_3 + t_p} + \frac{\bar{m}_Q t_3^2 - (Q_n - \bar{m}_Q)t_p^2}{2\gamma(t_3 + t_p)}, \quad (22)$$

где $V'_{32} = V_{32} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_n}{\gamma} t_p$.

Подставляя V'_{32} в (22), с учетом (3), после преобразования получим

$$V_c = \frac{V_{31}t_3 + V_{32}t_p}{t_c} + \frac{\bar{m}_Q t_3^2 - (Q_n - \bar{m}_Q)t_p^2}{2\gamma t_c} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \cdot \frac{Q_n}{\gamma} \cdot \frac{t_p^2}{t_c}. \quad (23)$$

На основании полученной математической модели функционирования аккумулирующего бункера в случае одной и двух скоростей питателя исследованы зависимости среднего объема груза аккумулирующего бункера от производительности питателей и параметров потока отказов надбункерной конвейерной линии.

На рис. 4 показаны графики зависимости среднего объема груза в бункере от производительности питателя Q_n при различных значениях интенсивности потока отказов надбункерной конвейерной линии $\lambda_1 = 0,025; 0,05; 0,1 \text{ мин}^{-1}$. При этом исходные данные принимали значения: $m_Q = 3,7 \text{ т/ч}$; $V_{31} = 4 \text{ м}^3$; $V_{32} = 100 \text{ м}^3$; $\mu_1 = 0,06139 \text{ мин}^{-1}$; $\lambda_2 = 0,017 \text{ мин}^{-1}$; $\mu_2 = 0,069 \text{ мин}^{-1}$.

Там же показаны результаты имитационного моделирования.

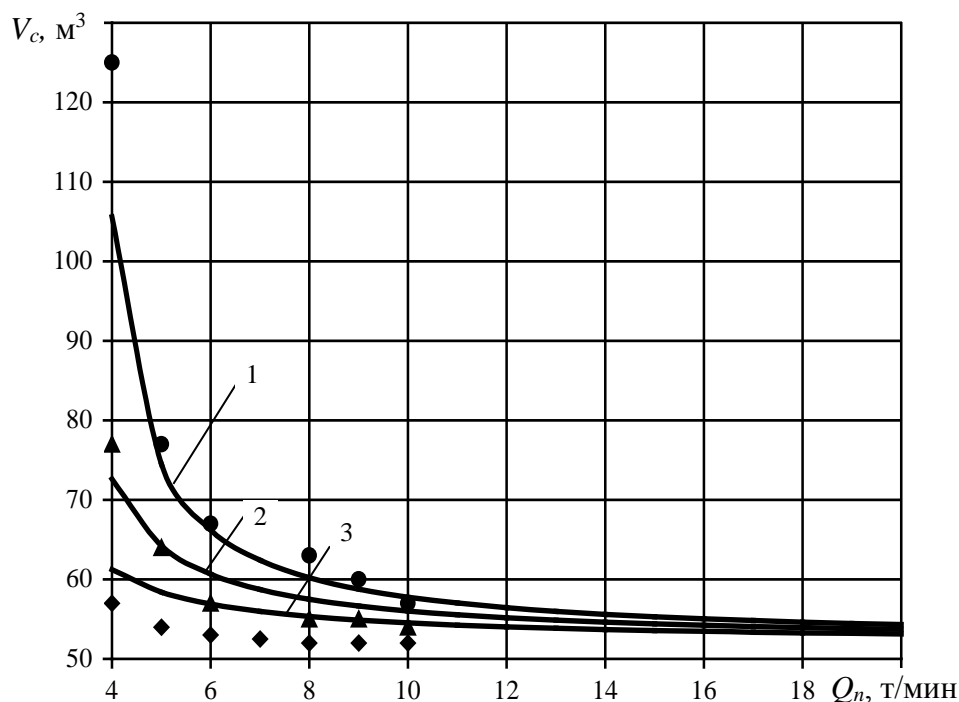


Рис. 4. График зависимости V_c от Q_n при различных значениях λ_1 : теоретические кривые: 1 – $\lambda_1 = 0,025 \text{ мин}^{-1}$; 2 – $\lambda_1 = 0,05 \text{ мин}^{-1}$; 3 – $\lambda_1 = 0,1 \text{ мин}^{-1}$; результаты имитационного моделирования:

• – $\lambda_1 = 0,025 \text{ мин}^{-1}$; ▲ – $\lambda_1 = 0,05 \text{ мин}^{-1}$; ◆ – $\lambda_1 = 0,1 \text{ мин}^{-1}$

Из рис. 4 видно, что при увеличении производительности питателя Q_n средний объем груза в аккумулярующем бункере V_c уменьшается и при $Q_n \rightarrow \infty$ средний объем груза в бункере $V_c \rightarrow \frac{V_{31} + V_{32}}{2} = 52 \text{ м}^3$. Кроме того, при увеличении интенсивности отказов надбункерной конвейерной линии λ_1 средний объем V_c уменьшается.

В результате исследований установлено, что при функционировании аккумулярующего бункера, работающего в системе конвейерного транспорта, с увеличением производительности питателя средний объем груза в бункере уменьшается и при больших значениях Q_n стремится к полусумме максимального и минимального заданных объемов груза в бункере.

Кроме того, для этих случаев при увеличении параметра потока отказов надбункерной конвейерной линии λ_1 средний объем груза в бункере V_c уменьшается.

Полученные результаты исследований с достаточной точностью совпадают с результатами имитационного моделирования.

Список литературы

1. Черкесов Г. Н. Надежность технических систем с временной избыточностью / Г. Н. Черкесов. – М.: Советское радио, 1974. – 296 с.
2. Системы подземного транспорта на угольных шахтах / В. А. Пономаренко, Е. Л. Креймер, Г. А. Дунаев [и др.]. – М.: Недра, 1975. – 309 с.
3. Кирия Р. В. Управление бункерами, работающими в системах конвейерного транспорта угольных шахт / Р. В. Кирия, В. Ю. Максютенко, Д. Д. Брагинец // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. – № 37. – С. 230–236.
4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: КНОРУС, 2010. – 480 с.
5. Ховард Р. А. Динамическое программирование и марковские процессы / Р. А. Ховард. – М.: Советское радио, 1964. – 192 с.
6. Кирия Р. В. Математическая модель функционирования аккумулярующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. – № 15. – С. 85–96.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширінім Л.Н.
Надійшла до редакції 10.11.2014*

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Приведено обоснование метода расчета тяговой способности ленточного конвейера на основе нового решения классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку.

Приведено обґрунтування методу розрахунку тягової спроможності стрічкового конвейера на основі нового розв'язання класичної задачі Ейлера про ковзання гнучкого тіла по нерухомому блоці.

The substantiation of the method of calculation of the traction capacity of belt conveyor based on the new solution of the problem of the classical Euler flexible body sliding on the fixed block.

В настоящее время для транспортирования основных грузов на горных предприятиях широкое применение нашли ленточные конвейеры. Эффективная эксплуатация ленточных конвейеров в условиях энергетического кризиса, невозможна без обоснования режимов эксплуатации, а именно усилия предварительного натяжения конвейерной ленты, влияющего на их тяговую способность. Рациональные режимы эксплуатации конвейеров способствуют экономии электроэнергии, повышению ресурса работы конвейерной ленты и тяговых двигателей, уменьшению себестоимости, повышению производительности и безопасности транспортирования.

Определение тяговой способности ленточных конвейеров при проектировании и эксплуатации в настоящее время осуществляется в соответствии с действующим законом трения гибких тел (уравнением трения гибких тел), основанном на выводах Леонарда Эйлера (уравнение Эйлера) [1,2].

Рассмотрим расчетную схему рис. 1.:

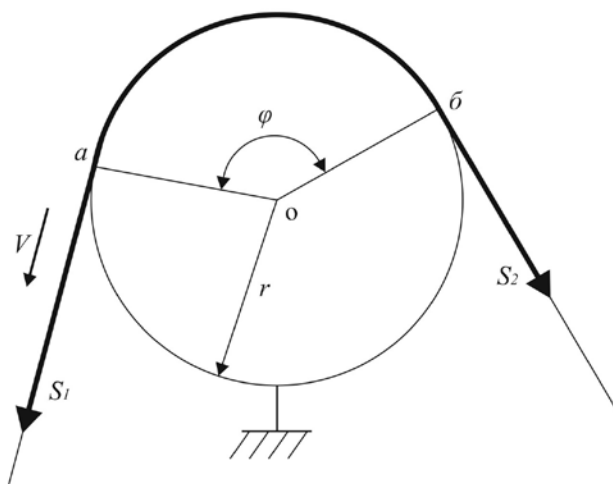


Рис. 1. Расчетная схема: S_1 , S_2 – большая и меньшая силы натяжения гибкого тела, приложенные к концам гибкого тела; r – радиус блока; φ – угол обхвата блока гибким телом.

В соответствии с выводом Эйлера идеальная нить, охватывающая неподвижный блок, под действием приложенных к ее концам сил S_1 и S_2 скользит по неподвижному блоку в направлении большей силы, превышающей другую силу на величину суммарной силы трения, которая возникает между нитью и неподвижным блоком, а отношение большей силы к меньшей описывается уравнением:

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{f \cdot \varphi},$$

где f – коэффициент трения скольжения между гибким телом и блоком.

Уравнение Эйлера до настоящего времени используется во всем мире в научных исследованиях, образовании и машиностроении, а сам вывод уравнения исследователями, преподавателями и студентами рассматривается, как показательный классический пример решения задач механики аналитическими методами, основателем которых является Эйлер [3].

Определение тяговой способности конвейеров проводят со значительным запасом [1,2]. Коэффициент запаса тяговой способности k_T , равняется отношению расчетного тягового усилия $F_{н-с}$ к его действительному значению F_0 :

$$\frac{F_{н-с}}{F_0} = k_T$$

где $F_{н-с}$ – расчетное тяговое усилие при скольжении; F_0 – действительное тяговое усилие при сцеплении; k_T – коэффициент запаса тяговой способности.

Для ленточных конвейеров расчетный запас тяговой способности составляет 40% ($k_T = 1,4$), а для шахтных подъемных машин запас от проскальзывания гибкого тела и шкива или барабана трения еще больше – 230% ($k_T = 2,3$) [1,2]. Вместе с тем, известно, что предельная сила трения сцепления между твердыми телами больше силы трения скольжения, т.к. коэффициент трения покоя всегда больше коэффициента трения скольжения, рис. 2:



Рис. 2. Значение силы трения в зависимости от относительного смещения трущихся тел при сдвиге (сцеплении), переходящем в скольжение.

Поэтому действительный расчетный запас тяговой способности ленточного конвейера будет еще больше 40%.

Тяговое усилие ленточных конвейеров реализуется трением конвейерной ленты о барабан приводной станции за счет ее прижатия под действием усилий натяжения [1,4]. При скольжении гибкого тела по блоку тяговое усилие определяется в соответствии с уравнением Эйлера следующим образом:

$$F_{н-с} = S_1 - S_2 = S_2 \cdot e^{f \cdot \varphi} - S_2 = S_2 \cdot (e^{f \cdot \varphi} - 1).$$

Поэтому, расчет тяговой способности конвейеров осуществляется по минимальному натяжению в сбегавшей с барабана ветви конвейерной ленты S_{2min} , выбранному с запасом в соответствии с действующим законом трения гибких тел [1,2]:

$$S_{2min} = \frac{F_0 k_T}{(e^{f \cdot \varphi} - 1)}$$

где S_{2min} – минимальные усилия натяжения конвейерной ленты в точке сбегания.

При этом не учитывается натяжение конвейерной ленты в точке набега на барабан, от которой в совокупности с натяжением ленты в точке сбегания с барабана, как известно, зависит нормальная реакция между парой трения, что сказывается на тяговом усилии ленточного конвейера.

Не учитываются также центробежные силы конвейерной ленты, которые уменьшают тяговое усилие конвейеров. Например, для максимальной скорости движения ленты карьерных конвейеров, достигающей 8 м/с, линейной массы резинотросовой ленты типа РТР-4000 шириной 1,6 м, равной 89,6 кг/м, и угла обхвата лентой барабанов приводной станции - 420° центробежная сила составляет:

$$C = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{q \cdot r \cdot \varphi \cdot v^2}{r} = 89,6 \cdot 7,33 \cdot 8^2 = 42033 \text{ Н}$$

где C – центробежная сила; m - масса ленты, контактирующая с барабанами приводной станции; v - скорость движения ленты; r – радиус барабанов; q - линейная масса ленты.

Следовательно, уменьшение нормальной реакции между лентой конвейера и барабанами приводной станции в этом случае равно центробежной силе и составляет 42033 Н, что значительно уменьшает реализуемое тяговое усилие приводной станции конвейера. Для указанной выше ленты предельной ширины карьерных конвейеров, достигающей 3 м, ее центробежная сила составляет 78812 Н.

Вместе с тем, известно, что уравнение Эйлера значительно отличается от данных практики [4]. Некоторые исследователи, например, считают, что имеет место следующее некогерентное соотношение между параметрами трения гибкого тела:

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{k \cdot f \cdot \varphi}$$

где k – эмпирический коэффициент (равняется 0,5 в соответствии с исследованиями М. Т. Уразбаева, а по исследованиям А.В. Андреева - 0,7).

В настоящее время принято считать, что мнимый коэффициент трения между барабаном и конвейерной лентой, вычисленный косвенно в соответствии с уравнением Эйлера, до 30 % выше действительного, установленного на плоскости прямым методом [4].

Кроме того, уравнение Эйлера не преобразуется к виду, включающему общепризнанные факторы трения тел: нормальную реакцию между гибким телом и блоком и молекулярную составляющую силы трения между телами, а также не подтверждает их традиционную линейную связь с силой трения.

Следовательно, возникает сомнение относительно правильности тяговых расчетов ленточных конвейеров.

Вопросом решения задачи о скольжении гибкого тела по блоку занимались многие исследователи в течение столетий, в том числе сотрудники НГУ, Национального университета и Института геотехнической механики: К.С. Поляков, В.И. Моссаковский, И.Г. Штокман, Н.Я. Биличенко, В.П. Франчук, В.П. Смирнов, Р.В. Кирия.

Несмотря на указанное и многочисленные работы выдающихся ученых М. Кретца, М. Т. Уразбаева, Гростофа, М.К. Демьянова, Н.П. Петрова, Н.Е. Жуковского, О. Кеммерера, А. Фебера, А. Фридериха, Е.А. Иванова, В.А. Добровольского, Е.М. Гутьяра, Хамеля, М.В. Цепляева, В.С. Полякова, Е.Г. Глухарева, И.Г. Штокмана, П.М. Огибалова, А.Л. Рабиновича, М.Н. Федотова, Б.Л. Давыдова, Чжу-Ши-юй, Г.М. Бартенева, В.И. Чуканова, А.В. Андреева, Л.И. Колчина, В.И. Моссаковского, А.Ю. Ишлинского и многих др. в области уточнения, взятого ими за основу вывода Эйлера в задаче о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку, его решение по-прежнему считалось самым совершенным и убедительным [4]. При этом правильность уравнения Эйлера для идеального гибкого тела (идеальной нити) не подвергалась сомнению.

Однако, вывод Эйлера для идеального гибкого тела на сегодняшний день не является правильным. Поскольку он не отвечает представлениям о трении твердых тел Кулона и современной редакции закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе, открытых после выводов Эйлера и господствующих в настоящее время. Закон трения тел Кулона был открыт в 1779 г., а современная редакция закона сохранения механической энергии сформулирована в 40 годах 19 века. Не учитываются также и влияние центробежных сил гибкого тела.

Поэтому, уточнения, полученные многими исследователями на протяжении столетий, принявших за основу вывод Эйлера, и, собственно, его гениальный вывод не отвечают указанным представлениям о трении тел и сохранении механической энергии гибких тел [5]. В частности, Эйлер просто не знал, что в

природе действует принцип сохранения механической энергии, включающий не только кинетическую энергию гибкого тела, но и потенциальную.

Все это укрепляет наше сомнение относительно правильности действующего уравнения трения гибких тел и достоверности тяговых расчетов транспортных машин с гибким тяговым органом, основанных на решении Эйлера в задаче о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку, ставшей классической, [5].

Вместе с тем, в 2007 г. в рамках консервативной механической системы предложен новый вывод результатов решения классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку. Указанное решение учитывает изменившиеся после выводов Эйлера представления о трении твердых тел и современную редакцию закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе [5]. Новое уравнения трения гибких тел опосредованно содержит общепризнанные факторы трения тел: нормальную реакцию между гибким телом и блоком и молекулярную составляющую силы трения между телами, а также подтверждает их традиционную линейную связь с силой трения.

В дальнейшем в соответствии с полученным новым уравнением трения гибких тел учтено влияния центробежных сил гибкого тела [6]:

$$F = f \cdot \frac{(S_1 + S_2 - 2 \cdot q \cdot v^2) \cdot \varphi}{2} = f \cdot N.$$

Следовательно, для реализации ленточным конвейером заданного тягового усилия необходимо обеспечить достаточную нормальную силу прижатия (реакцию) между конвейерной лентой и приводным барабаном или соответствующее суммарное усилие натяжения конвейерной ленты на приводном барабане. Указанное отвечает общепринятым представлениям о трении тел, является логичным, очевидным и понятным:

$$N = \frac{\varphi \cdot (S_1 + S_2 - 2qv^2)}{2} \geq \frac{F_0}{f};$$
$$(S_1 + S_2) = \frac{2N}{\varphi} + 2qv^2, \quad N \geq \frac{F_0}{f}.$$

Экспериментальное определение фрикционных свойств конвейерной ленты при трении по барабану, осуществлялось на испытательном стенде [7]. Полученные показатели согласуются с накопленными данными практики [4]. Расчетное тяговое усилие для сухой конвейерной ленты по новому решению задачи Эйлера равно действительной силе трения между парой трения (разница усилий S_1 и S_2) и до 32% больше значения, вычисленного в соответствии с уравнением Эйлера. Смачивание пары трения привело к уменьшению относительной разницы сравниваемых расчетных тяговых усилий. При этом впервые использовался не мнимый, определенный косвенно в соответствии с уравнением Эйлера, а действительный коэффициент трения f , рассчитанный прямым методом по новому решению задачи Эйлера, как отношение силы трения к нормальной реакции между парой трения.

Действительный коэффициент трения для сухой ленты составляет около 0,433, что до 22% меньше значения, найденного косвенно в соответствии с уравнением Эйлера. Смачивание конвейерной ленты также приводит к уменьшению относительной разницы сравниваемых расчетных коэффициентов трения.

Соответствующая расчетная нормальная реакция между телами по новому уравнению трения гибких тел до 30% больше значения, вычисленного косвенно в соответствии с уравнением Эйлера. Она не зависит от фрикционных свойств гибкого тела. В соответствии с уравнением Эйлера нормальная реакция между телами, наоборот, весьма существенно зависит от фрикционных свойств гибкого тела.

В общем случае при сцеплении конвейерной ленты и барабана (относительная скорость смещения между лентой и барабаном равна нулю), когда сила и коэффициент трения сцепления меньше предельной силы сцепления и коэффициента трения покоя в качестве силы трения в расчетах должна использоваться неполная сила трения сцепления.

Выводы. Таким образом, обосновано условие для реализации заданного тягового усилия ленточного конвейера. Указанное условие вытекает из нового уравнения трения гибких тел и может быть использовано при проектировании ленточных конвейеров и выборе рационального режима их эксплуатации в части определения и обеспечения необходимой тяговой способности. Тяговая способность ленточных конвейеров определяется коэффициентом трения скольжения гибкого тела, суммарным усилием его натяжения на приводном барабане, углом обхвата, весом гибкого тела и скоростью движения.

Достоверность обоснованного условия подтверждается накопленной практикой и проведенным экспериментом, обуславливается соблюдением в нем господствующего закона трения твердых тел Кулона и фундаментального принципа природы - закона сохранения механической энергии в замкнутой консервативной механической системе, а также известным влиянием центробежной силы тела, которая для ленточных конвейеров и других машин с гибким тяговым органом может достигать значительных величин.

Список литературы

1. Біліченко М.Я. Основи теорії та розрахунки засобів транспортування вантажів шахт: Навч. посібник / Біліченко М.Я. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2002. – 103 с.
2. РТМ 24.093.04-80. Проектирование стационарных ленточных конвейеров общего назначения. - 1980.
3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для вузов / Тарг С.М. – [12-е изд.] – М.: Высш. шк., 1998. – 416 с.
4. Андреев А.В. Передача трением / Андреев А.В. – М.: Машгиз, 1978. – 176 с.
5. Лубенец Н.А. Альтернативный формуле Эйлера закон реализации тягового усилия трением / Лубенец Н.А. // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, 2008. – № 11.- С. 67 – 70.
6. Лубенец Н.А. Влияние центробежных сил гибкого тела на реализацию тягового усилия трением. / Лубенец Н.А., Лубенец Т.Н. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2012. – № 5. – С. 28 – 33.
7. Биличенко Н.Я. Экспериментальное определение коэффициента трения ленты о барабан / Биличенко Н.Я. // Вопросы рудничного транспорта. – М.: Углетехиздат, 1954. – С.54–60.
- 8.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширіним Л.Н.
Надійшло до редакції 21.10.2014*

О ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВАХ ГИБКИХ ТЕЛ

Впервые установлены экспериментальные зависимости силы и коэффициента трения гибкого тела от нормальной реакции между телами при скольжении по неподвижному блоку.

Вперше встановлені експериментальні залежності сили і коефіцієнта тертя гнучкого тіла від нормальної реакції між тілами при ковзанні по нерухомому блоку.

First established experimental dependence of the force and the coefficient of friction of the flexible body from the normal reaction between bodies in sliding on the fixed block.

Трение тел - чрезвычайно сложное явление. Человечество начало сталкиваться с удобствами и проблемами от использования трения на заре своего существования, задолго до понимания его законов.

Еще Аристотель в 5 веке до н. э. указывал о влиянии на силу трения между телами при скольжении нормальной силы прижатия между ними. Позже, первые научные рассуждения и результаты экспериментов по трению твердых тел обнаружены в записях Леонардо да Винчи (1452 – 1519). В работах указано на прямую пропорциональность между силами трения и прижатия тел (нормальной реакцией) при скольжении, что составляло содержание установленно-го закона. Он считал, что отношению силы трения к нормальной реакции между телами, названное коэффициентом трения, не зависит от площади контакта.

Поскольку прогрессивные изыскания Леонардо да Винчи опережали работы исследователей, его современников, то полученные им знания о трении твердых тел были забыты. Поэтому через 180 лет (в 1699 году) закон был заново открыт французским исследователем Амонтоном.

Несколько позже в 1779 году французский исследователь Кулон экспериментально установил новый закон трения твердых тел, господствующий до настоящего времени. Аналитическая интерпретация полученной зависимости силы трения между телами от нормального прижатия тел (нормальной реакции между телами) с достаточной для практики точностью связаны между собой линейной двухпараметрической функцией. Позднее такие данные получали и получают другие исследователи.

Следовательно, согласно представлениям философов и ученых все действовавшие и господствующий в настоящее время законы о трении твердых тел совпадают между собой в части влияющих факторов, а именно включают силу трения и нормальную реакцию между телами, которые связаны между собой линейно посредством коэффициента трения.

Однако, для гибких тел, которые являются твердыми телами, указанная выше общность влияющих факторов действующих законов не соблюдается.

В 1775 году Леонард Эйлер аналитически описал скольжение гибкого тела по неподвижному блоку (невесомой, нерастяжимой и абсолютно гибкой нити) системой дифференциальных уравнений равновесия и получил ее решение

– закон трения гибких тел (уравнение или формула Эйлера). Расчетная схема задачи приведена на рис. 1.

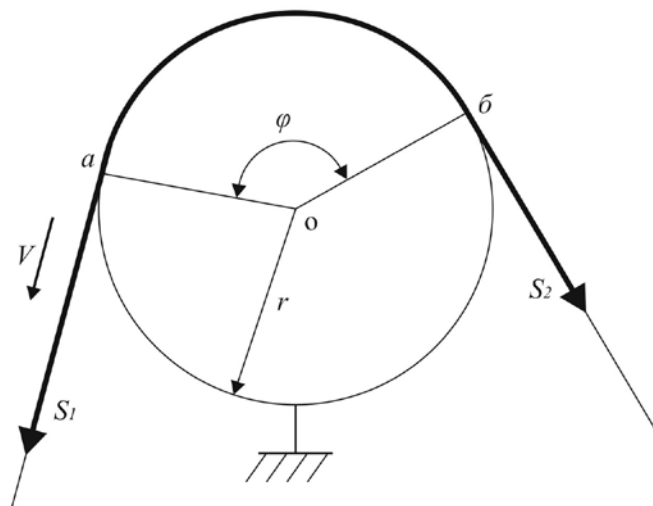


Рис. 1. Расчетная схема: S_1 , S_2 – натяжения в сбегавшей и набегающей на барабан ветвях гибкого тела; r – радиус барабана; φ – угол обхвата барабана гибким телом.

Согласно выводу Эйлера идеальная нить под действием приложенных к ее концам сил S_1 и S_2 скользит по неподвижному блоку в направлении большей силы, превышающей другую силу на величину суммарной силы трения F , которая возникает между нитью и неподвижным блоком, а отношение большей силы к меньшей силе равно:

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{\mu\varphi}$$

где S_1 и S_2 – натяжения в сбегавшей и набегающей на барабан ветвях гибкого тела (меньшее и большее натяжение в ветвях); φ – угол обхвата барабана гибким телом; μ – коэффициент трения скольжения между гибким телом и блоком.

Сила трения (тяговое усилие) при скольжении гибкого тела по блоку в соответствии с уравнением Эйлера определяется следующим образом:

$$F_{н-с} = S_1 - S_2 = S_2 \cdot e^{f \cdot \varphi} - S_2 = S_2 \cdot (e^{f \cdot \varphi} - 1).$$

где $F_{н-с}$ – расчетное тяговое усилие конвейера при скольжении.

Откуда уравнение указывает на пропорциональную связь силы трения и меньшего усилия натяжения гибкого тела в набегающей на барабан ветви. Коэффициент пропорциональности – так называемый тяговой фактор равняется основанию натурального логарифма в степени произведения коэффициента трения на угол обхвата минус единица. Т. е. общепризнанная для трения твердых тел нормальная реакция между гибким телом и блоком в законе трения гибких тел (уравнении Эйлера) не фигурирует, хотя в представлениях о трении гибких тел декларируется. По этой причине в практике нормальная реакция при трении гибких тел прямым методом никогда не определялась, поскольку по

решению Эйлера находится косвенно и зависит от фрикционных свойств гибкого тела - коэффициента трения.

При сцеплении сила трения (тяговое усилие по блоку) гибкого тела по блоку, используемая при расчете тягового усилия транспортных машин, описывается уравнением:

$$F_{н-з} = S_2 \cdot (e^{f \cdot \varphi} - 1) \cdot k_T.$$

где $F_{н-з}$ – расчетное тяговое усилие по блоку при скольжении гибкого тела; k_T – коэффициент запаса тяговой способности.

Для ленточных конвейеров расчетный запас тяговой способности достигает 40% ($k_T = 1,4$), а для шахтных подъемных машин еще больше – 230% ($k_T = 2,3$) [1,2]. Вместе с тем, известно, что сила трения сцепления между твердыми телами больше силы трения скольжения, т.к. коэффициент трения покоя всегда больше коэффициент трения скольжения, рис. 2:



Рис. 2. Значение силы трения в зависимости от относительного смещения трущихся тел при сдвиге (сцепление), переходящем в скольжение

Поэтому действительный запас тяговой способности машин будет еще больше расчетного.

При этом в расчетных уравнениях не учитывается большее натяжение гибкого тела в сбегавшей с барабана ветви, от которой в совокупности с меньшим натяжением ветви зависит усилие прижатия (нормальная реакция) между парой трения, а следовательно и тяговое усилие конвейера.

Известно также, что уравнение Эйлера, лежащее в основе используемых расчетов, отличается от данных экспериментов. В практике принято считать, что коэффициент трения между конвейерной лентой и барабаном, определен-

ный косвенно на цилиндрической поверхности в соответствии с уравнением Эйлера, до 30% выше действительного коэффициента трения, определенного прямым методом на плоской поверхности в соответствии с законом трения тел Кулона и Амонтона [3].

Несмотря на это и многочисленные работы выдающихся ученых М. Кретца, М. Т. Уразбаева, Гростофа, М.К. Демьянова, Н.П. Петрова, Н.Е. Жуковского, О. Кеммерера, А. Фебера, А. Фридриха, Е.А. Иванова, В.А. Добровольского, Е.М. Гутьяра, Хамеля, М.В. Цепляева, В.С. Полякова, Е.Г. Глухарева, П.М. Огибалова, А.Л. Рабиновича, М.Н. Федотова, Б.Л. Давыдова, Чжу-Ши-юй, Г.М. Бартенева, В.И. Чуканова, Л.В. Андреева, Л.И. Колчина, А.Ю. Ишлинского в том числе сотрудников НГУ, Днепропетровского национального университета и Института геотехнической механики АНУ: К. Полякова, В.И. Мосаковского, И.Г. Штокмана, Н.Я. Биличенка, В.К. Смирнова, Р.В. Кирия и многих др. в области уточнения решения Эйлера в задаче о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку и определения фрикционных характеристик конвейерных лент его решение для идеального гибкого тела по-прежнему считалось самым совершенным [3].

Однако, в 2007 г. в Национальном горном университете предложен новый вывод результатов решения классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку. Указанное решение учитывает представления о трении твердых тел – закон трения твердых тел Кулона и последнюю редакцию закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе сформулированную в 40 годах 19 века [4,5]. Новое уравнение свидетельствует о двухпараметрической линейной зависимости между силой трения и нормальной реакцией между гибким телом и блоком при скольжении. Уравнение согласуется с общепризнанными представлениями о трении твердых тел - опосредованно содержит силу и нормальную реакцию между гибким телом и блоком, молекулярную составляющую силы трения, которые связаны между собой линейно посредством коэффициента трения [4,5]:

$$F = F_c + tg\beta \cdot \left(\varphi \cdot \frac{S_1 + S_2 - 2qv^2}{2} \right) = \\ = F_c + tg\beta \cdot N = \left(\frac{F_c}{N} + tg\beta \right) \cdot N;$$

где F – сила трения между телами; F_c – сила трения между гибким телом и блоком при нормальной реакции между телами равной нулю; $tg\beta$ – тангенс угла наклона зависимости силы трения от нормальной реакции между телами; v – скорость скольжения гибкого тела; q – линейная масса гибкого тела; N – нормальная реакция между гибким телом и блоком.

Кроме того, указанное уравнение может быть представлено с использованием коэффициента трения - традиционного и широко используемого в практике параметра, который ввел Леонардо да Винчи (Амонтон) [4,5]:

$$F = \mu \cdot \frac{(S_1 + S_2 - 2 \cdot q \cdot v^2) \cdot \varphi}{2} = \mu \cdot N.$$

Таким образом, при помощи коэффициента трения двухпараметрическая зависимость силы трения от нормальной реакции между телами при скольжении по неподвижному блоку искусственно переводится в пропорциональную зависимость. По этой причине коэффициент трения является не постоянной, а переменной величиной, который обратно пропорционален нормальной реакции между телами:

$$\mu = \left(\frac{F_c}{N} + \operatorname{tg}\beta \right).$$

Изменяемость коэффициента трения практически сказывается при малых значениях нормальной реакции между телами. При средних и больших значениях нормальной реакции коэффициент трения будет слабо зависимым от нормальной реакции, который асимптотически приближается к величине $\operatorname{tg}\beta$.

Однако, в настоящее время в литературе отсутствуют данные по экспериментальному определению зависимости силы и коэффициента трения гибких тел по блоку от нормальной реакции между телами при скольжении.

Следовательно, для подтверждения правильности нового вывода результатов решения задачи о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку проведем эксперимент.

Экспериментальное определение зависимости силы и коэффициента трения между гибким телом и неподвижным блоком от нормальной реакции между телами при скольжении осуществляли на испытательном стенде, рис. 3.

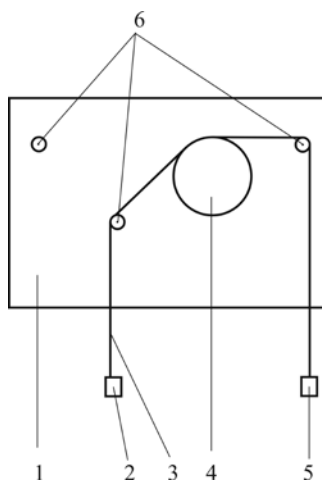


Рис. 3. Кинетическая схема испытательного стенда для определения силы трения между нитью и неподвижным барабаном от нормальной реакции между телами при скольжении по неподвижному блоку: 1 – основание; 2 – груз; 3 – нить; 4 – неподвижный барабан; 5 – груз; 6 – отклоняющие блоки

В качестве гибкого тела использовалась хлопчатобумажная нить 3 толщиной 0,5 мм, которая была перекинута через неподвижный барабан 4. Барабан 4 закреплен на основании (плите) 1, и ориентирован в вертикальной плоскости. К концам нити 3 прикреплены грузы 2 и 5 (из набора лабораторных гирь), создающие усилия натяжения S_1 и S_2 . Отклоняющие блоки 6 на шарикоподшип-

никах с ограждениями на рабочей поверхности предназначены для задания угла обхвата нитью 3 барабана 4. Отклоняющие блоки 6 разнесены в пространстве – расположены в различных вертикальных плоскостях в пределах высоты барабана 4 для того, чтобы нить 3 входила в контакт с барабаном 4 по спирали, а ее витки не касались между собой.

Испытаниям подвергалась пара трения – хлопчатобумажная нить и точечный барабан. Диаметр барабана составлял 75 мм высотой 25 мм. Диаметр отклоняющих блоков - 22 мм. Угол обхвата нитью барабана задавался в диапазоне от 45° до 1080°.

Испытания проводили следующим образом. Для определенного угла обхвата барабана нитью и меньшего усилия S_2 , прикладываемого к одному из концов нити, подбирали большее усилие S_1 , прикладываемое к другому концу нити таким образом, чтобы скорость скольжения нити по барабану была постоянной. Скорость скольжения нити по барабану определяли по времени нескольких оборотов отклоняющего ролика с меткой. Время нескольких оборотов отклоняющего ролика измеряли секундомером. Большее усилие S_1 , прикладываемое к другому концу нити, устанавливали линейной интерполяцией результатов нескольких испытаний при одной скорости скольжения нити по барабану, равной 46 мм/с.

Для заданного угла обхвата нитью барабана и других меньших усилий S_2 (другой нормальной реакции между телами) аналогично определяли большие усилия S_1 .

Нормальную реакцию между гибким телом и барабаном определяли без учета центробежных сил нити из нового решения классической задачи Эйлера, которая, в отличие от известного решения Эйлера, не зависит от фрикционных свойств гибкого тела, по формуле [4]:

$$N = \left(\varphi \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \right)$$

По известному решению Эйлера нормальная реакция между гибким телом и барабаном зависит от коэффициента трения и определяется по формуле [3]:

$$N = \int_0^{\varphi} S(\alpha) \cdot d\alpha = \int_0^{\varphi} (S_2 \cdot e^{\mu \cdot \alpha}) \cdot d\alpha = \left(\frac{S_2}{\mu} \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \right) \Big|_0^{\varphi} = \frac{S_2}{\mu} (e^{\mu \cdot \varphi} - 1).$$

Силу трения между гибким телом и барабаном определяли без учета поперечного сечения нити по формуле [3]:

$$F = S_1 - S_2$$

Коэффициент трения между гибким телом и барабаном впервые определяли прямым методом, как отношение силы трения к нормальной реакции между телами по формуле [4]:

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{2 \cdot (S_1 - S_2)}{\varphi \cdot (S_1 + S_2)}$$

Согласно решению Эйлера коэффициент трения между гибким телом и барабаном определяется косвенным методом по формуле [3]:

$$\mu = \frac{1}{\varphi} \cdot \ln \frac{S_1}{S_2}.$$

В практике коэффициент трения для конвейерных лент, определенный согласно решению Эйлера, до 30% выше в сравнении с его действительным значением.

На рис. 4 приведена полученная зависимость силы трения между нитью и барабаном от нормальной реакции между телами.

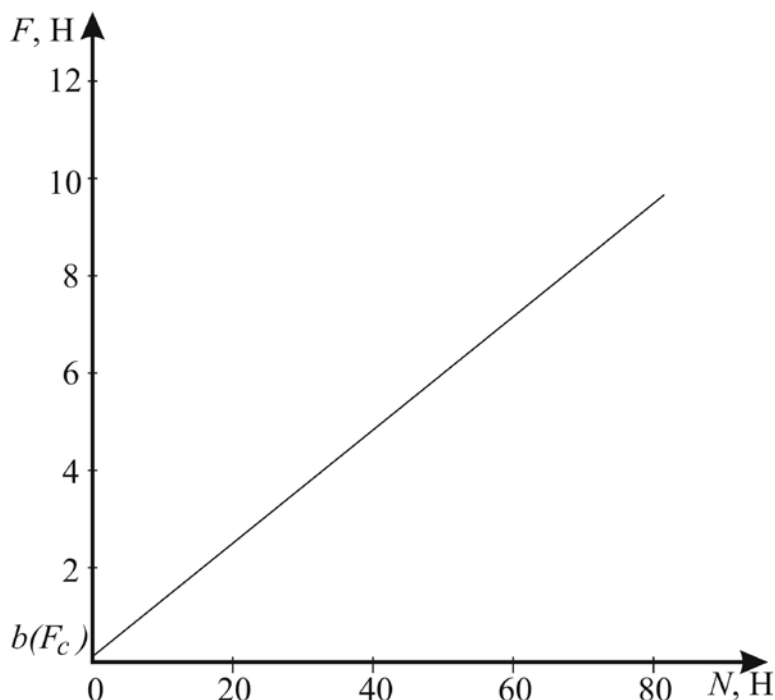


Рис. 4. Зависимость силы трения между нитью и барабаном от нормальной реакции между телами (при скорости скольжения 46 мм/с и угле обхвата нитью барабана, равного 720°)

Анализ экспериментальных данных показал, что зависимость силы трения от нормальной реакции между телами хорошо описывается линейной функцией.

$$F = v + a \cdot N$$

где a – тангенс угла наклона экспериментальной зависимости $\operatorname{tg}\beta$; v – *const*, которая является начальной ординатой линейной функции.

Экспериментальная зависимость представляет собой двухпараметрическую линейную функцию с положительными параметрами a и v и соответствует закону трения твердых тел Кулона и новому решению задачи Эйлера. Значение параметров a и v указывают на величины молекулярной составляющей силы трения между нитью и барабаном и тангенса угла наклона зависимости силы трения от нормальной реакции между телами:

$$F = F_c + \operatorname{tg}\beta \cdot N;$$

Линейная аппроксимация экспериментальной зависимости дала значение параметра F_c , равное $0,066 \text{ Н}$, а параметра $\operatorname{tg}\beta - 0,123$.

На рис. 5. приведена зависимость коэффициента трения между нитью и барабаном от нормальной реакции между телами:

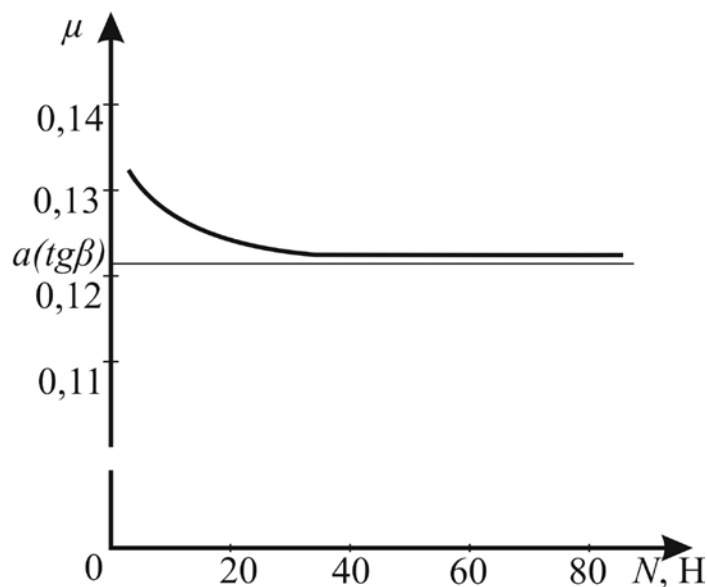


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения между нитью и барабаном от нормальной реакции между телами (при скорости скольжения 46 мм/с и угле обхвата нитью барабана 720°)

Анализ данных показал, что экспериментальная зависимость коэффициента трения μ от нормальной реакции между телами N при скольжении по неподвижному барабану описывается монотонно убывающей функцией. Скорость убывания зависимости снижается с увеличением нормальной реакции между телами, а коэффициент трения асимптотически приближается к значению параметра $\operatorname{tg}\beta$.

Установленная зависимость коэффициента трения отвечает двухпараметрическому закону трения твердых тел Кулона, новому решению задачи Эйлера и накопленным данным практики. Значения параметров зависимости указывают на величины молекулярной составляющей силы трения между телами F_c и тангенса угла наклона зависимости силы трения от нормальной реакции между телами $\operatorname{tg}\beta$, соответственно. Зависимость коэффициента трения хорошо описывается нелинейной обратно пропорциональной двухпараметрической функцией вида:

$$\mu = \left(\frac{b}{N} + a \right)$$

Таким образом, впервые экспериментально получена линейная зависимость силы трения гибкого тела и обратно пропорциональная зависимость коэффициента трения от нормальной реакции между телами при скольжении по неподвижному блоку. Экспериментальные зависимости отвечают действующему в настоящее время закону трения твердых тел Кулона, новому решению

классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку и накопленным данным практики.

Список литературы

1. Біліченко М.Я. Основи теорії та розрахунки засобів транспортування вантажів шахт: Навч. посібник / Біліченко М.Я. – Дніпропетровськ: Національна гірнична академія України, 2002. – 103 с.
2. РТМ 24.093.04-80. Проектирование стационарных ленточных конвейеров общего назначения. - 1980.
3. З Андреев А.В. Передача трением / Андреев А.В. – М.: Машгиз, 1978. – 176 с.
4. Лубенец Н.А. Альтернативный формуле Эйлера закон реализации тягового усилия трением / Лубенец Н.А. // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, 2008. – № 11.- С. 67 – 70.
5. Лубенец Н.А. Влияние центробежных сил гибкого тела на реализацию тягового усилия трением. / Лубенец Н.А., Лубенец Т.Н. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2012. - № 5. – С. 28 – 33.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширіним Л.Н.
Надійшло до редакції 21.10.2014*

УДК 622.232.72:004.942

© А.В. Бубліков, П.Ю. Огєєнко

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ГІРНИЧИХ МАШИН ОЧИСНОГО МЕХАНІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ

У статті пропонується класифікація технологічних взаємозв'язків гірничих машин та їх зв'язків зі зовнішнім середовищем. Розкриваються особливості врахування цих зв'язків за умови створення комплексної моделі очисного механізованого комплексу. Проведені дослідження технологічних зв'язків видобувного комбайну зі зовнішнім середовищем.

В статье предлагается классификация технологических взаимосвязей горных машин и их связей с внешней средой. Раскрываются особенности учета этих связей при создании комплексной модели добычного механизированного комплекса. Проведены исследования технологических связей добычного комбайна с внешней средой.

The classification of technological connections between the coal machines and their connections with environment is proposed in the article. The features of accounting of these connections during creation of model of mining mechanized complex are discovered. The technological connections between shearer and environment are investigated.

Вступ. Шахтні підприємства є одними з найбільших споживачів електроенергії в Україні. За рік шахтне підприємство може споживати від 200000 до 300000 тис. кВт·год. В контексті цієї інформації той факт, що Україна витрачає на тонну видобутого вугілля в декілька разів більше електроенергії, ніж розвинуті країни, є дуже гострим питанням.

Очисні механізовані комплекси (ОМК) – одні з найбільш енергоємних шахтних об'єктів, на які приходиться біля 15% від загальної кількості споживаної електроенергії шахтним підприємством. Машини ОМК нового покоління, що застосовуються для підземного видобутку вугілля на шахтах, відрізняються наявністю дуже тісних технологічних взаємозв'язків, які, щонайменш, на 50 % визначають ефективність процесу видобутку вугілля. Тобто, існує значний резерв щодо підвищення ефективності процесу видобутку вугілля у вибої за рахунок дослідження й вдосконалення саме технологічних взаємозв'язків гірничих машин ОМК.

Останні досягнення. Дослідження щодо використання саме взаємозв'язків гірничих машин для підвищення ефективності роботи ОМК почалися ще з 2005 року спеціалістами науково-дослідного інституту «Дондівуглемаш» та Донецького національного технічного університету [2,3]. Була запропонована концепція проектування гірничих машин з урахуванням особливостей технологічних взаємозв'язків гірничих машин та конструктивні рішення на основі цієї концепції [2,3]. Але рішення в основному були направлені на поліпшення конструктивних вузлів гірничих машин, в той час, як інформативна компонента ОМК створювалась практично без врахування взаємозв'язків гірничих машин. Тому у даній статті обґрунтовуються та досліджуються деякі технологічні зв'язки машин ОМК (зв'язок видобувного комбайна зі зовнішнім середовищем) з метою вдосконалення інформативної компоненти видобувного комбайна для підвищення ефективності процесу видобутку вугілля в забої за допомогою ОМК.

Викладання основного матеріалу досліджень. Можна виділити два узагальнені види технологічних взаємозв'язків гірничих машин ОМК – функціональні взаємозв'язки та конструктивні. Функціональні взаємозв'язки виражаються у залежності режимів роботи гірничої машини від режимів роботи інших гірничих машин ОМК. Наприклад, пересування секції механізованого кріплення повинно відбуватися за умови відсутності поблизу струга або видобувного комбайна. Ще один приклад – обмеження швидкості переміщення видобувного комбайна за умови недостатньої транспортної продуктивності забійного конвеєра. Як бачимо з прикладів, функціональні взаємозв'язки гірничих машин ОМК можуть бути зумовлені технікою безпеки або технологією видобутку вугілля у вибої. На рис. 1 функціональні взаємозв'язки показані стрілками без заливки.

Конструктивні взаємозв'язки гірничих машин ОМК виражаються у присутності спеціальних конструктивних рішень для забезпечення необхідних кінематичних зв'язків між машинами ОМК. Прикладом конструктивного взаємозв'язку видобувного комбайну та забійного конвеєра є рушій підсистеми подачі видобувного комбайна разом з жорстким тяговим органом на базі цівкових рейок. Ще одним прикладом є опорні та захватні механізми видобувних комбайнів та стругів разом з направляючими рейками на навісному обладнанні забійного конвеєра. Як бачимо з прикладів, конструктивні взаємозв'язки гірничих машин ОМК зумовлені виключно конструктивними рішеннями при створенні гірничих машин. Причому, ці конструктивні рішення направлені для створення нових або вдосконалення іс-

нуючих кінематичних зв'язків між гірничими машинами ОМК з метою поліпшення його технічних характеристик. На рис.1 конструктивні взаємозв'язки гірничих машин ОМК показані стрілками з заливкою.

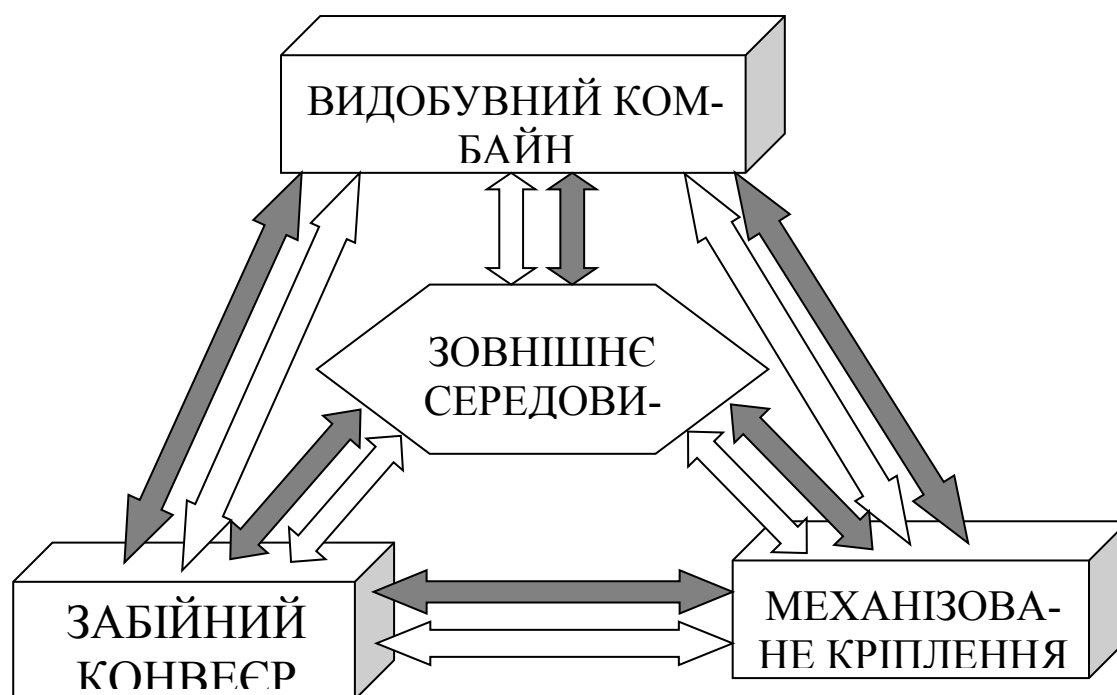


Рис.1. Структурна схема технологічних взаємозв'язків машин очисного механізованого комплексу

Відмітимо, що іноді вдосконалення конструктивних взаємозв'язків гірничих машин неможливе без введення нового функціонального зв'язку між ними. Наприклад, введення жорстких тягових органів у складі підсистем подачі видобувних комбайнів призвело до появи вимоги щодо синхронізації обертання приводних зірочок рушіїв підсистем подачі комбайна, невиконання якої викликало зменшення ККД підсистеми подачі майже у два рази.

Конструктивні та функціональні зв'язки, що суттєво впливають на ефективність процесу видобутку вугілля у вибої, присутні не тільки між машинами ОМК, а й між ними та зовнішнім середовищем. Вони також показані на рис.1 у вигляді стрілок з заливкою (конструктивні зв'язки) та без заливки (функціональні зв'язки). Як і у випадку зі взаємозв'язками між гірничими машинами, функціональний зв'язок між гірничою машиною та зовнішнім середовищем виражається через вплив зовнішнього середовища на режим роботи гірничої машини. Наприклад, підвищення кріпості вугілля викликає зменшення швидкості подачі комбайна або струга. Відмітимо, що такий вплив може бути зворотний, тобто гірничі машини можуть впливати на зовнішнє середовище на функціональному рівні. Цей вплив може виражатися через зміну гірничо-геологічних характеристик вугільного пласту через певний режим роботи гірничої машини, що, у свою чергу, призведе до зміни режимів роботи інших гірничих машин ОМК у наступні моменти часу. Явним прикладом виступає вплив режиму роботи ме-

ханізованого кріплення на таке явище, як віджимання вугілля у призабійній частині груді забою. Якщо явище віджимання вугілля явно виражене, з часом це призведе до послаблення кріпості вугілля, появи тріщин у вугільному масиві (позитивний ефект) та порушення цілісності безпосередньої покрівлі (негативний ефект). Це, у свою чергу, призведе до зміни режимів роботи видобувного комбайну або струга та механізованого кріплення.

Що стосується конструктивних зв'язків гірничих машин із зовнішнім середовищем, то вони проявляються через формування навантаження на силових виконавчих пристроях машин (вплив зовнішнього середовища на гірничу машину). Прикладом є сила реакції вугільного масиву на притиснення поставу конвеєра до груді забою штовхачами секцій механізованого кріплення за умови виїмки вугілля стругом. Зворотний конструктивний вплив гірничої машини на зовнішнє середовище також можливий, хоч і менш розповсюджений. Він виражається через зміну властивостей зовнішньої середовища у фізичній площині за умови певного режиму роботи гірничої машини. Зміна властивостей зовнішньої середовища саме у фізичній площині пояснюється тим, що взаємозв'язок гірничої машини з зовнішнім середовищем відбувається у багатьох випадках через фізичні процеси та фізичні величини. Прикладом такого нетипового зворотного зв'язку гірничої машини і зовнішнього середовища на конструктивному рівні є накопичення кінетичної енергії у маси вугілля, що транспортується забійним конвеєром.

У контексті вирішуваної задачі підвищення енергоефективності видобутку вугілля комбайном за рахунок вдосконалення його інформативної компоненти нас насамперед цікавлять конструктивні технологічні зв'язки видобувного комбайна з іншими гірничими машинами та зовнішнім середовищем.

У даному підрозділі проведемо дослідження конструктивних технологічних зв'язків видобувного комбайну (рис.2) з вугільним масивом (через шнековий виконавчий орган) та з забійним конвеєром (через опорні механізми).

Конструктивний технологічний зв'язок видобувного комбайну з вугільним масивом відбувається через момент опору на шнековому виконавчому органі, який розраховується за формулою

$$M_{в.о.}(t) = M_{різ.}(t) + M_{нав.}(t), \text{ Н} \cdot \text{м} ,$$

де $M_{в.о.}$ – момент опору на виконавчому органі видобувного комбайну, Н·м; $M_{різ.}$ – складова моменту опору на виконавчому органі видобувного комбайну, що формується за умови різання вугільного масиву різцями, Н·м; $M_{нав.}$ – складова моменту опору на виконавчому органі видобувного комбайну, що формується за умови транспортування та навантаження вугілля лопатами шнека, Н·м.

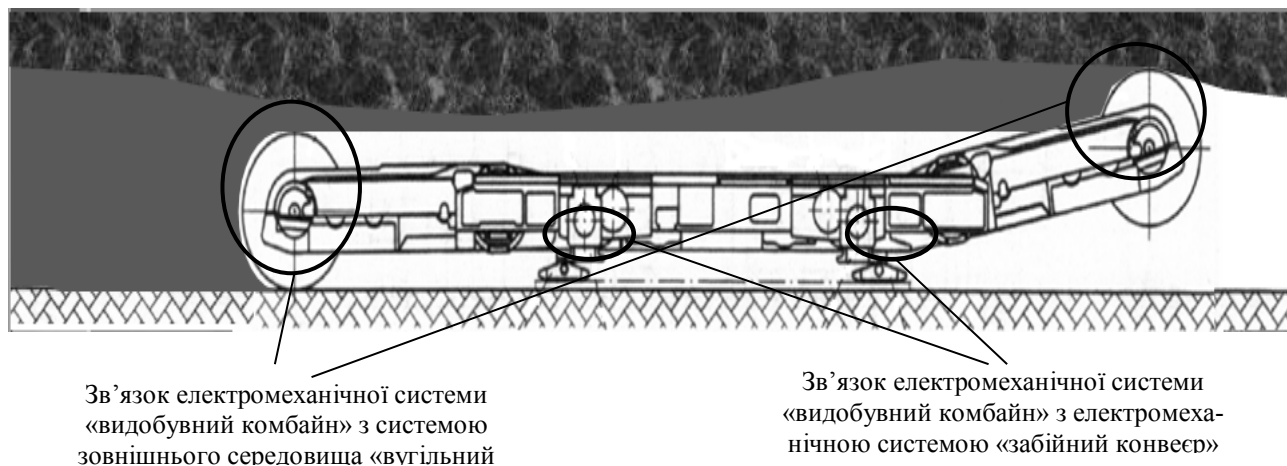


Рис. 2. Кінематичні зв'язки електромеханічної системи «видобувний комбайн» з іншими технологічними системами

У складовій моменту опору на виконавчому органі комбайна $M_{різ.}$, що пов'язана із різанням вугілля, також можна виділити декілька складових – високочастотну $M_{різ.в-ч}$ та низькочастотну $M_{різ.н-ч}$. Високочастотні коливання моменту різання $M_{різ.}$ мають місце внаслідок нерівномірності розподілу міцності вугілля в перетині пачки вугілля, що знімається виконавчим органом, а також через особливість фізичної природи процесу взаємодії різця з вугільним масивом. Результати численних досліджень статистичної динаміки вугільного комбайна показали, що високочастотна складова моменту різання $M_{різ.в-ч}$ змінюється випадковим чином та описується автокореляційною функцією виду:

$$P_{\epsilon}(\tau) = D_{\epsilon,1} \cdot e^{-\alpha_{\epsilon,1} \cdot \tau} + D_{\epsilon,2} \cdot e^{-\alpha_{\epsilon,2} \cdot \tau} \cdot \cos(\beta_{\epsilon} \cdot \tau),$$

де $\alpha_{\epsilon,1}, \alpha_{\epsilon,2}$ – параметри згасання, c^{-1} ; β_{ϵ} – переважна частота коливань, c^{-1} ; $D_{\epsilon,1}$ і $D_{\epsilon,2}$ – дисперсії відповідно експонентної й експонентно-косинусної складових автокореляційної функції. Значення перерахованих параметрів автокореляційної функції є функціями середньої сили різання на одиночному різці \bar{Z}_p , що розраховується за спеціально розробленою методикою [1]. Дисперсія високочастотної складової моменту різання на виконавчому органі $M_{різ.в-ч}$ визначається по формулі

$$D_{\epsilon}(\bar{Z}_p) = ((0,56 \cdot \bar{Z}_p + 50) \cdot \sqrt{n_{p,p}} \cdot 0,5 \cdot D)^2, \text{ (Н}\cdot\text{м)}^2,$$

де D – діаметр виконавчого органа по різцях, м; $n_{p,p}$ – число одночасно ріжучих різців.

Низькочастотна складова моменту різання $M_{різ.н-ч}$ також залежить від сили різання на одиночному різці:

$$M_{\text{різ.н-ч}}(\bar{Z}_p) = 0,5 \cdot D \cdot \sum_{i=1}^{n_{p.p}} \bar{Z}_{p.i}, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином, саме через середню силу різання на одиночному різці \bar{Z}_p зовнішнє середовище впливає на момент різання на виконавчому органі видобувного комбайна, оскільки у методиці розрахунку даного параметру враховується одразу декілька фізичних характеристик вугільного масиву [1]. Майже усі фізичні характеристики вугільного масиву змінюються повільно у часі та можуть бути прийнятими незмінними на невеликому проміжку часу, окрім однієї – опірності вугілля різанню. Тому, для встановлення динамічного конструктивного технологічного зв'язку між комбайном та зовнішнім середовищем, проведемо дослідження впливу опірності вугілля різанню A на середню силу різання на виконавчому органі Z , що зв'язана з середньою силою різання на одиночному різці аналітичним виразом

$$Z = \sum_{i=1}^{n_{p.p}} \bar{Z}_{p.i}, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

За основу при проведенні дослідження візьмемо відому енергетичну характеристику видобувного комбайна, що показана на рис.3, на якій видно, що середнє значення моменту різання на виконавчому органі, крім опірності вугілля різанню, залежить також від швидкості подачі комбайна.

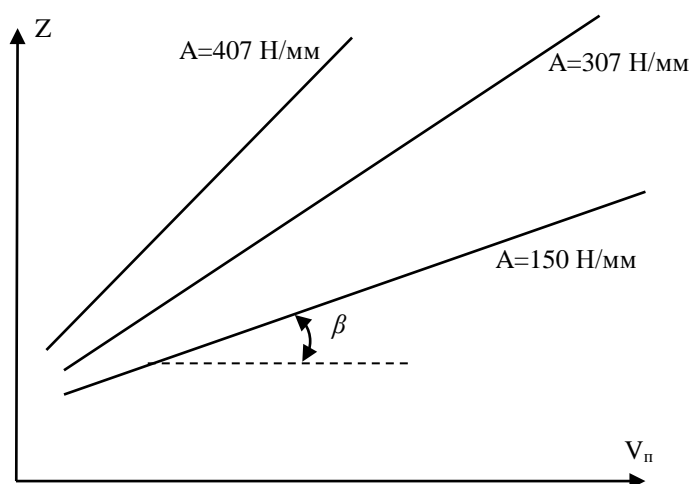


Рис. 3. Енергетична характеристика видобувного комбайна

Середня сила різання вугілля на виконавчому органі Z , від якої прямо пропорційно залежить момент різання на виконавчому органі, також прямо пропорційно залежить від швидкості подачі комбайна V_n . Але при зміні опірності вугілля різанню A змінюється кут нахилу β цієї залежності (рис.3). Тільки знаючи тангенс кута β можна визначити силу різання Z та, відповідно, момент

опору на виконавчому органі через швидкість подачі комбайна. Таким чином, стоїть задача встановлення залежності між кутом нахилу β енергетичної характеристики, що показана на рис.3, та опірністю вугілля різанню. Для рішення цієї задачі використовуються дані (табл.1), що отримані в ході випробувань видобувного комбайна УКД300 в реальних умовах на шахті «Павлоградська».

Таблиця 1

Експериментальні значення середньої сили різання на виконавчому органі комбайна при різних швидкостях подачі

V_n , м/хв	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Опірність вугілля різанню $A=407$ Н/мм									
Z, кН	7,497	12,86	23,63	30,32	34,36	38,43	43,79	46,36	47,93
Опірність вугілля різанню $A=350$ Н/мм									
Z, кН	6,243	11,99	19,35	25,91	30,4	33,67	36,72	39,18	41,54
Опірність вугілля різанню $A=300$ Н/мм									
Z, кН	5,384	10,26	16,68	22,35	25,89	28,9	31,24	33,81	35,17
Опірність вугілля різанню $A=250$ Н/мм									
Z, кН	4,47	8,56	13,87	18,4	21,83	24,19	26,36	28,12	29,9
Опірність вугілля різанню $A=200$ Н/мм									
Z, кН	3,57	6,87	11,15	14,7	17,6	19,59	20,94	22,6	23,87
Опірність вугілля різанню $A=150$ Н/мм									
Z, кН	2,63	5,11	8,41	11,2	13,34	14,46	15,8	17	17,69

Отримаємо для залежності середньої сили різання Z від швидкості подачі комбайна V_n при опірності вугілля різанню $A=407$ Н/мм рівняння лінійної регресії з нульовою константою. Для цього використаємо програму “Progr_1_mcd”, написану в математичному пакеті MathCad.

Progr_1_mcd. Визначення коефіцієнта рівняння лінійної регресії та коефіцієнта кореляції для залежності $Z(V_n)$ при $A = 407$ Н/мм

Значення Z для різних V_n при $A = 407$:

$v_0 := 1$	$Z_{407_0} := 7.497 \times 10^3$
$v_1 := 1.5$	$Z_{407_1} := 1.286 \times 10^4$
$v_2 := 2$	$Z_{407_2} := 2.363 \times 10^4$
$v_3 := 2.5$	$Z_{407_3} := 3.032 \times 10^4$
$v_4 := 3$	$Z_{407_4} := 3.436 \times 10^4$
$v_5 := 3.5$	$Z_{407_5} := 3.843 \times 10^4$
$v_6 := 4$	$Z_{407_6} := 4.379 \times 10^4$
$v_7 := 4.5$	$Z_{407_7} := 4.636 \times 10^4$
$v_8 := 5$	$Z_{407_8} := 4.793 \times 10^4$

Коефіцієнт рівняння лінійної регресії для залежності Z (V_n) при $A = 407$:

$$b_Z := \text{slope}(v, Z_{407}) \quad b_Z = 1.036 \times 10^4$$

$$V_n := 0, 0.1.. 5$$

Задамо рівняння лінійної регресії:

$$Z_{407_teor}(V_n) := b_Z \cdot V_n$$

Обчислимо коефіцієнт кореляції між Z та V_n при $A = 407$:

$$K_{kor_407} := \text{corr}(v, Z_{407}) \quad K_{kor_407} = 0.977$$

Результатом виконання програми “Progr_1_mcd” є значення тангенсу кута нахилу β енергетичної характеристики комбайна (рис.3) для опірності вугілля різанню 407 Н/мм ($tg(\beta)=10360$ Н·хв/м). Справедливість саме лінійної регресії підтверджується значенням коефіцієнта кореляції для залежності середньої сили різання від швидкості подачі, що майже дорівнює одиниці.

Також результатом виконання програми “Progr_1_mcd” є нижченаведений графік рівняння лінійної регресії (суцільна лінія на рис.4) для залежності середньої сили різання на виконавчому органі (ВО) від швидкості подачі разом з експериментальними даними (показані маркерами у вигляді кіл на рис.4).

Нижче у табл.2 наведені результати статистичної обробки експериментальних залежностей середньої сили різання на ВО від швидкості подачі для інших опірностей вугілля різанню за допомогою програми “Progr_1_mcd”.

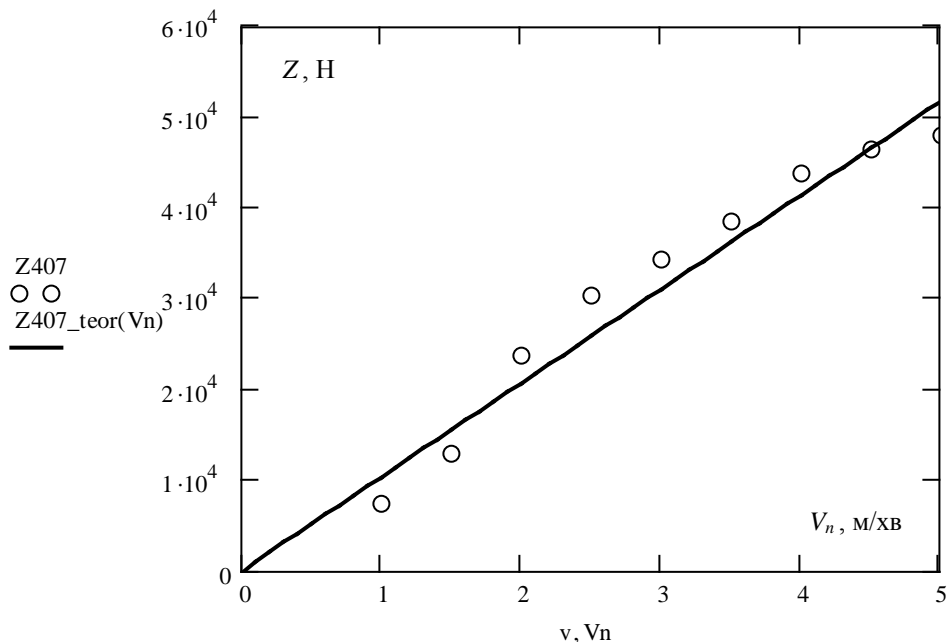


Рис. 4. Експериментальна та теоретична залежність середньої сили різання на ВО від швидкості подачі при опірності вугілля різанню 407 Н/мм

Таблиця 2

Результати статистичної обробки експериментальних залежностей середньої сили різання на ВО від швидкості подачі

Опірність вугілля різанню, Н/мм	Коефіцієнт рівняння лінійної регресії b_Z для залежності $Z(V_n)$, Н·хв/м	Коефіцієнт кореляції між Z та V_n
150	3785	0,974
200	5081	0,977
250	6332	0,976
300	7508	0,978
350	8845	0,975
407	10360	0,977

На основі даних, що наведені в табл.2, визначимо коефіцієнт рівняння лінійної регресії та коефіцієнт кореляції для залежності тангенсу кута нахилу β енергетичної характеристики комбайна (рис.3) від опірності вугілля різанню. Для цього використаємо програму “Progr_2_mcd”.

Progr_2_mcd. Визначення коефіцієнта рівняння лінійної регресії та коефіцієнта кореляції для залежності коефіцієнтів b_Z від опірності вугілля

Значення коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії для залежностей Z від V_n при відповідних значеннях опірності вугілля різанню:

$$A_0 := 150 \quad b_{Z_0} := 3.785 \times 10^3$$

$$A_1 := 200 \quad b_{Z_1} := 5.081 \times 10^3$$

$$A_2 := 250 \quad b_{Z_2} := 6.332 \times 10^3$$

$$A_3 := 300 \quad b_{Z_3} := 7.508 \times 10^3$$

$$A_4 := 350 \quad b_{Z_4} := 8.845 \times 10^3$$

$$A_5 := 407 \quad b_{Z_5} := 1.036 \times 10^4$$

Коефіцієнт рівняння лінійної регресії для залежності $b_Z(A)$:

$$B_Z := \text{slope}(A, b_Z) \quad B_Z = 25.41$$

$$A_y := 0, 0.1.. 410$$

Задамо рівняння лінійної регресії:

$$B_{Z_teor}(A_y) := B_Z \cdot A_y$$

Обчислимо коефіцієнт кореляції між b_Z та A :

$$K_{kor_Z} := \text{corr}(A, b_Z) \quad K_{kor_Z} = 1$$

Зробимо перехід від середньої сили різання на ВО до моменту опору на ВО по відношенню до коефіцієнта рівняння лінійної регресії B_Z (діаметр ВО по зубкам дорівнює 0,9 м):

$$B_M := B_Z \cdot 0.45 \cdot 0.001 \quad B_M = 0.011$$

Як результат виконання програми “Progr_2_mcd” нижче отриманий графік рівняння лінійної регресії (суцільна лінія на рис.5) для залежності коефіцієнтів b_Z від опірності вугілля різанню разом з результатами статистичної обробки експериментальних залежностей середньої сили різання на ВО від швидкості подачі (показані маркерами у вигляді кіл на рис.5).

Також за результатами виконання програми “Progr_2_mcd” можна зробити висновок, що для комбайна УКД300 в умовах шахти «Павлоградська» відношення між середнім моментом різання на виконавчому органі та швидкістю подачі є лінійною функцією опірності вугілля різанню:

$$\frac{M_{\text{піз.}}}{V_n} = 0,5 \cdot D \cdot \frac{\text{tg}(\beta)}{1000} = 0,5 \cdot D \cdot \frac{25,41 \cdot A}{1000} = 0,011 \cdot A, \text{ кН} \cdot \text{хв.}$$

Правильність висновку підтверджується тим, що коефіцієнт кореляції для залежності тангенсу кута нахилу β енергетичної характеристики комбайна від опірності вугілля різанню дорівнює одиниці. Це означає лінійну залежність між цими двома величинами.

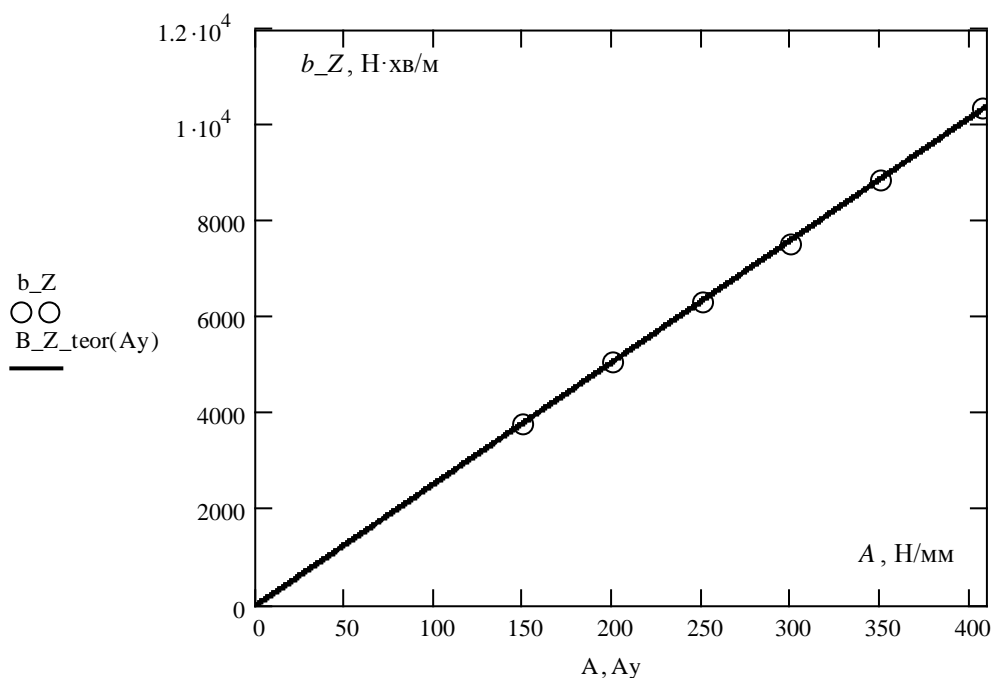


Рис. 5. Графік рівняння лінійної регресії (суцільна лінія) для залежності коефіцієнтів b_Z від опірності вугілля різанню A разом із значеннями коефіцієнтів b_Z (маркери) як результатами статистичного аналізу

Конструктивний технологічний зв'язок видобувного комбайну з забійним конвеєром відбувається через момент опору на приводній зірочці рушія приводу подачі. Навантаження на приводній зірочці рушія приводу подачі видобувного комбайна має складну природу. З однієї сторони, в динаміці моменту опору $M_{o.n}$ на приводній зірочці рушія привода подачі присутня випадкова складова, що пов'язана зі складною зміною сили тертя F_{mp} між опорними елементами комбайна та поверхнями конструктивних елементів конвеєра, по яким він переміщується (конструктивний технологічний взаємозв'язок комбайна та конвеєра). З другої сторони, в динаміці моменту опору $M_{o.n}$ є випадкова складова, яка зумовлена реакцією вугільного масиву на руйнування виконавчим органом (вплив зовнішнього середовища на видобувний комбайн).

Крім того, в динаміці моменту опору $M_{o.n}$ на приводній зірочці рушія спостерігається високочастотна періодична складова $M_{в-ч}$ із-за особливості процесу зачеплення зубців приводної зірочки рушія за цівки рейкового тягового органу (конструктивний технологічний взаємозв'язок комбайна та конвеєра).

Таким чином, формула для розрахунку моменту опору $M_{o.n}$ на приводній зірочці рушія буде такою:

$$M_{o.n} = r_3 \cdot (F_{mp} + Y \pm F_m) + J \frac{dV_n}{dt} + M_{\theta-\omega} =$$

$$= r_3 \cdot (F_{mp} + \frac{m_k}{2} \cdot g \cdot \cos(\alpha_{nl}) \cdot k_{cm} + Y \pm \frac{m_k}{2} \cdot g \cdot \sin(\alpha_{nl})) + J \frac{dV_n}{dt} + M_{\theta-\omega}, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де g – прискорення вільного падіння ($9,8 \text{ м/с}^2$); α_{nl} – кут нахилу вугільного пласта по простяганню (18 град.); k_{cm} – коефіцієнт тертя ковзання сталь/сталь (є змінною величиною з середнім значенням 0,15); r_3 – радіус приводної зірочки рушія комбайна (0,15 м); m_k – маса комбайна (18000 кг); F_m – сила тяжіння комбайна, Н; Y – середня сила опору подачі комбайна зі сторони вугільного масиву, Н; J – механічний момент інерції комбайна, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; V_n – швидкість подачі комбайна, м/с .

На комбайні встановлено два приводи подачі, тому, якщо припустити рівномірність розподілу між ними зусиль на переміщення комбайна, маса комбайна повинна ділитися на два. Силу тяжіння комбайна F_m беремо зі знаком плюс для випадку переміщення комбайна знизу вверх.

Конструктивний технологічний взаємозв'язок комбайна та конвеєра у формулі розрахунку моменту опору $M_{o.n}$ на приводній зірочці рушія враховується через такі фізичні величини, як коефіцієнт тертя ковзання сталь/сталь k_{cm} та високочастотна періодична складова $M_{\theta-\omega}$.

Вплив зовнішнього середовища на видобувний комбайн враховується через середню силу опору подачі комбайна Y зі сторони вугільного масиву. Проведемо дослідження конструктивного технологічного зв'язку між зовнішнім середовищем та видобувним комбайном через моменту опору $M_{o.n}$ на приводній зірочці рушія приводу подачі.

Таблиця 3

Експериментальні значення середньої сили опору подачі комбайна при різних швидкостях подачі

V_n , м/хв	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Опірність вугілля різанню $A=407 \text{ Н/мм}$									
Y , кН	5,108	9,7	15,84	21,19	24,75	27,6	29,95	31,75	33,55
Опірність вугілля різанню $A=350 \text{ Н/мм}$									
Y , кН	4,37	8,36	13,57	18,2	21,27	23,55	25,7	27,4	29,1
Опірність вугілля різанню $A=300 \text{ Н/мм}$									
Y , кН	3,777	7,155	11,7	15,65	18,1	20,25	21,85	23,65	24,6
Опірність вугілля різанню $A=250 \text{ Н/мм}$									
Y , кН	3,13	5,95	9,74	12,92	15,25	16,9	18,44	19,72	20,7
Опірність вугілля різанню $A=200 \text{ Н/мм}$									
Y , кН	2,5	4,775	7,8	10,3	12,25	13,67	14,6	15,75	16,7
Опірність вугілля різанню $A=150 \text{ Н/мм}$									
Y , кН	1,875	3,58	5,86	7,8	9,3	10,1	11	11,92	12,35

Середня сила опору подачі комбайна Y зі сторони вугільного масиву залежить від швидкості подачі комбайна. Але ця залежність, як і у випадку з силою різання вугілля, міняється при зміні опірності вугілля різанню. Тому в цьому підрозділі стоїть задача встановлення залежності коефіцієнтів пропорційності між силою опору подачі комбайна Y та швидкістю подачі від опірності вугілля різанню A . Для рішення цієї задачі використовуються дані (табл.3), що отримані в ході випробувань видобувного комбайна УКД300 в реальних умовах на шахті «Павлоградська».

Отримаємо для залежності середньої сили опору подачі Y від швидкості подачі комбайна V_n при опірності вугілля різанню $A=407$ Н/мм рівняння лінійної регресії з нульовою константою. Для цього використаємо програму “Progr_3_mcd”, написану в математичному пакеті MathCad.

Progr_3_mcd. Визначення коефіцієнта рівняння лінійної регресії та коефіцієнта кореляції для залежності $Y(V_n)$ при $A = 407$ Н/мм

Значення Y_n для різних V_n при $A = 407$:

$$v_0 := 1 \quad Y_{407_0} := 5.108 \times 10^3$$

$$v_1 := 1.5 \quad Y_{407_1} := 9.7 \times 10^3$$

$$v_2 := 2 \quad Y_{407_2} := 1.584 \times 10^4$$

$$v_3 := 2.5 \quad Y_{407_3} := 2.119 \times 10^4$$

$$v_4 := 3 \quad Y_{407_4} := 2.475 \times 10^4$$

$$v_5 := 3.5 \quad Y_{407_5} := 2.76 \times 10^4$$

$$v_6 := 4 \quad Y_{407_6} := 2.995 \times 10^4$$

$$v_7 := 4.5 \quad Y_{407_7} := 3.175 \times 10^4$$

$$v_8 := 5 \quad Y_{407_8} := 3.355 \times 10^4$$

Коефіцієнт рівняння лінійної регресії для залежності Y_n (V_n) при $A = 407$:

$$b_Y := \text{slope}(v, Y_{407}) \quad b_Y = 7.152 \times 10^3$$

$$V_n := 0, 0.1.. 5$$

Задамо рівняння лінійної регресії:

$$Y_{407_teor}(V_n) := b_Y \cdot V_n$$

Обчислимо коефіцієнт кореляції між Y_n та V_n при $A = 407$:

$$K_kor_407 := \text{corr}(v, Y_{407}) \quad K_kor_407 = 0.976$$

Результатом виконання програми “Progr_3_mcd” є значення коефіцієнта пропорційності між середньою силою опору подачі та швидкістю подачі комбайна для опірності вугілля різанню 407 Н/мм ($K_{407}=7152 \text{ Н}\cdot\text{хв/м}$). Справедливість саме лінійної регресії підтверджується значенням коефіцієнта кореляції для залежності середньої сили опору подачі від швидкості подачі, що майже дорівнює одиниці.

Також результатом виконання програми “Progr_3_mcd” є нижченаведений графік рівняння лінійної регресії (суцільна лінія на рис.6) для залежності середньої сили опору подачі від швидкості подачі комбайна разом з експериментальними даними (показані маркерами у вигляді кіл на рис.6).

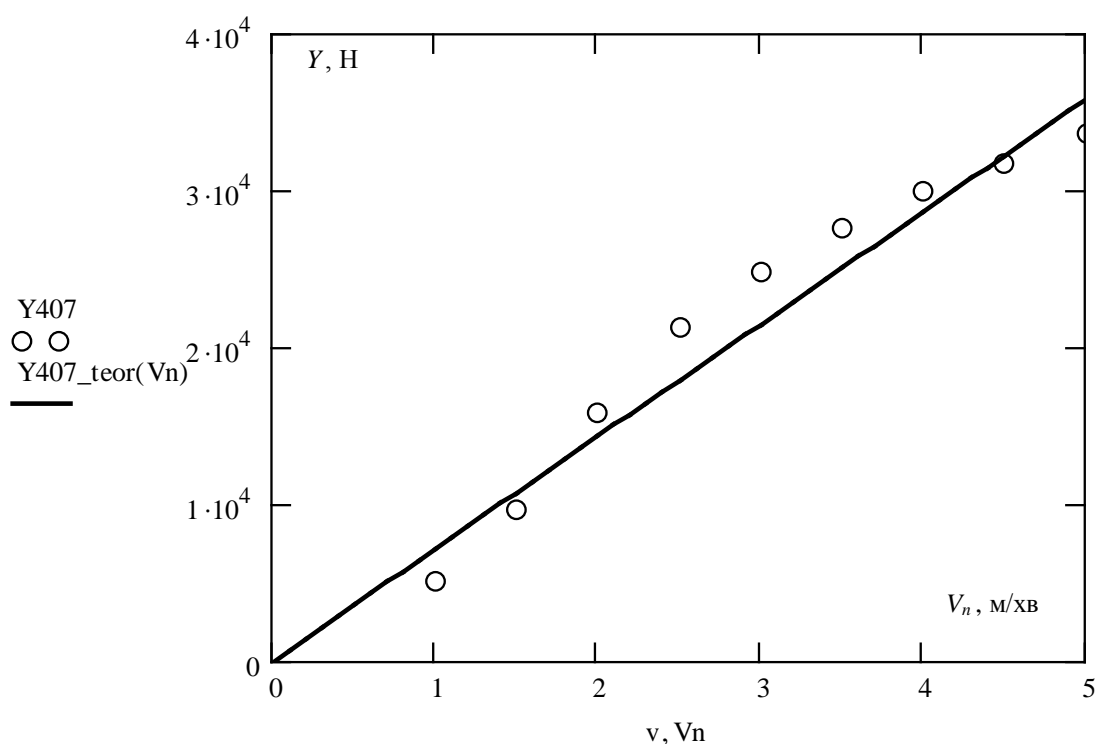


Рис. 6. Експериментальна та теоретична залежність середньої сили опору подачі від швидкості подачі при опірності вугілля різанню 407 Н/мм

Нижче у табл.4 наведені результати статистичної обробки експериментальних залежностей середньої сили опору подачі від швидкості подачі комбайна для інших опірностей вугілля різанню за допомогою програми “Progr_3_mcd”.

На основі даних, що наведені в табл.4, визначимо коефіцієнт рівняння лінійної регресії та коефіцієнт кореляції для залежності коефіцієнта пропорційності між середньою силою опору подачі та швидкістю подачі комбайна від опірності вугілля різанню. Для цього використаємо програму “Progr_4_mcd”.

Таблиця 4

Результати статистичної обробки експериментальних залежностей середньої сили опору подачі від швидкості подачі

Опірність вугілля різанню, Н/мм	Коефіцієнт рівняння лінійної регресії b_Y для залежності $Y(V_n)$, Н·хв/м	Коефіцієнт кореляції між Y та V_n
150	2650	0,975
200	3557	0,978
250	4433	0,978
300	5256	0,976
350	6191	0,978
407	7152	0,976

Progr_4_mcd. Визначення коефіцієнта рівняння лінійної регресії та коефіцієнта кореляції для залежності коефіцієнтів b_Y від опірності вугілля

Значення коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії для залежностей Y_n від V_n при відповідних значеннях опірності вугілля різанню:

$$A_0 := 150 \quad b_{Y_0} := 2.65 \times 10^3$$

$$A_1 := 200 \quad b_{Y_1} := 3.557 \times 10^3$$

$$A_2 := 250 \quad b_{Y_2} := 4.433 \times 10^3$$

$$A_3 := 300 \quad b_{Y_3} := 5.256 \times 10^3$$

$$A_4 := 350 \quad b_{Y_4} := 6.191 \times 10^3$$

$$A_5 := 407 \quad b_{Y_5} := 7.152 \times 10^3$$

Коефіцієнт рівняння лінійної регресії для залежності $b_Y(A)$:

$$B_Y := \text{slope}(A, b_Y) \quad B_Y = 17.497$$

$$A_y := 0, 0.1.. 410$$

Задамо рівняння лінійної регресії:

$$B_{Y_teor}(A_y) := B_Y \cdot A_y$$

Обчислимо коефіцієнт кореляції між b_Y та A :

$$K_{kor_Y} := \text{corr}(A, b_Y) \quad K_{kor_Y} = 1$$

Як результат виконання програми “Progr_4_mcd” нижче отриманий графік рівняння лінійної регресії (суцільна лінія на рис.7) для залежності коефіцієнтів b_Y від опірності вугілля різанню разом з результатами статистичної обробки експериментальних залежностей середньої сили опору подачі від швидкості подачі (показані маркерами у вигляді кіл на рис.7).

Також за результатами виконання програми “Progr_4_mcd” можна зробити висновок, що коефіцієнт пропорційності між середньою силою опору подачі та швидкістю подачі комбайна УКД300 є лінійною функцією опірності вугілля різанню (для умов шахти «Павлоградська»):

$$K_{Y(V_n)}(A) = \frac{\bar{Y}}{V_n} = 17,497 \cdot A, \frac{H \cdot xv}{m}.$$

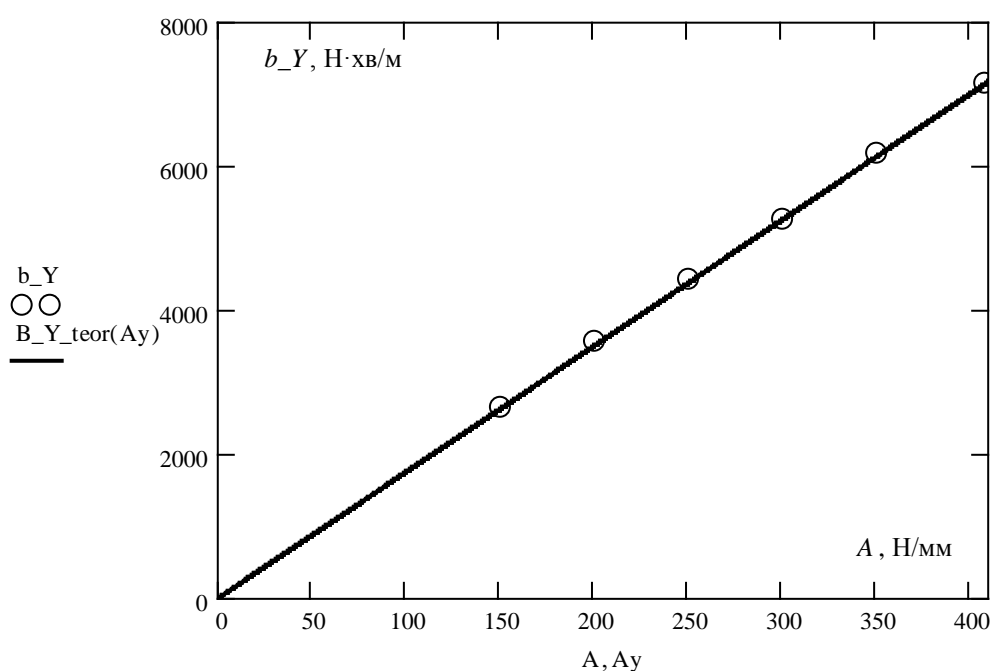


Рис. 7. Графік рівняння лінійної регресії (суцільна лінія) для залежності коефіцієнтів b_Y від опірності вугілля різанню A разом із значеннями коефіцієнтів b_Y (маркери) як результатами статистичного аналізу

Правильність висновку підтверджується тим, що коефіцієнт кореляції для залежності коефіцієнта пропорційності між середньою силою опору подачі та швидкістю подачі комбайна від опірності вугілля різанню дорівнює одиниці. Це означає лінійну залежність між цими двома величинами.

Висновки. Конструктивний технологічних зв'язок видобувного комбайну УКД300 з вугільним масивом через шнековий виконавчий орган в умовах пласта S_5 шахти «Павлоградська» описується лінійною залежністю відношення середнього моменту різання до швидкості подачі від опірності вугілля різанню з коефіцієнтом пропорційності $11 \text{ хв} \cdot \text{мм}$.

Конструктивний технологічний зв'язок видобувного комбайну УКД300 з вугільним масивом через опорні механізми в умовах пласта С₅ шахти «Павлоградська» описується лінійною залежністю відношення середньої сили опору подачі до швидкості подачі від опірності вугілля різанню з коефіцієнтом пропорційності 0,017497 хв.

Список літератури

1. 1. Изделия угольного машиностроения. Комбайны очистные. Методика выбора параметров и расчета сил резания и подачи на исполнительных органах : ГСТУ КД12.10.040–1999. — [Действует с 01.01.2000]. — Донецк : Минуглепром Украины, 1999. — 75 с.
2. Стадник Н.И. Особенности и функциональная модель мехатронного очистного комплекса / Н. И. Стадник, А. В. Сергеев, В. П. Кондрахин // «Горное оборудование и электромеханика». — Дніпропетровськ, 2008 — №5 — С. 32—40.
3. Стадник Н.И. Мехатроника в угольном машиностроении / Н. И. Стадник, А. В. Сергеев, В. П. Кондрахин // «Горное оборудование и электромеханика». — Дніпропетровськ, 2007 — №4 — С. 20—29.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.
Надійшло до редакції 25.10.2014*

An aerial photograph of a rugged, mountainous landscape. The terrain is characterized by steep, rocky slopes and a winding road that snakes through the valleys. A small settlement or village is visible in the lower right quadrant, nestled in a valley. The overall scene is one of a remote, high-altitude environment.

МАРКШЕЙДЕРІЯ ТА ГЕОІНФОРМАТИКА
MINE SURVEYING AND GEOINFORMATICS

УДК 528.8

© С.Л. Никулин, О.В. Коробко

АВТОМАТИЧЕСКИЙ И ИНТЕРАКТИВНЫЙ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СЕТЕЙ ЛИНЕАМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В работе проанализированы возможности, преимущества и недостатки автоматического и интерактивного выделения линеаментов на космических снимках, проведен сравнительный анализ результатов и дан ряд рекомендаций по выделению сетей линеаментов в интерактивном режиме.

У роботі проаналізовано можливості, переваги та недоліки автоматичного й інтерактивного виділення лінеаментів на космічних знімках, проведено порівняльний аналіз результатів і дано ряд рекомендацій по виділенню мереж лінеаментів в інтерактивному режимі.

The possibilities, advantages and disadvantages of automatic and interactive detection of lineaments on satellite images are analyzed. The comparative analysis of the results is carried out and recommendations for lineament networks interactive detection are given.

Постановка и состояние проблемы. Развитие космических технологий в сочетании с ростом вычислительных возможностей компьютерной техники сделали космические снимки важным источником данных для проведения геологических исследований. Стремительно возрастает роль линеаментного анализа, переживающего сейчас второе рождение. На фоне всеобщей автоматизации обработки геоданных особое внимание уделяется разработке методов, алгоритмов и систем автоматического выделения линеаментов. Появился целый ряд специализированных программных комплексов для работы с линеаментами – WinLessa [1], ALINA [2], Lineament [3], РАПИД [4]. Автоматическое выделение линеаментов (АВЛ) обычно базируется на предварительном обнаружении перепадов (границ) яркости исходного изображения, проводимом при помощи различных масочных алгоритмов, и последующем отборе протяженных линейных фрагментов этих границ.

Совершенствование методов АВЛ происходит на фоне снижения интереса к традиционному подходу к выделению линеаментов, выполняемому дешифровщиком вручную по подложке, в качестве которой используется анализируемый снимок. И хотя в настоящее время ручное выделение линеаментов реализуется на компьютере в интерактивном режиме, его суть остаётся прежней – решение о выделении или не выделении линеамента принимает человек.

Цель работы – анализ возможностей, преимущества и недостатков автоматического и интерактивного выделения линеаментов на космических снимках, с целью определения ряда рекомендаций по выделению сетей линеаментов в интерактивном режиме.

Исходные данные и инструментарий исследований. Для экспериментального исследования процесса и результатов автоматического выделения линеаментов использована наиболее известная и развитая система линеаментного анализа – WinLessa [1], разработанная под руководством А.А.Златопольского. В

настоящей работе приведен практический пример обработки демонстрационного снимка, поставляемого с WinLessa второй версии (рис. 1). Для сравнения обработка выполнялась как в режиме АВЛ, так и интерактивного выделения линеаментов (ИВЛ).

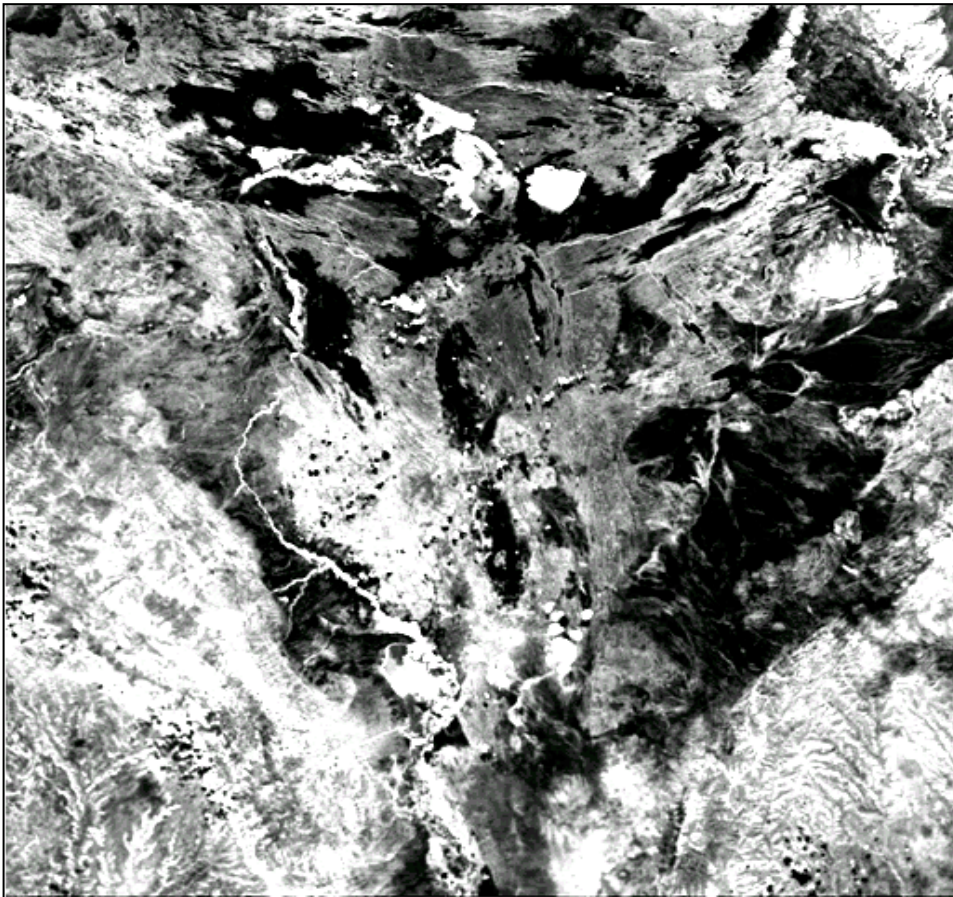


Рис. 1. Демонстрационный космический снимок, входящий в состав системы WinLessa 2

АВЛ и ИВЛ, их преимущества и недостатки. Декларируемые преимущества АВЛ – быстрота и простота выполнения операции, а также объективность получаемых результатов. При этом основные недостатки, которые традиционно приписываются ручному (или, в более современном варианте, - интерактивному) подходу – субъективизм и необходимость высокой квалификации дешифровщика (а, желательно, нескольких) для получения достоверных результатов.

Однако на практике автоматический подход обладает степенью субъективизма отнюдь не меньшей: специалист может влиять на результаты выделения линеаментов через выбор программного обеспечения, конкретного алгоритма, методов предварительной обработки снимка, разнообразных параметров и пороговых значений. Получаемые результаты могут разительно отличаться друг

от друга (рис. 2), причём отличия могут быть значительно больше, чем в случае интерактивного выделения линеаментов разными дешифровщиками.

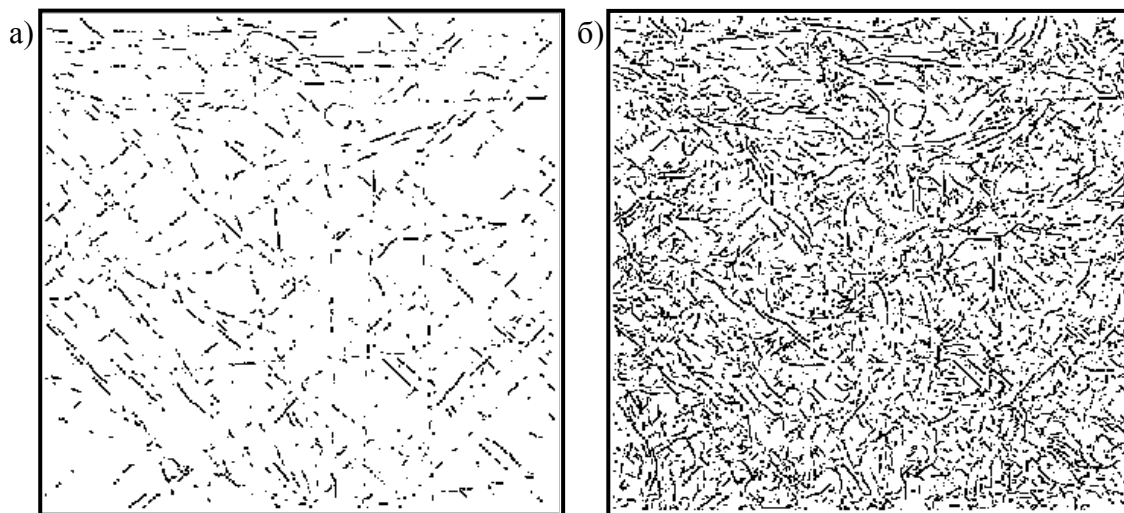


Рис. 2. Линеаменты, автоматически выделенные на снимке (рис. 1) системой WinLessa 2 при порогах 50 (а) и 20 (б)

В конечном счёте, автоматически выделенные линеаменты должны корректироваться в интерактивном режиме для устранения техногенных объектов и добавления линий, не выделенных компьютером, но при этом очевидных для человека. В итоге степень субъективизма при автоматическом выделении зачастую сравнима с присущей интерактивному подходу, а получаемые результаты, особенно в ситуации антропогенно-изменённых ландшафтов, менее адекватны реальной ситуации.

Существенным недостатком автоматического подхода является то, что он ориентирован на выделение отдельных линий, в то время как практически бесспорным является факт группировки их в системы, обладающие строгой выдержанностью по азимуту простирания и признаками эквидистантности [5, 6]. На практике линеаменты разных систем находятся во взаимодействии – они фрагментируют друг друга (очень часто с горизонтальными смещениями), проявляют себя как барьеры, ограничивающие простирание других линеаментов или сами упираются в линеаменты других систем. Эти часто проявляющиеся топологические свойства линеаментной сети никоим образом не используются современными методами и алгоритмами АВЛ, но легко могут быть учтены специалистом-геологом при работе в интерактивного режиме.

Современные методы автоматического выделения линеаментов (АВЛ) основаны на фиксации перепадов яркости снимка. Чем больше этот перепад, тем более уверенно выделяется линеамент. Соответственно, даже очень протяженный линеамент, которому соответствует слабый перепад яркости, может быть не зафиксирован в автоматическом режиме. На практике этому пытаются противостоять выбором низких пороговых значений выделения границ и предварительным контрастированием (либо увеличением резкости). Однако это ве-

дѣт к выделению значительного количества коротких границ, большинство из которых соответствуют мелким ландшафтным особенностям и не несут геологической информации.

Описанная проблема легко решается в интерактивном режиме опытным интерпретатором, поскольку распознающие способности человеческого мозга при работе с двумерными изображениями поистине огромны. Известно, что мозг обладает способностью отвечать на бесконечное множество состояний внешней среды конечным числом реакций. Это позволяет ему легко сводить разнообразные формы проявления линейных геологических и ландшафтных структур на снимке к простейшему графическому примитиву – линии.

Тот факт, что алгоритмы АВЛ основаны на выделении границ яркости, обуславливает и другую проблему. Глобальная сеть линеаментов (или близкая к ней по своей сути глобальная сеть трещиноватости), по мнению многих исследователей, существует повсеместно и достаточно близка к регулярной (хотя и нарушена позднейшими тектоническими дислокациями). Однако проявленность отдельных линеаментов зависит как от времени их последней активации, так и от интенсивности денудационных процессов. Даже небольшой линеамент, активный, например, в результате проявления современной сейсмичности, на снимке отражается более существенным перепадом яркости по сравнению с линеаментами даже самых высоких порядков, но переживавших последнюю тектоническую активацию в глубокой древности. Это приводит к тому, что АВЛ даёт геологически малосодержательную картину, выделяя, в первую очередь, линеаменты, по которым развивается овражно-балочная и гидрографическая системы. Таким образом, построенную сеть можно считать некоторой случайной реализацией истинной сети линеаментов.

ИВЛ позволяет использовать множество других критериев фиксации линеаментов кроме величины перепада яркости, и принимать во внимание, в том числе, границы зон с разным характером проявления того или иного явления или характеристики, текстурные особенности ландшафта, а также общие свойства линеаментной сети (например, её ячеистость), типичные топологические отношения между линеаментами разных направлений и многое другое.

На рисунке 3 приведены результаты построения линеаментной сети на тестовом участке с использованием АВЛ и ИВЛ. На рисунках (а-в) показаны линеаменты, выделенные при разных пороговых значениях. Очевидно, что выбор «наилучшего» из них сам по себе является серьёзной задачей, требующей определённой квалификации и привлечения субъективных суждений и представлений эксперта-интерпретатора.

Но ни один из представленных вариантов АВЛ не даёт той четкости и упорядоченности линеаментной сети, как приведенный на рис. 3г. Чем больше объектов выделяется методом АВЛ, тем более походит построенная линеаментная сеть на совокупность обычных границ яркости снимка, отражающих поверхностный ландшафт, тем слабее проявляется её природная ячеистость, тем меньше геологическая ценность. Следует отметить, что подобные результа-

ты были получены на множестве других снимков с использованием различных модификаций АВЛ.

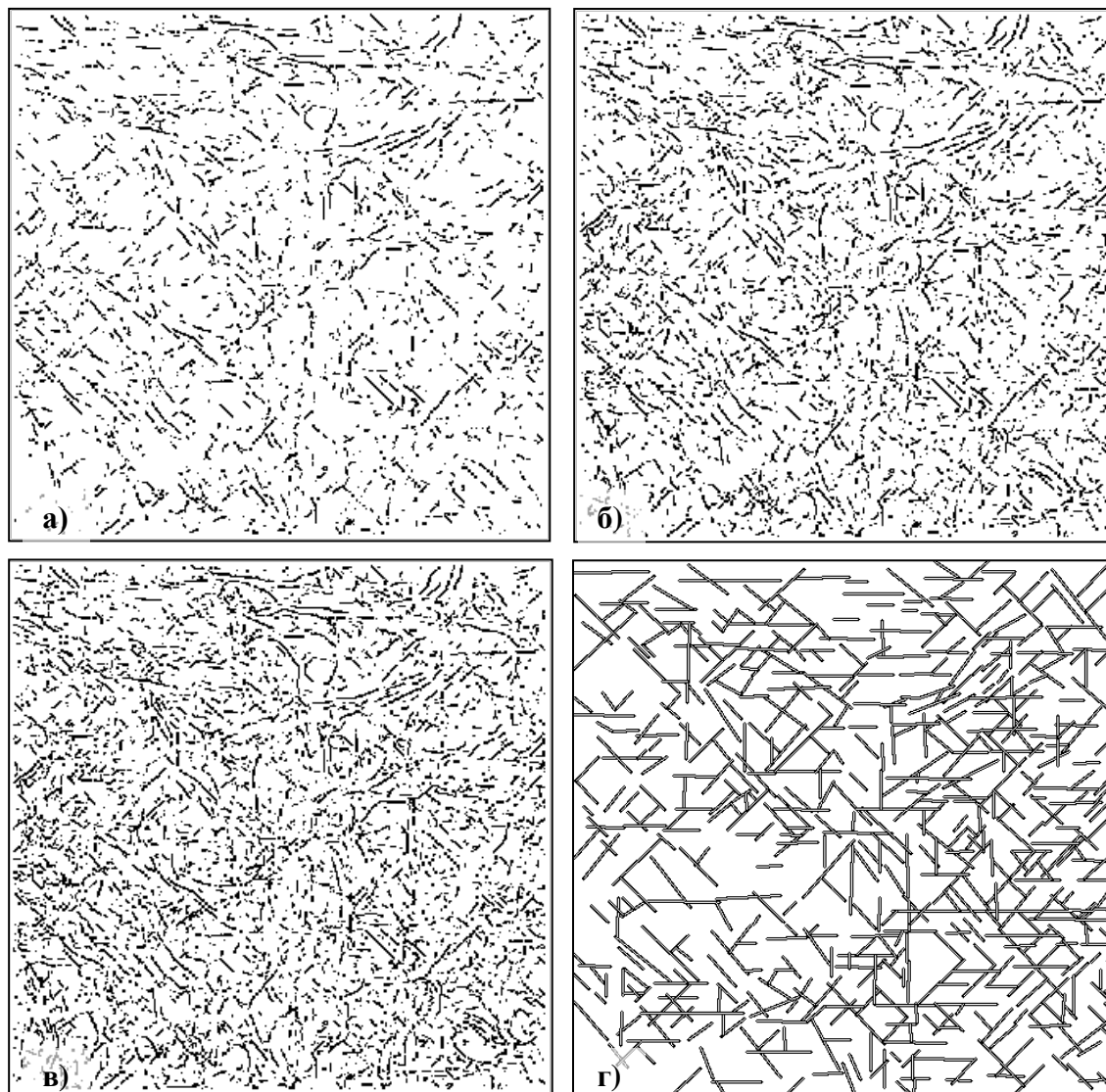


Рис. 3. Результаты автоматического выделения линеаментов системой WinLessa при порогах 40 (а), 30 (б) и 25 (в), и ручного выделения в среде ГИС РАПИД (г)

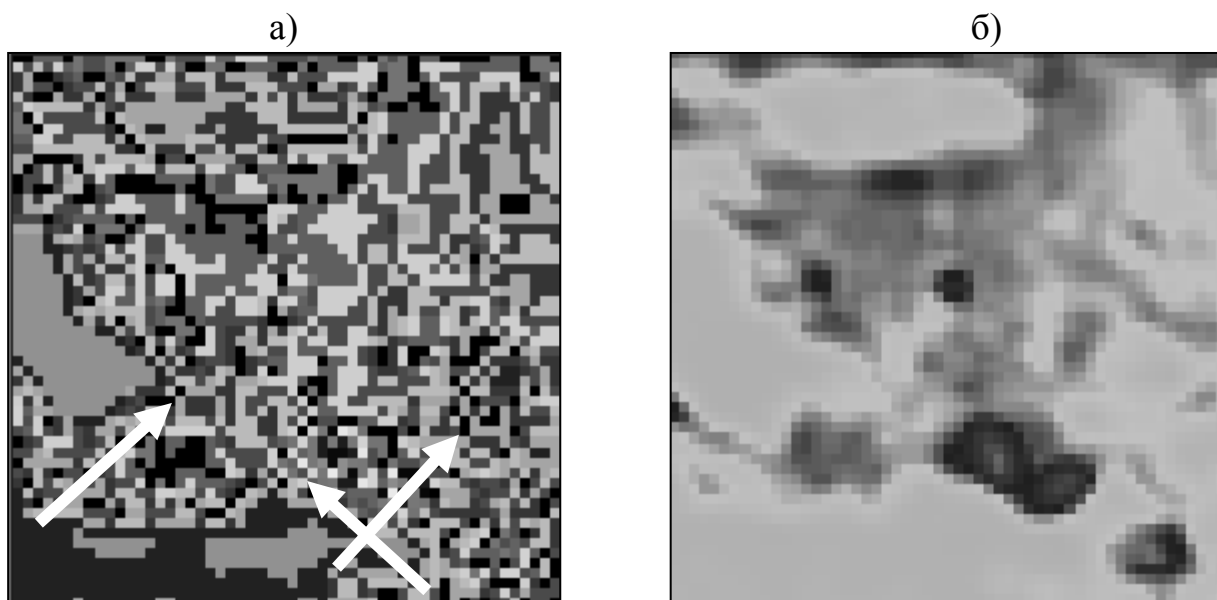
Вместе с тем, в автоматическом режиме на представленном снимке выделены все наиболее явно проявленные линейные структуры, а общий рисунок поля линеаментов и основные азимуты их простирания в целом адекватны действительности. Это позволяет использовать результаты АВЛ в качестве «первого приближения» для проведения экспресс-оценки исследуемых участков. Однако решение серьезных геологических задач методами линеаментного анализа не может базироваться на АВЛ, как по соображениям, высказанным выше, так и с учётом антропогенной изменённости ландшафтов, присущей, в частности, подавляющей части территории Украины.

Поэтому автоматическое выделение обязательно должно подкрепляться интерактивным, использующим ГИС-инструменты, знания и опыт геолога-дешифровщика и колоссальные распознающие возможности человеческого мозга.

Рекомендации по выполнению ИВЛ. Практический опыт ИВЛ на разнообразных снимках разных участков Земного шара позволил сформировать ряд рекомендаций, позволяющих добиваться достоверных результатов линейного анализа:

1. Эффективным способом обнаружения линейных элементов снимка является его псевдоцветовое кодирование, при котором каждому яркостному диапазону присваивается значение цвета, полученное случайным образом. В отличие от цветových палитр, в которых близким значениям яркости соответствуют близкие цвета, палитра, сформированная при помощи случайного выбора цветов, подчеркивает даже незначительные перепады яркости, что особо ценно в случаях слаборасчленённого рельефа и мощного осадочного чехла.

2. Для более уверенного построения линейной сети рекомендуется выполнять выделение линейных элементов при разном количестве интервалов яркости (и, соответственно, цветов, которыми кодируется снимок) – 256, 128, 64, 32, 16, 8. В случае слабоконтрастного ландшафта, как свидетельствует практический опыт, использование малого количества интервалов зачастую является предпочтительным (рис. 4). В целом, варьирование параметрами визуализации является весьма полезным приемом при работе с геоизображениями.



⇒ Примеры линейных структур, проявляющихся на снимке после псевдоцветового кодирования

Рис. 4. Фрагмент исходного изображения: а) в серой палитре 256-цветной палитре б) после псевдоцветового кодирования в 20-цветной палитре

3. Предварительная обработка снимка может привести к улучшению результатов как ИВЛ, так и АВЛ. Рекомендуется использование лишь тех процедур, которые не базируются на вычислениях в скользящем или прыгающем окне квадратной формы, так как это приводит к усилению диагональных составляющих изображения и, как следствие, возникновению риска выделения несуществующих линеаментов с азимутами 45 и 135 градусов. Оптимальная форма окна – круг. Целесообразно проводить обработку при окнах разных размеров, что позволяет изучать снимок при разных степенях его генерализации.

4. В числе рекомендуемых преобразований следует упомянуть операции повышения контрастности, повышения резкости при помощи масок (не квадратной формы), ряд интегральных и текстурных преобразований [4], выполняемых в круглом окне.

5. Наличие нескольких спектральных каналов снимка также позволяет повысить качество построения линеаментной сети [7]. Целесообразно производить выделение с привлечением всех (или нескольких наиболее характерных) каналов, потому что линеаменты, не фиксирующиеся по одному каналу, могут выделяться на другом. Может быть полезен и расчёт статистических характеристик (оценок среднего, дисперсии, эксцесса и т.п.) для пикселей снимка, каждый из которых представляется вектором значений яркости различных каналов. В некоторых ситуациях хорошие результаты может дать расчёт вегетационных индексов, таких как NDVI, RVI и других. Большой интерес представляют главные компоненты многоканальных снимков, полученные соответствующим методом [8].

6. В конечном счёте, визуальному анализу должно подвергаться 5-7 изображений, наиболее хорошо подчёркивающих линеаментную структуру земной поверхности. При работе с каждым из изображений актуальны рекомендации, приведенные в пунктах 1 и 2.

В качестве линеаментов целесообразно выделять только те линейные структуры, которые уверенно выделяются хотя бы на 2-3х изображениях.

Применение описанной методики позволяет получать геологически осмысленные, содержательные результаты, подобные приведенным на рис. 3г.

Выводы. На настоящем этапе своего развития методы и алгоритмы автоматического выделения линеаментов могут успешно использоваться только для предварительной оценки сетей линеаментов в регионах с малой и средней техногенной нагрузкой на ландшафты.

Однако АВЛ имеет существенные возможности для своего развития. Пути повышения его эффективности лежат через учёт топологических особенностей сетей линеаментов, эквидистантность линеаментов отдельных направлений, выявление линейных структур, не выделяемых перепадами яркости космических снимков, а также выработку количественных критериев выбора параметров алгоритмов АВЛ [9].

Но на сегодняшний день максимально адекватные результаты могут быть получены исключительно методами интерактивного выделения линеаментов, предполагающими высокую квалификацию геолога-дешифровщика, а также

использование специализированных ГИС-пакетов. Подобное выделение линейных элементов не следует воспринимать, как слабо компьютеризованный процесс. Он обязательно должен выполняться в ГИС-среде, поскольку предполагает достаточное количество разнообразных вычислительных операций, связанных с привязкой, преобразованием и визуализацией снимка.

Разумеется, ручное выделение требует несравненно больших затрат времени по сравнению с АВЛ. Вместе с тем, эти затраты не столь велики, чтобы из-за них пренебрегать качеством линейного анализа и, как следствие, достоверностью получаемых геологических результатов.

Список литературы

1. Zlatopolsky A. Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis). Automated linear image features analysis - experimental results / A. Zlatopolsky // Computers & Geosciences, 1992. - v. 18, N 9. - p. 1121-1126.
2. Щепин М.В. Выявление геологических объектов на материалах космической съемки / М.В. Щепин, С.В.Евдокимов // Исслед. Земли из космоса, 2008. № 2. - С. 44–56.
3. Загубный Д.Г. Новая программа обработки векторных и растровых дистанционных материалов для ГИС // Исследование Земли из космоса. 2004. № 5. С. 21–27.
4. Busygin, B.S. Specialized geoinformation system RAPID: features, structure, tasks / Busygin, B.S., Nikulin S.L. / XIVth International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects. – Kyiv, 2015. – 4 p.
5. Lev Maslov and Vladimir Anokhin Earth's decelerated rotation and regularities in orientation of its surface lineaments and faults – New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 35, June, 2005. Higgins, Australia P. 29-33.
6. Busygin B. The investigation of lineaments location regularity in mountain regions using the satellite images / B.Busygin, S. Nikulin // Proc. of IAMG MatGeoS-2008 Conference, Freiberg, Germany. – June 2008.
7. Никулин С.Л. Использование многоканальных космических снимков для линейного анализа территорий / С.Л. Никулин // Науковий вісник ДВНЗ «НГУ». -2011.-№2. - С.62-68.
8. Айвазян С. А.. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин – М.: Финансы и статистика, 1989.- 607 с.
9. Никулин С.Л. Влияние параметров алгоритма Кенни на результаты выделения границ яркости космических снимков /С.Л.Никулин, О.В.Коробко // Збірка наукових праць НГУ. – Д: Державний ВНЗ «НГУ», 2015. – №43. – С.145-150.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Назаренком В.О.
Надійшла до редакції 10.11.2014*



**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ І СИСТЕМИ
АВТОМАТИЗАЦІЇ
ELECTRICAL SYSTEMS AND AUTOMATION
SYSTEMS**

УДК 621.771.25

© О.А. Бойко

КОМПЛЕКСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЫХОДОМ МЕРНОГО ПРОКАТА НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Проанализовано основные технико-экономические показатели производства мерного проката. Обоснована возможность управления выходом готового проката за рахунок поля допусков. Запропонована структура системы комплексного управления выходом мерного проката на основе информационных технологий.

Проанализированы основные технико-экономические показатели производства мерного проката. Обоснована возможность управления выходом готового проката за счет поля допусков. Предложена структура системы комплексного управления выходом мерного проката на основе информационных технологий.

Analyzes the main technical and economic indicators of production dimensional hire. The opportunity of controlling the output of finished rolled by tolerances. The structure of the integrated management system dimensional rental yield based on information technologies.

Постановка задачи. Мерный прокат производится из заготовок. Во время преобразования заготовки в готовый прокат возникают неизбежные потери металла связанные с требованиями технологического процесса. Далее готовый прокат режется на прутки, после чего они охлаждаются и из них формируются пакеты, которые в свою очередь режутся на пачки мерных стержней. В результате последней операции кроме пачек мерных стержней так же образуются пачки не мерных стержней и технологическая обрезь. Пачки мерных стержней реализуются по цене оговоренной заказом, пачки не мерных стержней реализуются дешевле, технологическая обрезь реализуется по цене металлолома или отправляется на переплавку [1].

На основании этого одним из важнейших технико-экономических показателей, характеризующих производство проката на мелкосортных станах, является коэффициент выхода немерной продукции – K_{HM} , характеризующий долю немерной продукции в общем объеме произведенного прокатным станом товарного проката [2]:

$$K_{HM} = \frac{G_{HM}}{G_M + G_{HM}}, \quad (1)$$

где G_{HM} , G_M – масса немерной и мерной соответственно товарной продукции произведенная из заготовки массой G_3 . На ряду с коэффициентом немерной продукции важным технико-экономическим показателем является расходный коэффициент металла – K_{PM} , характеризующий затраты металла на производство массовой единицы прокатной продукции:

$$K_{PM} = \frac{G_3}{G_M + G_{HM}}. \quad (2)$$

На основании технико-экономических критериев из процесса производства мелкосортного мерного проката выделяют два типа операций: обеспечи-

вающие формоизменение металла заготовки до требуемой формы и размеров поперечного сечения проката и обеспечивающие формирование стержней товарного проката.

Операции, обеспечивающие формоизменение металла заготовки предполагают управление длиной проката на выходе последней клетки чистовой группы таким образом, что бы она была оптимальна для операций, обеспечивающих формирование стержней товарного проката, при минимальном расходе металла.

Операции, обеспечивающие формирование стержней товарного проката предполагают управление в соответствии с такой стратегией, что бы обеспечивался минимальный коэффициент выхода немерного проката и минимальная технологическая обрезь для проката каждой отдельной заготовки.

Следовательно, достижение цели управления для операции, обеспечивающей формоизменение металла заготовки до требуемой формы и размеров поперечного сечения проката, может быть обеспечено за счет управления режимом обжатия в двух последних клетях чистовой группы клеток. Это в свою очередь повлияет на операции формирования стержней товарного проката.

Исходя из этого, задачей настоящей статьи является анализ возможности управления выходом мерного проката на основе информационных технологий за счет управления размерами поперечного сечения проката.

Изложение основного материала исследований. По завершению операций формоизменения металла заготовки до требуемой формы получается готовый прокат. В связи с ограниченной длиной холодильника, готовый прокат должен быть порезан на прутки с длиной меньше длины холодильника. При этом данная операция в дальнейшем повлияет на порезку пакетов прутков на пачки стержней и, следовательно, на выход мерной продукции [3].

Операция порезки проката выполняется в два этапа. На первом этапе составляется раскройный план, который определяет, на сколько прутков и какой длины должен быть порезан прокат текущей прокатываемой заготовки. На втором этапе выполняется непосредственная порезка проката.

При составлении раскройного плана конкретной заготовки он строится на базе прогнозируемой длины заготовки. Очевидно, что длина готового проката зависит от длины заготовки.

На основании этого следует, что система управления операциями формирования проката должна обеспечивать оптимальную длину проката для каждой конкретной заготовки в соответствии с выбранным раскройным планом. Что в свою очередь позволит обеспечить минимальные потери проката на технологическую обрезь и, следовательно, его выход на максимальном уровне.

Рассмотрим возможность управления длиной проката за счет поля допусков на примере круглого проката диаметром 10 мм прокатываемого из заготовки сечением 80 x 80 мм и длиной 11,7 м. Геометрические размеры проката должны соответствовать стандартам на данный тип проката. По ГОСТ 2590-88 отрицательное предельное отклонения круглого проката диаметром 10 мм не должно превышать -0,5 мм, положительное предельное отклонение не должно

превышать +0,3 мм. Кроме этого овальность проката не должна превышать 50% суммы предельных отклонений по диаметру.

Сначала определим площадь круглого проката:

$$S_{\text{кп}} = \pi \cdot \frac{d^2}{4}, \quad (3)$$

где $S_{\text{кп}}$ – площадь круглого проката, d – диаметр круглого проката.

Площадь круглого проката $S_{\text{кп}}$ прокатываемого в соответствии с размером равна 78,54 мм², площадь проката прокатываемого с отклонением +0,3 мм равна 83,32 мм², а площадь проката прокатываемого с отклонением -0,5 мм равна 70,88 мм². Далее определим объем заготовки:

$$V_3 = a_3 \cdot a_3 \cdot l_3, \quad (4)$$

где V_3 – объем заготовки, a_3 – размер грани заготовки, l_3 – длина заготовки.

Объем заготовки V_3 – равен 76800000 мм³. Далее определением длину проката:

$$l_{\text{кп}} = \frac{V_3}{S_{\text{кп}}}, \quad (5)$$

где $l_{\text{кп}}$ – длина круглого проката, V_3 – объем заготовки, $S_{\text{кп}}$ – площадь круглого проката.

Длина круглого проката $l_{\text{кп}}$ прокатываемого в соответствии с размером равна 978 м, длина проката прокатываемого с отклонением +0,3 мм равна 922 м, а длина проката прокатываемого с отклонением -0,5 мм равна 1083 м. Определим диапазон изменения длины проката:

$$\Delta l = l_{\text{кп макс}} - l_{\text{кп мин}}, \quad (6)$$

где Δl – диапазон изменения длины круглого проката, $l_{\text{кп макс}}$ – максимальная длина круглого проката, $l_{\text{кп мин}}$ – минимальная длина круглого проката.

Диапазон изменения длины готового круглого проката диаметром 10 мм равен 161 м. На основе этого можно сделать вывод, что существует возможность управлять длиной готового проката за счет изменения его геометрических размеров в пределах поля допусков.

Рассмотрим связь между диаметром готового проката и длиной заготовки. Для этого рассчитаем максимальный и минимальный диаметры круглого проката, находящиеся в пределах поля допусков, при которых длина проката на выходе выпускной клетки кратна мерной длине, в зависимости от длины исходной заготовки. Примем исходное сечение заготовки 80 x 80 мм, диапазон варьирования длины заготовки – от 11 до 12 м. Результаты расчета приведены на рисунке 1.

Из приведенного рисунка следует, что для разных длин заготовок существует множество значений диаметров готового проката, лежащих в поле его допусков, при котором обеспечивается кратность длины проката на выходе выпускной клетки мерной длине стержней.

Следовательно, для каждой длины заготовки может быть поставлен в соответствие такой режим обжатий, при котором обеспечивается максимально возможный выход мерной продукции.

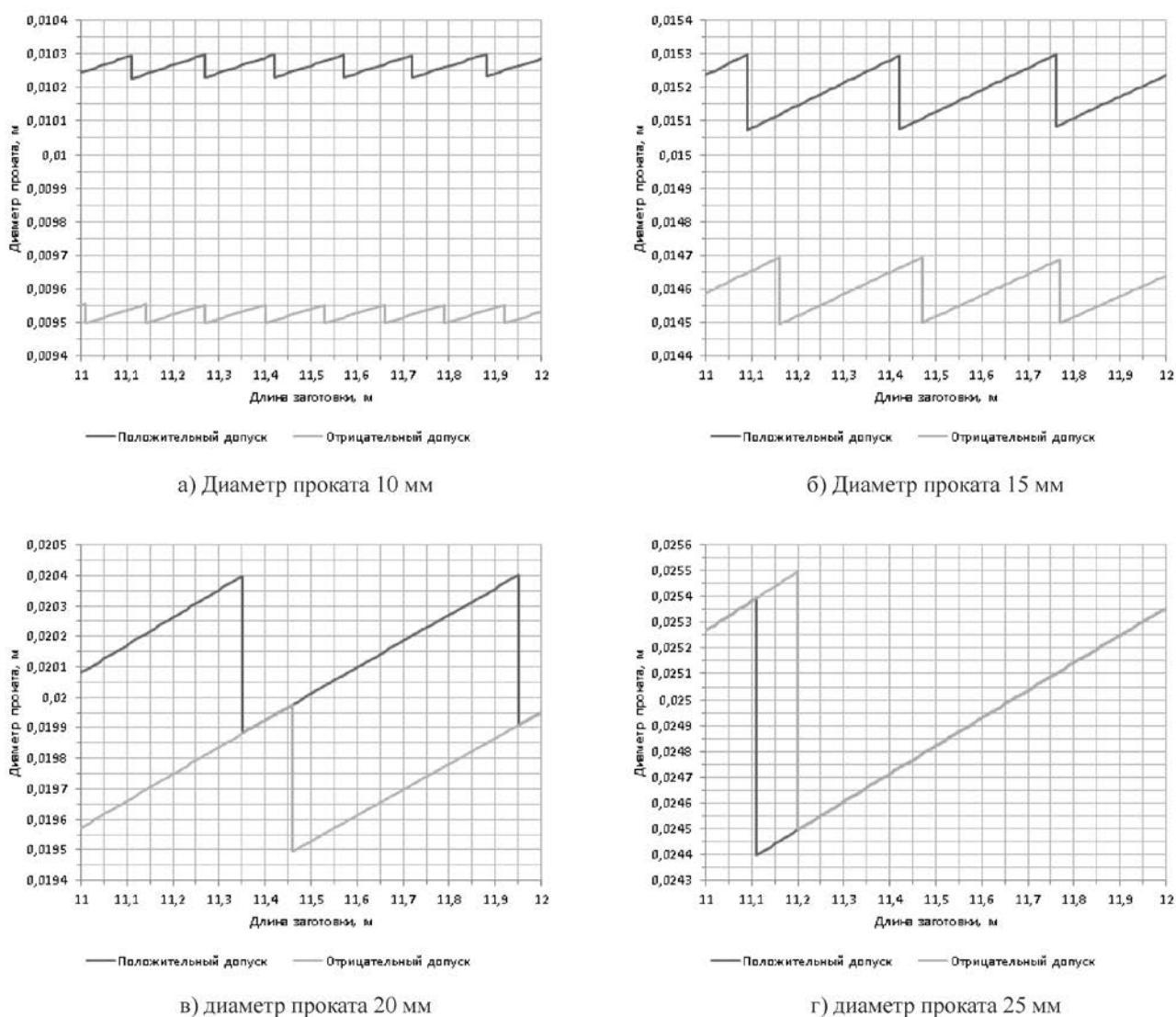


Рис. 1. Круглый прокат

Для проверки данного предположения рассмотрим выход мерной продукции при реализации оптимального алгоритма раскроя для круглого проката с номинальным диаметром 10 мм прокатываемом из заготовок 80 x 80 мм при варьировании ее длины в диапазоне от 11 до 12 м для трех значений фактических диаметров проката на выходе выпускной клетки, соответствующим максимальному, минимальному и номинальному диаметру поля допусков. Результаты расчета приведены на рисунке 2.

Из графиков видно, что изменение диаметра проката на выходе выпускной клетки приводит к смещению функциональной зависимости выхода мерной продукции от длины исходной заготовки относительно оси ординат при сохранении всех других характеристиках данной зависимости.

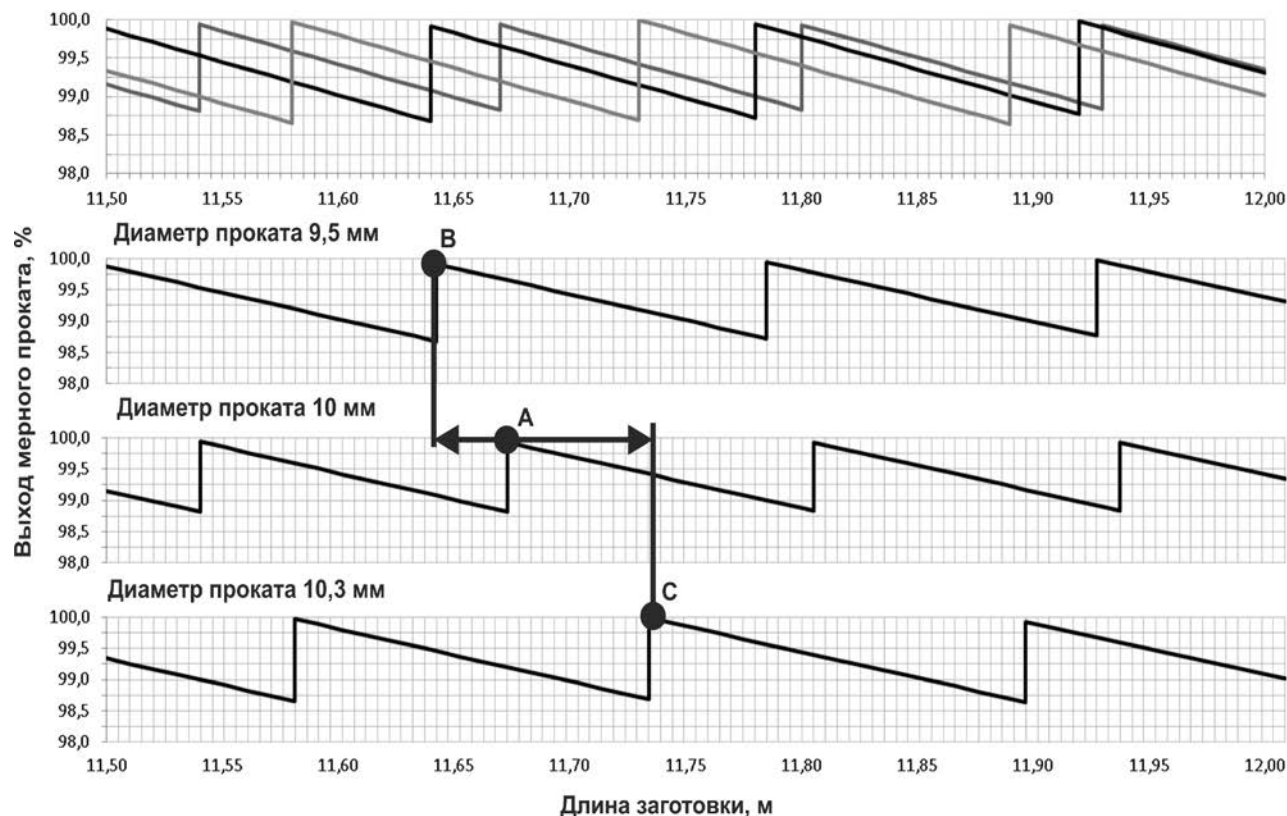


Рис. 2. Круглый прокат диаметром 20 мм

Так, при изменении диаметра проката в пределах поля допусков, происходит смещение максимума выхода мерной продукции. При уменьшении диаметра проката относительно номинального значения, положение максимума **A** на оси ординат смещается к положению **B**, соответствующего максимуму выхода мерной продукции при минимально возможном диаметре в отрицательном поле допуска, а при увеличении диаметра – к положению **C**, соответствующего максимуму выхода мерной продукции при максимально возможном диаметре в положительном поле допуска.

Следовательно, увеличение выхода мерной продукции может быть достигнуто за счет выбора рационального режима обжатий заготовки в клетях. Поскольку каждой длине заготовки соответствует, в общем случае, свое множество оптимальных, в смысле выхода мерной продукции, диаметров проката, то такой выбор предполагает оперативное управление режимом обжатий металла в клетях, на основании чего может быть построена система управления.

Проведенный анализ показывает, что система управления выходом мерного должна охватывать, как операции формоизменения металла заготовки, так и операции формирования стержней. Следовательно, такая система должна быть комплексная и включать в себя подсистему формирования раскройного плана, подсистему прогнозирования длины заготовки, подсистему прогнозирования длины проката, подсистему формирования длины проката за счет поля допусков и подсистему порезки проката в соответствии с раскройным планом. Структура системы приведена на рисунке 3.

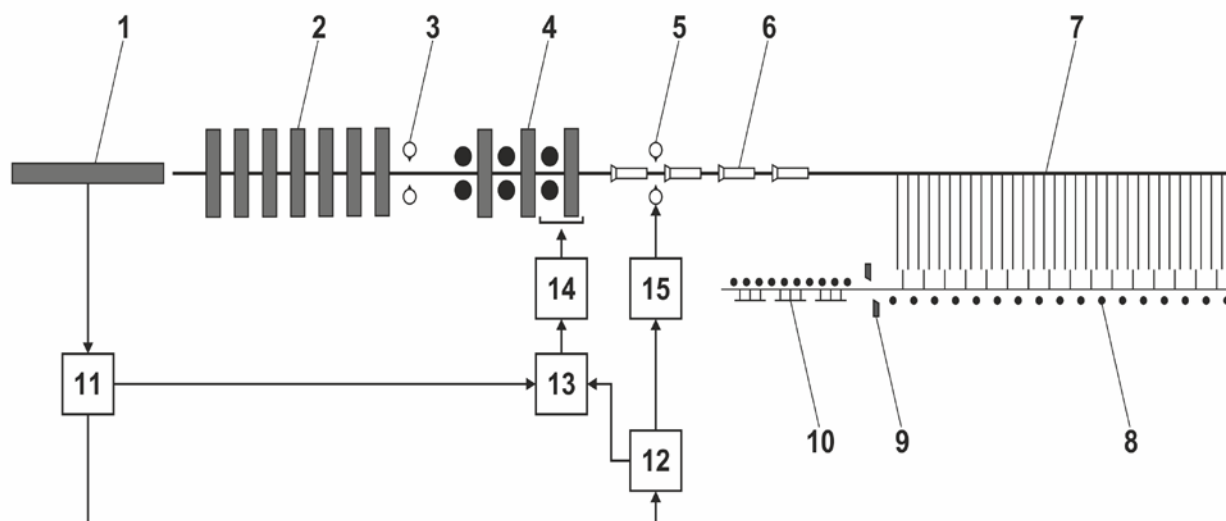


Рис. 3. Структура комплексной системы управления выходом мерного проката: 1 – заготовка; 2 – черновая группа клетей; 3 – старт-стопные летучие ножницы; 4 – чистовая группа клетей; 5 – барабанные летучие ножницы; 6 – линия принудительного охлаждения (термоупрочнения) проката; 7 – холодильник; 8 – отводящий рольганг; 9 – стационарные ножницы; 10 – приемный карман; 11 – подсистема прогнозирования длины заготовки; 12 – подсистема формирования раскройного плана; 13 – подсистема прогнозирования длины проката; 14 – подсистема формирования длины проката; 15 – подсистема порезки проката.

Приведенная комплексная система управления выходом мерного проката будет функционировать следующим образом. Сначала подсистема 11 выполняет прогнозирование длины заготовки 1, далее на основании этой информации подсистема 12 формирует раскройный план, на основании раскройного плана подсистема 13 прогнозирует длину проката в соответствии с диаметром проката и полем допуска. Во время прокатки на основании информации о длине проката подсистема 14 формирует требуемую длину проката, изменяя геометрические размеры проката в пределах поля допусков. Подсистема 15 выполняет раскрой проката в соответствии с раскройным планом.

Таким образом, предложенная комплексная система управления выполняет раскройный план более точно, так как длина проката не только прогнозируется на основе размера заготовки, но и формируется за счет управления геометрическими размерами проката в пределах поля допусков. Повышение качества выполнения раскройного плана в свою очередь приведет к увеличению выхода мерного проката.

Выводы. 1. Системы формирования раскройных планов при расчете длины прутков и их количестве рассчитывают длину готового проката на основании прогнозированной длины заготовки. Качество выполнения раскройного плана напрямую зависит от качества прогнозирования длины заготовки.

2. Длиной готового проката можно управлять за счет изменения геометрических размеров проката, в пределах поля допусков оговариваемых соответствующим стандартом.

3. Управление длиной готового проката позволяет компенсировать изменение длин заготовок и поддерживать выход мерного проката на максимально уровне, за счет уменьшения количества технологической обрезки.

4. В предложенной комплексной системе управления выходом мерного проката подсистема формирования раскройного плана, на основании спрогнозированной длины заготовки рассчитывает задание для подсистемы формирования длины проката, которая в свою очередь обеспечивает заданное значение длины готового проката. Что гарантирует точное выполнение раскройного плана и обеспечивает стабильное приближенное к максимальному значению выхода мерного проката.

Список литературы

1. Чекмарев А.П. Прокатка на мелкосортных станах / Чекмарев А.П., Гречко В.П., Гетманец В.В., Ховрин Б.В. – М.: Металлургия, 1967. – 363 с.
2. Бешта А.С. Технично-економічні показателі виробництва мелкосортного проката в стержнях як цільова функція управління / А.С. Бешта, А.П. Егоров, О.А. Бойко, М.Ю. Кузьменко, Соколова А.С. – Днепропетровск, Теория и практика металлургии, №3, 2013, с. 57-61.
3. Куваєв В.М. Розвиток наукових основ автоматизації процесів виробництва арматурного прокату: автореф. дис. д-ра техн.наук. / Куваєв В.М. – Дніпропетровськ, 2007. – 35 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 27.02.2015*

УДК 004.94:550.3:622.831.3:681.178

© Н.А. Иконникова

ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Обоснованы информативные параметры контроля устойчивости геотехнических систем
Обґрунтовані інформативні параметри контролю стійкості геотехнічних систем
Informative parameters of geotechnical systems stability control are proved

В горных геотехнических системах, прежде всего, в силу специфики геологического строения породных массивов, высокой фрактальной размерности пород и полезных ископаемых, являющимися одновременно объектами, вмещающими шахты, рудники и подземные сооружения, и объектами добычи и переработки, возможно как самопроизвольное возникновение процессов самоорганизации, так и хаотических процессов. Эти процессы могут быть доминирующими или частичными, а в зависимости от положения равновесия -

устойчивыми или неустойчивыми, потеря устойчивости может быть мягкой или жесткой [1].

Цель работы - обоснование информативных параметров потери устойчивости равновесных и автоколебательных режимов через хаотизацию динамических процессов на основе теории катастроф.

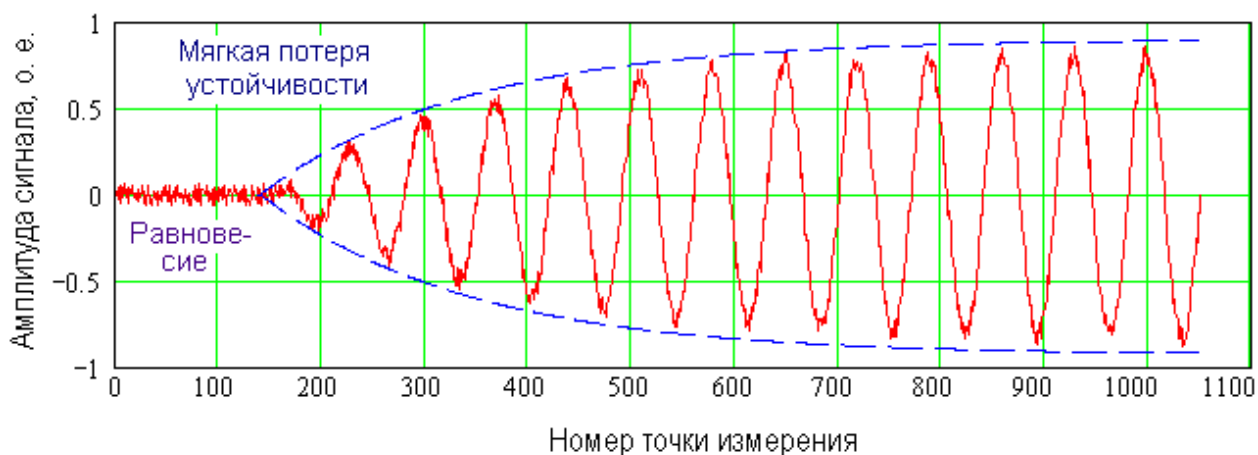
При мягкой потере устойчивости устанавливается колебательный периодический режим, который на начальном этапе мало чем отличается от состояния равновесия, рис. 1 а [1]. При жесткой потере устойчивости система скачком уходит из стационарного режима равновесия и переходит на другой режим движения, как правило, установившийся колебательный периодический режим, рис. 1 б. Режим, установившийся после потери устойчивости равновесного состояния, называется странный аттрактор (не равновесие и не предельный цикл). Такой режим означает, что в системе наблюдаются сложные непериодические колебания, для внешнего экспериментатора - турбулентные. Переход от устойчивого состояния равновесия к странному аттрактору может совершаться непосредственно сразу скачком при жесткой потере устойчивости (рис. 1 б), так и после возникновения мягкой потери устойчивости (рис. 1 а). Если хаотический режим не является необходимым технологическим режимом работы, то доводить динамическую систему до хаотического режима весьма опасно.

Известно, что в настоящее время в результате изучения перехода динамических систем к хаосу сложилось представление о трех типичных сценариях, а именно: через каскад удвоений периода (сценарий Фейгенбаума), для гидравлических систем через перемежаемости первого, второго и третьего типов и квазипериодические режимы [2]. Сценарий хаотизации колебательного процесса через удвоение периода приведен на рис. 1 в, при этом потеря устойчивости цикла в однопараметрическом семействе систем возможна следующими способами:

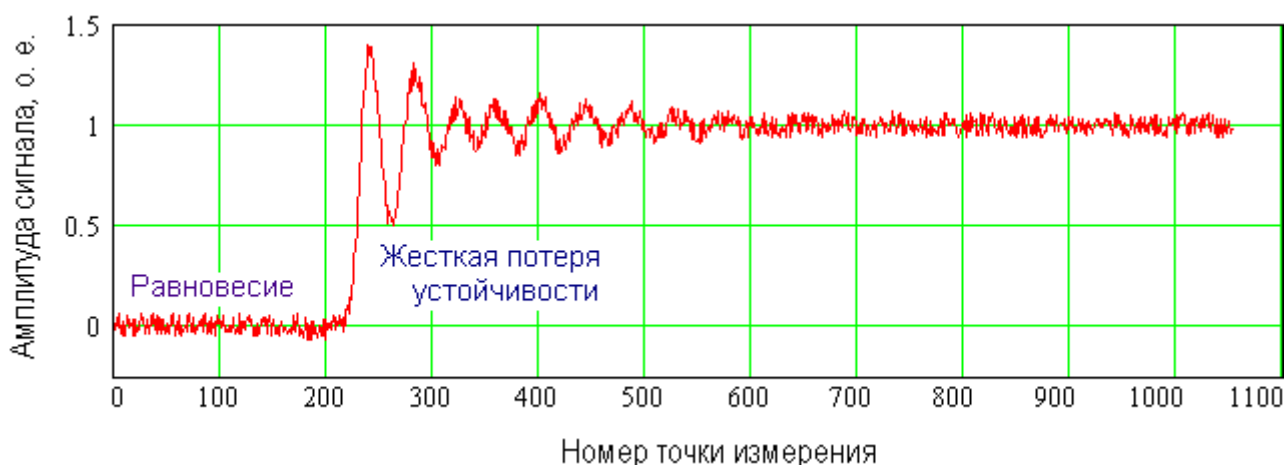
- 1) столкновение с неустойчивым циклом;
- 2) удвоение;
- 3) рождение тора [1].

Размерность критического аттрактора, реализующегося в результате фейгенбаумовского каскада удвоений периода, всегда одна и та же и составляет $1 + d$, где $d = 0,538...$ - универсальная константа (единица добавляется из-за дополнительного измерения вдоль фазовой траектории). Поперечная структура полос представляет собой кантороподобное множество, фрактальные свойства которого те же, что и аттрактора Фейгенбаума, а старший ляпуновский показатель равен нулю [2].

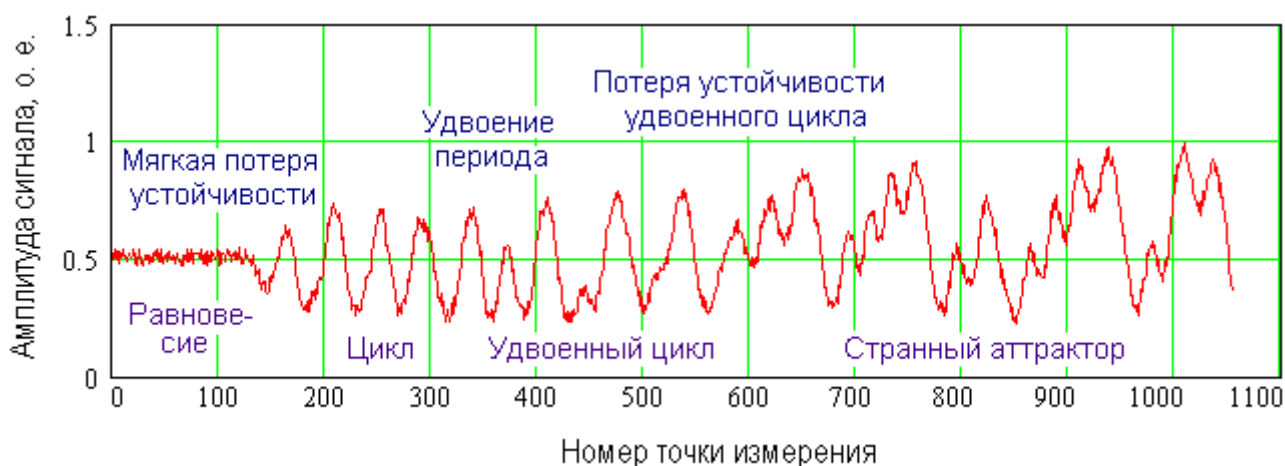
Примером мягкой потери устойчивости в природе может служить образование циклонов при температурной конвекции воздуха, примером жесткой потери устойчивости могут служить землетрясения. В горных технических системах и электрических сетях, в особенности работающих на переменном токе и подверженных вибрационным воздействиям, колебаниям напряжений и изменению нагрузок, априори преобладает мягкая потеря устойчивости системы, однако возможна и жесткая потеря устойчивости в результате коротких электрических замыканий, механических разрушений конструкций, электрических пробоев и так далее.



а)



б)



в)

Рис. 1. Изменение динамического поведения системы: а) мягкая потеря устойчивости; б) жесткая потеря устойчивости; в) сценарий хаотизации

Исходя из «сценария» хаотизации (рис. 1.2 в), наиболее простым и доступным способом диагностики мягкой потери устойчивости является анализ акусти-

ческих и электрических сигналов, а информативными параметрами последовательно могут служить: развитие устойчивого предельного цикла (бифуркация Гопфа), удвоение периода (бифуркация Питчфорка), удвоенный цикл, потеря устойчивости удвоенного цикла, странный аттрактор, а также их спектры. Диагностика жесткой потери устойчивости (землетрясений, выбросов пород, угля и газа, обрушений кровли выработок) на финишном этапе практически не возможна, поэтому на практике обычно осуществляется предварительный прогноз с применением необходимых предупреждающих, но не всегда достаточных, мероприятий.

Теория мягкой потери устойчивости равновесных состояний применима во всех областях науки (механике, электротехнике, физике, химии, биологии, экономике и так далее) как для колебательных систем с конечным числом степеней свободы, так и для мелкослоистых (шихтованные сердечники, статоры, роторы, якоря) диссипативных сред, в которых возбуждаются вынужденные колебания.

Устойчивость и, соответственно, неустойчивость определяют по Лагранжу (траектория остается в замкнутой области), Пуассону (траектория многократно возвращается в ε -окрестность стартовой точки) и Ляпунову (две близкие на старте траектории остаются близкими всегда). *Если непериодическая траектория устойчива по Пуассону и Ляпунову, то она квазипериодическая. Критерием хаоса является наличие положительного старшего ляпуновского показателя.* Если старший показатель нулевой, то это может свидетельствовать о недостаточности анализа устойчивости по Ляпунову. Если все показатели отрицательны, то это говорит об асимптотической устойчивости траектории [2].

Для примера, следует остановиться на фактах, подтверждающих универсальность информативных параметров теории катастроф. Для этого нет необходимости доводить реальные или экспериментальные объекты до их катастрофического разрушения, достаточно выполнить анализ уже имеющегося в литературе фактического графического материала о мягкой или жесткой потере устойчивости с позиции теории катастроф при физическом ударном взаимодействии реальных тел, возникновении колебательных и волновых процессов в слоистых диссипативных средах.

Например, на рис. 2 представлено изменение интенсивности рассеивания рентгеновского излучения на полислоях полимерных пленок, полученных методом послойного нанесения частичек. При снижении угла рассеивания растет относительная интенсивность рентгеновских лучей и при этом увеличивается период их «шумовых» колебаний [3].

Даже простой анализ теоретических исследований распространения акустических волн в диссипативных нелинейных средах показывает на возможность формирования солитонов разной частоты, наличие дифракционных эффектов и неустойчивость волновых пакетов. Особо следует обратить внимание на резонансные процессы, которые происходят в блоковых и плоскопараллельных структурах, в различных резонаторах. В таких системах, априори, образу-

ются структуры разночастотных поперечных мод, частота которых определяется линейными размерами волноводов или резонаторов.

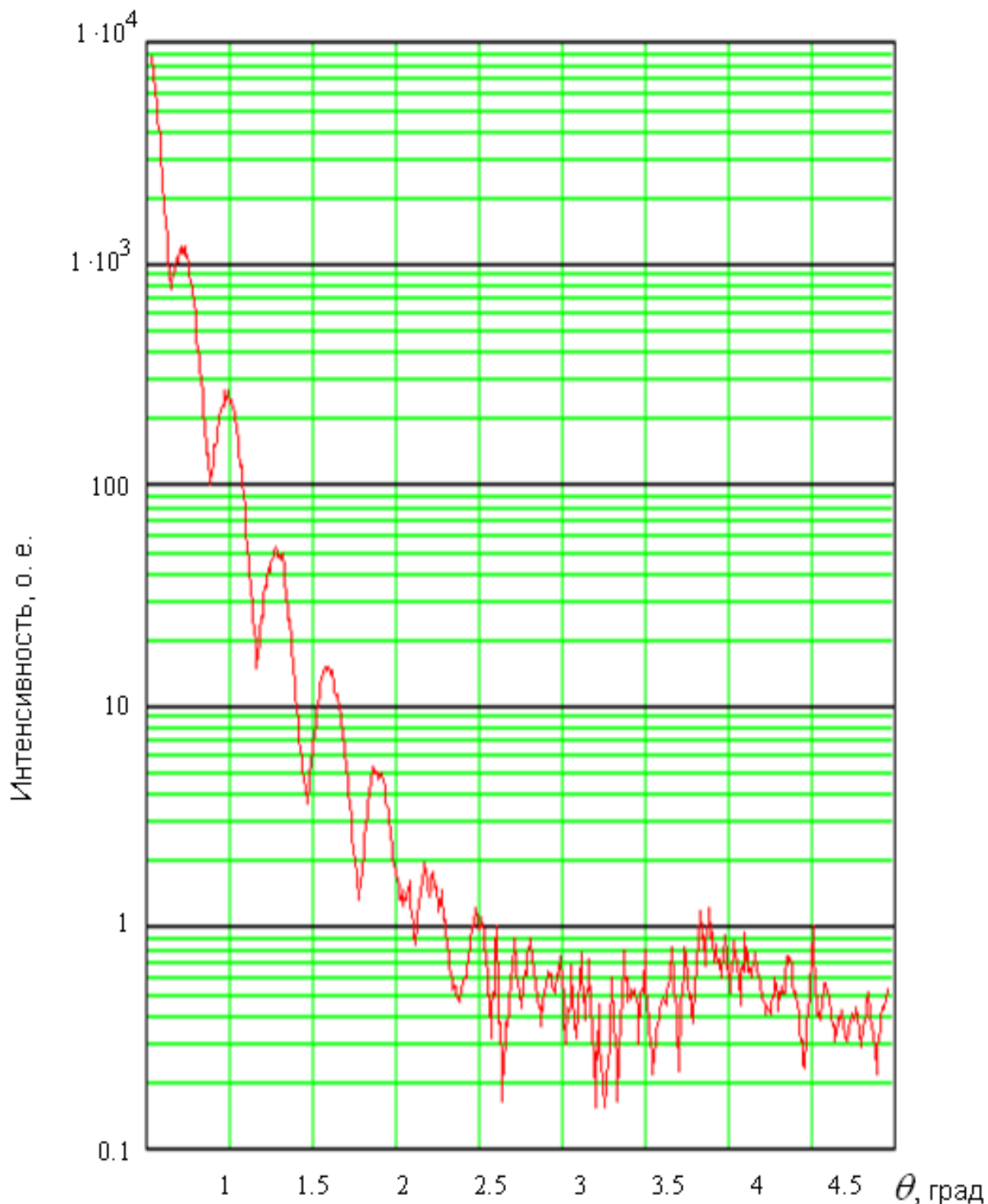


Рис. 2. Хаотическое изменение интенсивности малоуглового рассеивания рентгеновских лучей на полислоях частиц, полученных методом послойного нанесения (по материалам работы [3])

Хаотические процессы могут быть детерминированными или стохастическими. По существу, любые исходные физические переменные также делятся

на два класса. В один класс входят известные характеристики, т.е. величины, которые поддаются (по крайней мере, теоретически) точному измерению или определению. Они называются детерминированными переменными, которые часто, но отнюдь не всегда, описываются обычным математическим аппаратом. В другой класс входят неизвестные характеристики, т.е. величины, которые невозможно точно определить, поскольку имеют случайный характер. Они называются стохастическими переменными. Модель, содержащая стохастические переменные, по определению должна описываться математическим аппаратом теории вероятностей или математической статистики. Природа сложных физических процессов изначально чаще всего не известна, поэтому, в принципе, для исследователя такие процессы обычно характеризуются переменными обоих типов. В этой связи для построения адекватной математической модели весьма важно заранее определить природу исходных переменных. Поскольку выполнить такое определение на практике весьма сложно, а иногда и не возможно, то отработать достоверные рабочие или информативные параметры лучше всего на математических моделях.

Для математического моделирования динамических процессов в геотехнических системах предложено применение трехплечевых гравитационных маятников, а также простых, полносвязных и с заранее заданными нелинейностями k -массовых систем пружинных маятников. Определены особенности математического моделирования в детерминированно-хаотических системах, в том числе параметры, критерии и допустимые погрешности итераций [4].

Практическое значение моделирования в данном случае заключается в том, что оно позволяет учесть количество элементов в системе, конкретные массы и упругие связи между элементами, разнообразие этих связей, задать виртуально любые возмущающие воздействия, оценить реакцию на эти воздействия при моделировании динамических процессов в горных геотехнических системах.

Для сохранения устойчивости сложной геотехнической динамической системы необходим оперативный или непрерывный контроль, который хотя и не всегда позволяет исключить аварийное стечение обстоятельств, но может предупредить об изменениях в системе, а при принятии своевременных экспертных решений - повысить порог ее устойчивости. В идеале возможен учет как всех причинно-следственных связей, так и тенденции накопления случайных повреждений, что необходимо для заблаговременной остановки и ремонта системы.

Поскольку хаотические процессы преимущественно характерны для трехмерных структур, часто изменяют направленность колебаний, то их спектральный контроль необходимо проводить по взаимно перпендикулярным направлениям двухканальными (многоканальными) системами. Это позволяет обнаруживать возможные фазовые переходы, которые характерны для особо опасного детерминированного хаоса. Кроме того, хаотическое движение отли-

чается наличием непрерывного спектра частот, расположенного ниже вынуждающей (резонансной) частоты бифуркации, и оно, как правило, опасно для контролируемого устройства, поэтому любые изменения исходных линейчатых спектральных характеристик свидетельствуют об отклонениях в работе динамической системы.

Преобразование сигналов из временной области в частотную должно выполняться в режиме реального времени, поэтому актуальной является задача разработки математических методов спектрального анализа, обеспечивающих достаточную точность при минимальном объеме вычислительных операций без использования комплексных чисел и учитывающих особенности контролируемых технологических процессов и электромеханических объектов. Ранее для спектрального анализа было предложено применять оптимизированный для вычислений в двоичном коде метод 12-ти ординат. Его преимуществом по сравнению с известными алгоритмами быстрого дискретного преобразования Фурье (БПФ) является то, что вычисления выполняются только над действительными числами. Недостаток предложенного подхода заключается в возможности определения амплитуд и фаз только лишь 5-ти гармонических составляющих. Для повышения информативности контроля предложен упрощенный метод обработки 24-х ординат сигнала, который просто реализуется на микроконтроллере, но достаточный для технического контроля [5].

Анализ поведения системы в целом, отдельных ее элементов, а также спектральных характеристик сигналов и функций автокорреляции показывает, что введение нелинейности приводит к усиленной хаотизации системы: энергия сигналов распределяется более равномерно по всему спектру, автокорреляционная функция приобретает затухающий характер, усиливается чувствительность к начальным условиям.

Так, на рис. 3 представлены результаты обработки сигналов координат (x_j) и скоростей (v_j) для последнего в линейной цепочке груза трехмассовой полносвязной системы пружинных маятников без нелинейности (рисунки в левой колонке) и с нелинейно изменяющейся жесткостью c_{03} (рисунки в правой колонке).

На рис. 3 а приведены автокорреляционные функции сигналов изменения координаты центра массы груза m_3 во времени (последнего груза в цепочке и, в то же время, груза, который непосредственно соединен с нелинейным элементом), где μ - номер точки АКФ. Видно, что введение дополнительной нелинейности придает автокорреляционной функции затухающий характер, таким образом, развитие процесса во времени проходит существенно аперiodически.

На рис. 3 б стрелками обозначены амплитуды пиков спектрограмм сигналов координат центров масс системы; μ - номер точки дискретного преобразования Фурье. Введение дополнительной нелинейности приводит к расширению частотного состава сигнала и значительному затуханию доминирующих гармоник.

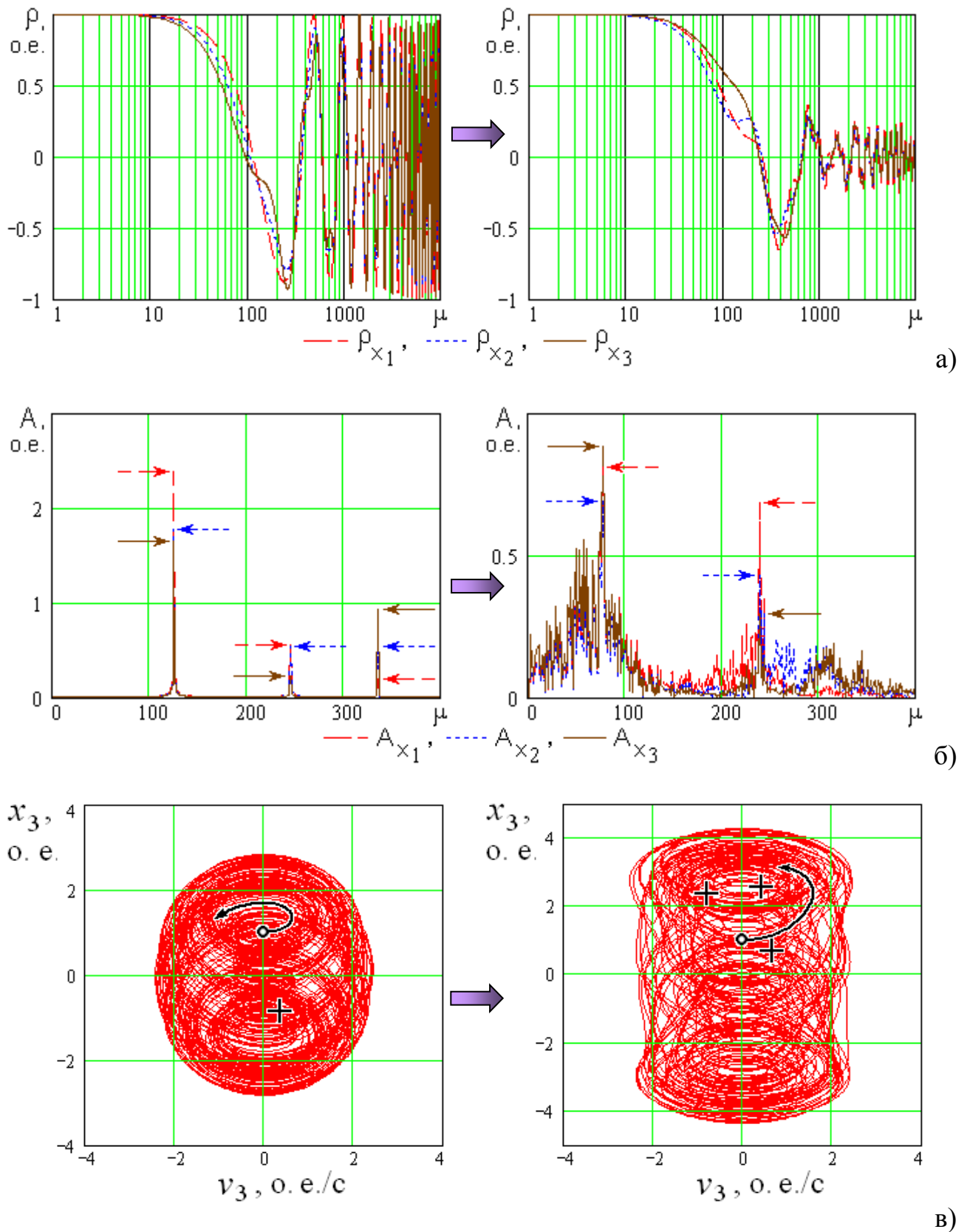


Рис. 3. Хаотизация полностью связанной системы из трех пружинных маятников введением дополнительной нелинейности: а) графики автокорреляционных функций; б) спектрограммы; в) траектории

На рис. 3 в знаке « $\circ \rightarrow$ » обозначены начальная точка и направление движения груза m_3 вдоль фазовой траектории $x_3 = f(v_3)$. Знаком «+» обозначены конечные точки траектории при малом изменении начальных условий (изменялась начальная координата x_3^0 в пределах $\pm 1\%$). И если в системе без дополнительной нелинейности такое изменение было несущественным, то при наличии нелинейного элемента изменение начальной координаты приводило не только к значительному изменению конечного положения груза (см. знаки «+»), но и к изменению самой траектории с сохранением «зоны притяжения», т. е. аттрактора, рис. 3 в.

Таким образом, на основе компьютерного моделирования процессов хаотизации усовершенствован метод диагностики колебаний в реальных системах, который базируется на контроле акустических сигналов конусными датчиками по взаимно перпендикулярным направлениям и отражает тенденцию возможных фазовых переходов, что позволяет учесть поляризацию колебаний и повысить информативность измерений. Выбраны информативные параметры для оценки состояния динамических процессов (начальная потеря устойчивости системы, удвоение периода, потеря устойчивости удвоенного цикла, потеря дискретности спектра), отражающие с учетом поляризации колебаний тенденцию доминирующих связей и возможные фазовые переходы. Разработана упрощенная вычислительная схема определения гармонического состава акустических и электрических сигналов по методу 24-х ординат, позволяющая с достаточной точностью обеспечить спектральную обработку сигнала в режиме реального времени.

Список литературы

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. - Изд. 3-е, дополненное / В.И. Арнольд. - М.: Наука, 1990. - 128 с.
2. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов. - М.: Физматлит, 2001. - 295 с.
3. Процеси самоорганізації в матеріалах різної природи: Навч. посіб. / А.П. Шпак, Ю.А. Куницький, В.А. Прокопенко, С.Ю. Смик. - К.: ІМ ім. Г.В. Курдюмова НАН України, 2004. - 113 с.
4. Яланский А.А. Моделирование динамики хаотических и синергетических процессов в сложных системах / А.А. Яланский, Алекс.А. Яланский, Н.А. Иконникова // Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2008. - № 78. - С. 163 - 172.
5. Корсун В.И. Оперативный контроль частотных параметров электрических сигналов методом двадцати четырех ординат в режиме реального времени / В.И. Корсун, Н.А. Иконникова // Гірнична електромеханіка та автоматика. - Дніпропетровськ: НГУ, 2006. - Вип. 77. - С. 98 - 102.

*Рекомендована до публікації д.т.н. Ткачовим В. В.
Надійшла до редакції 10.12.2014*

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БАЗЫ ЗНАНИЙ УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ШАХТАХ

На основании результатов проведенного анализа, моделирования структуры объектов онтологии и учёта взаимодействия суперклассов, классов и подклассов в различных онтологиях при управлении силами и средствами в случаях ликвидации аварий на шахтах определены необходимые операции для поддержки принятия решений. В соответствии с предложенной методикой формирования онтологий, с учётом проведенного лингвистического анализа текстов предметной области разработаны объектно-ориентированные модели.

На підставі результатів проведеного аналізу, моделювання структури об'єктів онтології та обліку взаємодії суперкласів, класів і підкласів в різних онтологіях при управлінні силами і засобами у випадках ліквідації аварій на шахтах визначені необхідні операції для підтримки прийняття рішень. Відповідно до запропонованої методики формування онтологій, з урахуванням проведеного лінгвістичного аналізу текстів предметної області, розроблені об'єктно-орієнтовані моделі.

Based on the results of the analysis, modelling the structure of the ontology of objects and accounting interaction super classes, classes and subclasses in different ontology's in the management of forces and means in cases of emergency response in the mines determined the operations necessary to support decision-making. In accordance with the proposed methodology for the formation of ontology's, given the linguistic analysis conducted by subject area developed object-oriented model.

Введение. Ликвидация аварий на шахтах очень сложный процесс. В таких экстремальных ситуациях от решений руководителей аварийных работ (РАР), направленных на успешную ликвидацию аварий, зависит не только величина материальных потерь, но и зачастую жизнь людей. Поэтому решения должны приниматься целенаправленно и обоснованно, опираясь на опыт, полученный в результате борьбы с подобными критическими ситуациями.

В этом случае возникает задача накопления подобного опыта в виде прецедентов и представления его в виде онтологии. Помимо этого, необходима реализация ещё ряда онтологий, описывающих предметную область систем поддержки принятия решений при ликвидации аварий.

Все эти задачи относятся к области искусственного интеллекта. В настоящий момент в области искусственного интеллекта (ИИ) наблюдается вовлечение многих предметных областей, имеющих скорее практическое отношение к ИИ. И в данном случае задача решается подобным образом.

Формулировка цели и задачи исследования. Необходимо построить базу знаний системы управления процессами ликвидации аварий на шахтах, основываясь на последних достижениях в области искусственного интеллекта и объектно-ориентированного моделирования.

Изложение основного материала исследований.

Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) при ликвидации аварий на шахтах ведётся в соответствии с принципами системного анализа и проектирования.

Эта работа включает в свой состав следующие этапы: исследование, построение и внедрение. Был проведён обзор современных стандартов и методик проектирования информационных систем и выбрана методология объектно-ориентированного анализа и проектирования (*Object-Oriented Analysis and Design*). Данная методика наряду с объектно-ориентированным программированием включает объектно-ориентированный подход. Важнейшими понятиями объектной технологии являются объект, класс и экземпляр. Такой подход содержит набор моделей, связанных с понятием класса/объекта, объединяющего данные (состояние) и поведение. По объектным моделям может быть прослежено отображение реальных сущностей моделируемой предметной области (ПрО) в объекты и классы. Важным качеством объектного подхода является согласованность моделей системы от стадии анализа до программных модулей. Всё вышеперечисленное и обусловило выбор объектного подхода к моделированию данной системы.

Разрабатываемая система основана на знаниях, следовательно, в рамках объектного подхода необходимо применение методов, позволяющих разработку моделей системы, основанных на знаниях. Учитывая эту особенность, предлагается применить методологию разработки интеллектуальных систем СППР, основой которой является объектно-когнитивный анализ ПрО, интегрирующий методы *объектно-ориентированного* анализа, *онтологического* подхода и *семантические* сети представления знаний. В развитие методологии объектно-когнитивного анализа в данной работе предлагается разработать онтологическую базу знаний, интегрирующую в себе онтологию ПрО, онтологию прецедентов и правила принятия решений в аварийных ситуациях на шахтах.

Для разработки СППР выбрано *CASE* – средство *Rational Rose* (2003) фирмы *Rational Software Corporation* (США), которое поддерживает нотацию *UML 2.0 Rational Rose* и предназначено для автоматизации этапов анализа и проектирования, а также для генерации кодов на различных языках, выпуска проектной документации и инжиниринга программ.

Таким образом, для разработки данной интеллектуальной СППР использована графическая нотация *UML 2.0*, программное средство *Rational Rose 2003*.

Разработка комплекса объектно-ориентированных моделей интеллектуальной системы СППР при ликвидации аварий на шахтах.

Важным этапом моделирования является разработка модели реализации. Модель отображает подсистемы интеллектуальной СППР и компоненты, из которых они состоят. Компоненты системы представляются в виде диаграммы. Она показывает различные компоненты системы и отношения между ними. Компонент представляет собой физический модуль. Отношения между компонентами показывают, как изменения одного компонента могут повлиять на изменения других компонентов.

Для отображения технических средств и размещённых на них программных средств системы разработана диаграмма развёртывания.

Формирование модели представления знаний на основе предметной онтологии процесса ликвидации аварий на шахтах

В общем случае онтология является спецификацией концептуализации и представляет собой на текущем этапе её развития концептуальную систему, выраженную через логическую теорию.

Разрабатываемая онтология СППР при ликвидации аварий на шахтах состоит из:

- классов (*classes*);- экземпляров (*individuals, instances*);
- отношений между классами и экземплярами (*properties, slats*). Основные типы отношений в разрабатываемой онтологии:
- «импликация» (*если - то*);- «часть – целое» (*part-of*);
- «экземпляр класса» (*instance of*); - «иерархия» (*is-a*);
- ограничений и условий принадлежности, относящихся к классам и экземплярам (*axioms and facts*).

На рис. 1 изображён онтологический спектр ПрО процесса ликвидации аварий на шахтах.

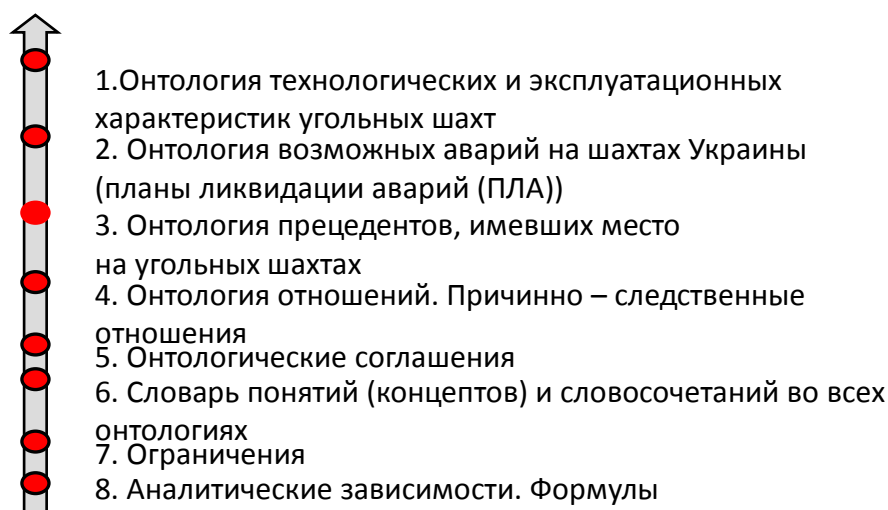


Рис. 1. Онтологический спектр исследуемой предметной области

Методика разработки любой онтологии в силу её сложности специфична для каждой задачи. В соответствии с этим и была произведена специальная разработка предметной онтологии процесса при ликвидации аварий на шахтах.

Существуют основные этапы, стандартные для разработки любой онтологии, а методы и средства, которые используются, выбираются с учётом специфики ПрО и анализа существующих в этой области разработок.

Этап I. Включает разработку концептуальной структуры онтологии и предварительную идентификацию концептов, таксономии, связей, функций и аксиом. Этап подразделён на под этапы.

1. Определение потенциальных пользователей и целей онтологии.
2. Процесс приобретения знаний.
3. Концептуализация.

4. Определение множеств и аксиом.
5. Принятые решения.

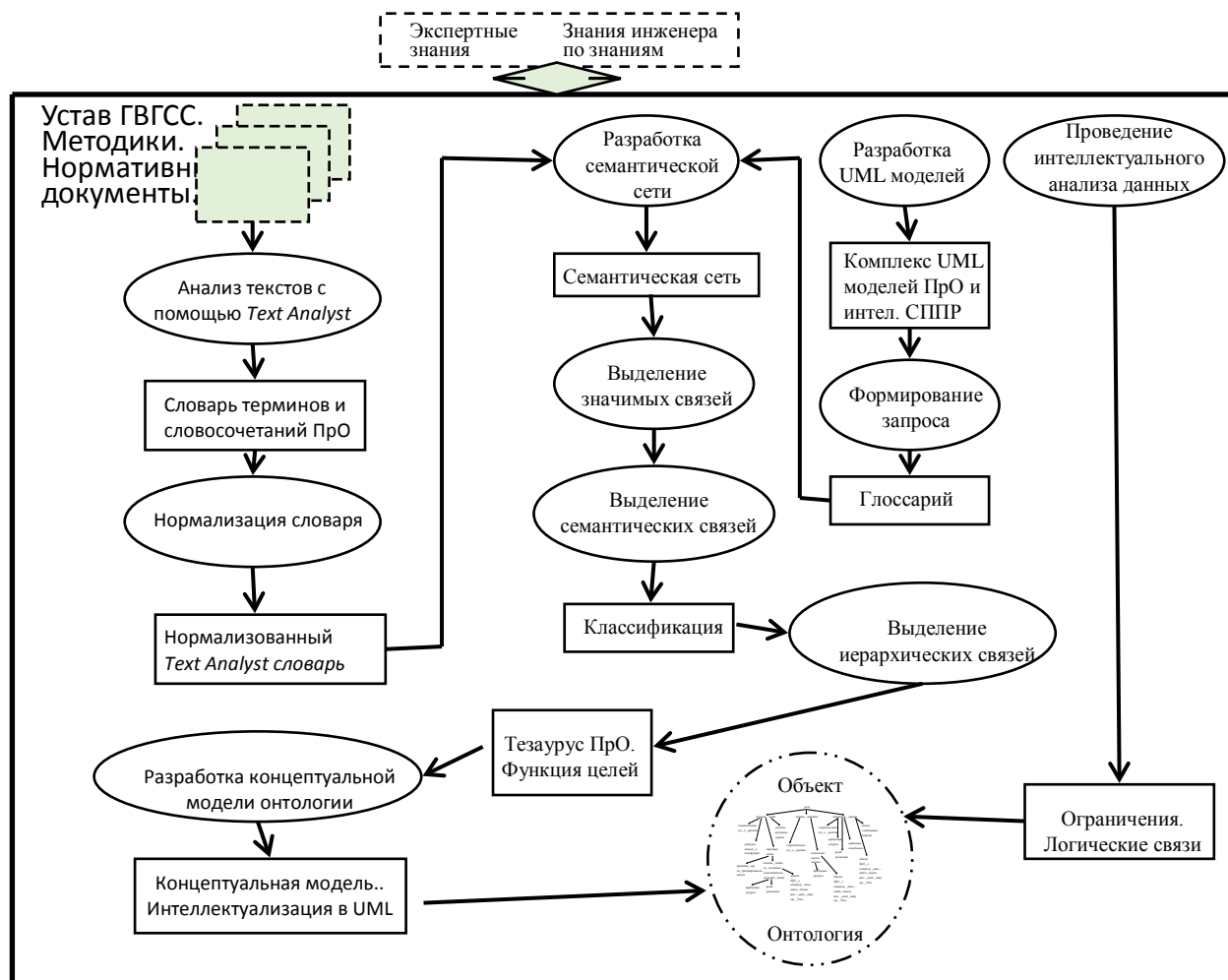


Рис. 2. Этапы разработки концептуальной структуры онтологии ПрО

Этап II. Включает формализацию знаний и концептуально структурирует экземпляры классов. Он подразделяется на следующие под этапы:

1. Формализация онтологического языка: представления объектов в форме классов и атрибутов, представление свойств и отношений.
2. Программа реализации интерфейса пользователя для доступа к онтологии процесса ликвидации аварий на шахтах.

Таким образом, вследствие сложности ПрО в работе предложен метод разработки онтологии процесса ликвидации аварий на шахтах. Он основан на существующих проверенных методологиях разработки. Определён процесс приобретения знаний, их концептуализация, факты и аксиомы.

Процесс приобретений и концептуализации онтологии ПрО в работе предлагается осуществлять на основе построения семантических сетей, включающие все возможные с точки зрения экспертов связи. Это необходимо сделать, поскольку сразу достаточно трудно выделить те из них, которые действительно необходимы и важны.

Для построения семантической сети процесса принятия решений при ликвидации аварий на шахтах предлагается использовать текстовые данные, содержащие всевозможные методики и нормативные документы по ликвидации аварий подразделениями ГВГСС, а также глоссарий, сформированный на основании комплекса UML моделей.

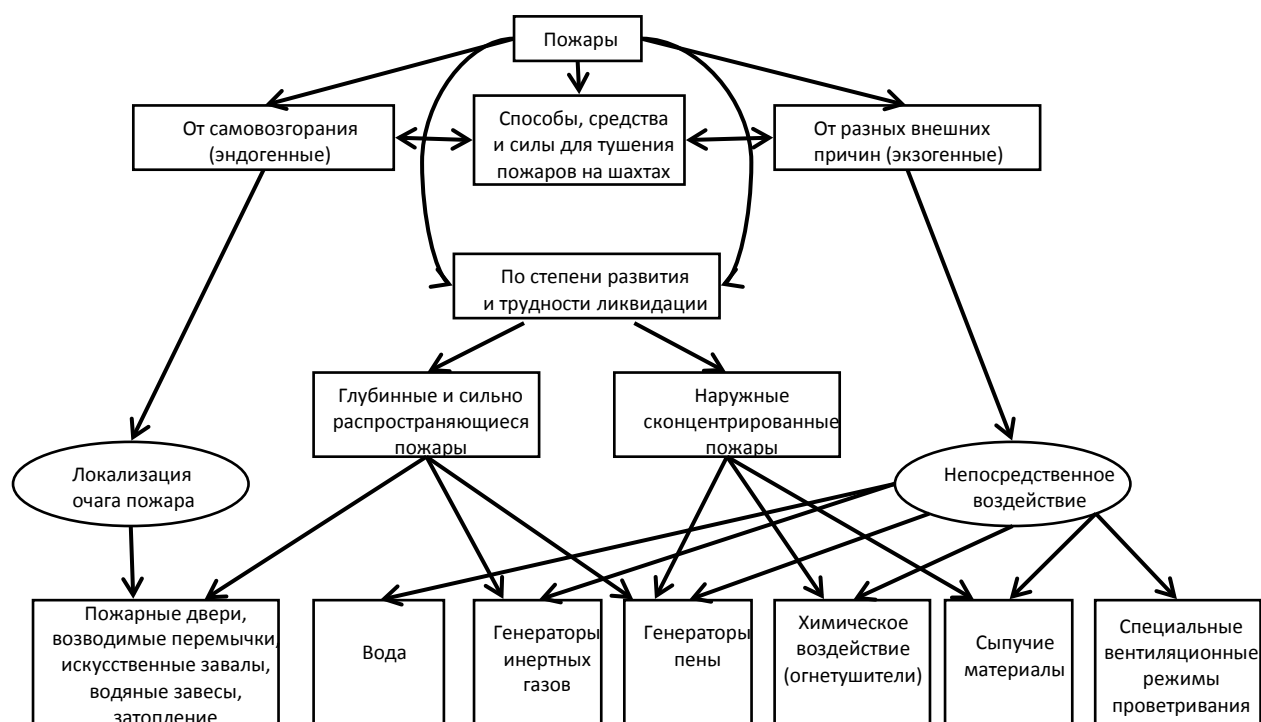


Рис. 3. Модель онтологии предметной области возможных прецедентов (ПЛА) и прецедентов уже имевших место на шахтах

В работах по объектно-ориентированному анализу и проектированию

Предлагается для разработки словаря и в дальнейшем тезауруса ПрО использовать автоматизированный лингвистический анализатор текстов. В данной работе для формирования словаря терминов и словосочетаний ПрО в автоматизированном режиме использовался лингвистический процессор *Text Analyst 2.0* (производитель программного продукта – НПИЦ «Микросистемы», г. Москва). Процессор *Text Analyst 2.0* реализует алгоритмы семантика - статистического анализа текстовых документов и позволяет экстраполировать результаты анализа в таблицы *Microsoft Excel* или в гипертекстовый формат. Лингвистический анализ текстов предметной области, проведенный с использованием *Text Analyst 2.0*, позволил создать: словарь предметной области, словарь словосочетаний, иерархию понятий, установить частоту встречаемости и веса терминов. Перед началом анализа были установлены параметры работы лингвистического процессора, включающие атрибуты «анализировать словосочетание», «установить порог выделения терминов равным 3» и др. Использование *Text Analyst* позволило получить словарь терминов и слово-

сочетаний ПрО процесса ликвидации аварий на шахтах по результатам проведенного частотного анализа в соответствии с законами Ципфа и Мандельброта. В соответствии с проведенным лингвистическим анализом текстов из полученного словаря необходимо исключить не несущие смысловые нагрузки или незначачие слова (например, по, для и др.). Они не способствуют раскрытию необходимого информационного содержания. Затем произвести нормализацию – выделить только существительные в именительном падеже. Эти операции проводились экспертами ПрО.

Комплекс UML моделей данной интеллектуальной системы, который в соответствии с предложенной методикой, необходим для разработки семантической сети, уже описан. В качестве концептуальной модели ПрО разработана диаграмма классов процесса ликвидации аварий.

Далее, на основании протоколов успешно ликвидированных аварий на шахтах построим семантическую сеть на естественном языке, фрагмент которой представлен на рис. 4.

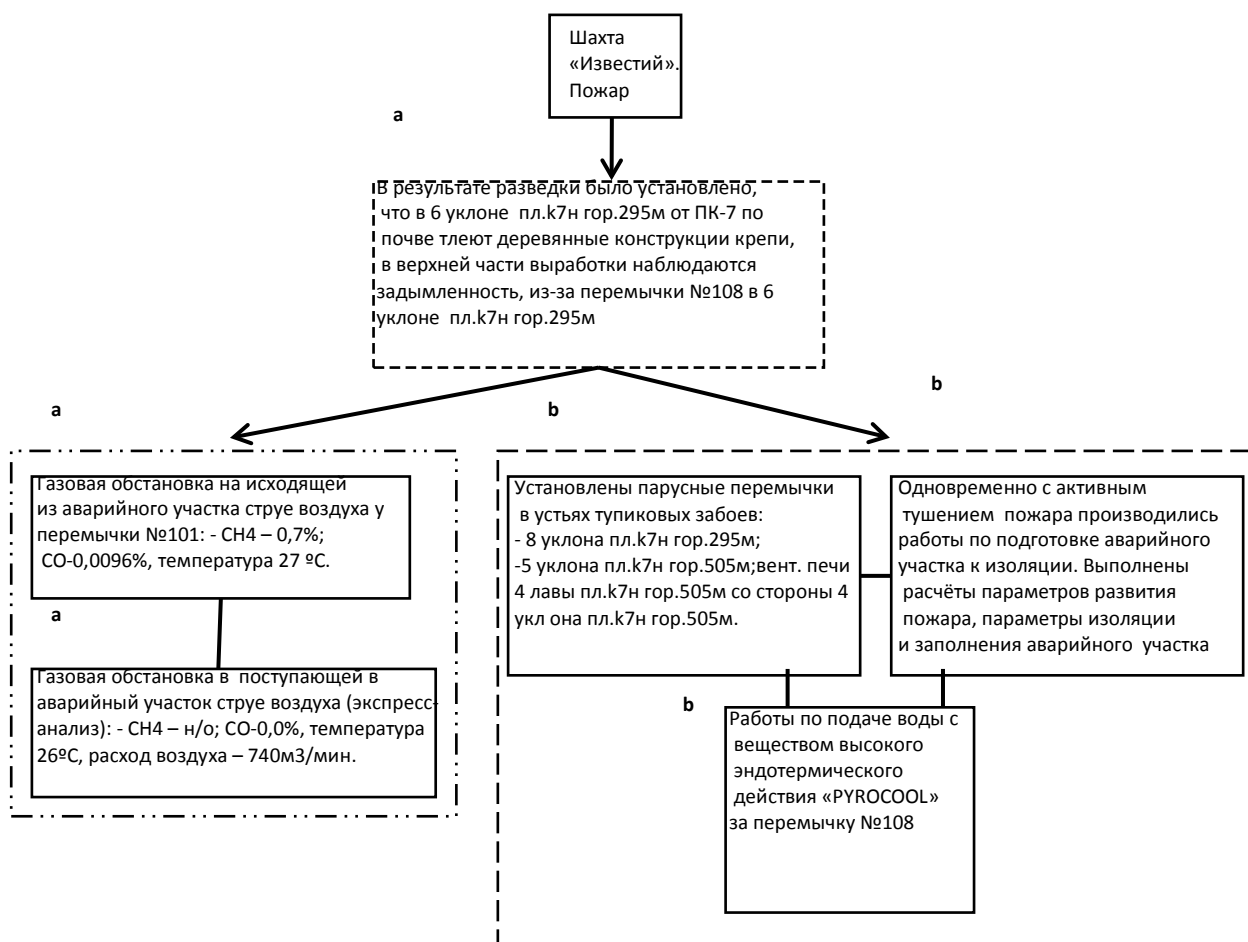


Рис. 4. Фрагмент семантической сети процесса ликвидации аварии на шахте « «Известий», ГП «Донбассантрацит», 04.09.2009 г. »

На основании полученного нормализованного словаря и глоссария из объектной модели с экспертами ПрО построим семантическую сеть на языке близком к естественному представлению. Фрагмент этой сети изображён на рис. 5.

Отношения в полученной семантической сети могут быть двунаправленными, их необходимо систематизировать, выделить классы отношений. Для этого предлагается сначала выделить иерархические отношения, то есть построить *таксономию*. Таксономия содержит корневой узел и узлы других уровней. Узлы таксономии (а, б) (рис. 4, 5) являются информационными сущностями, описывающими ПрО. Связи между узлами представляют собой отношения классификации (иерархии). Такого представления данных недостаточно для отражения сложных взаимосвязанных объектов рассматриваемой области ПрО. Следующим этапом развития в онтологическом спектре стал *тезаурус* процесса ликвидации аварий на шахтах.

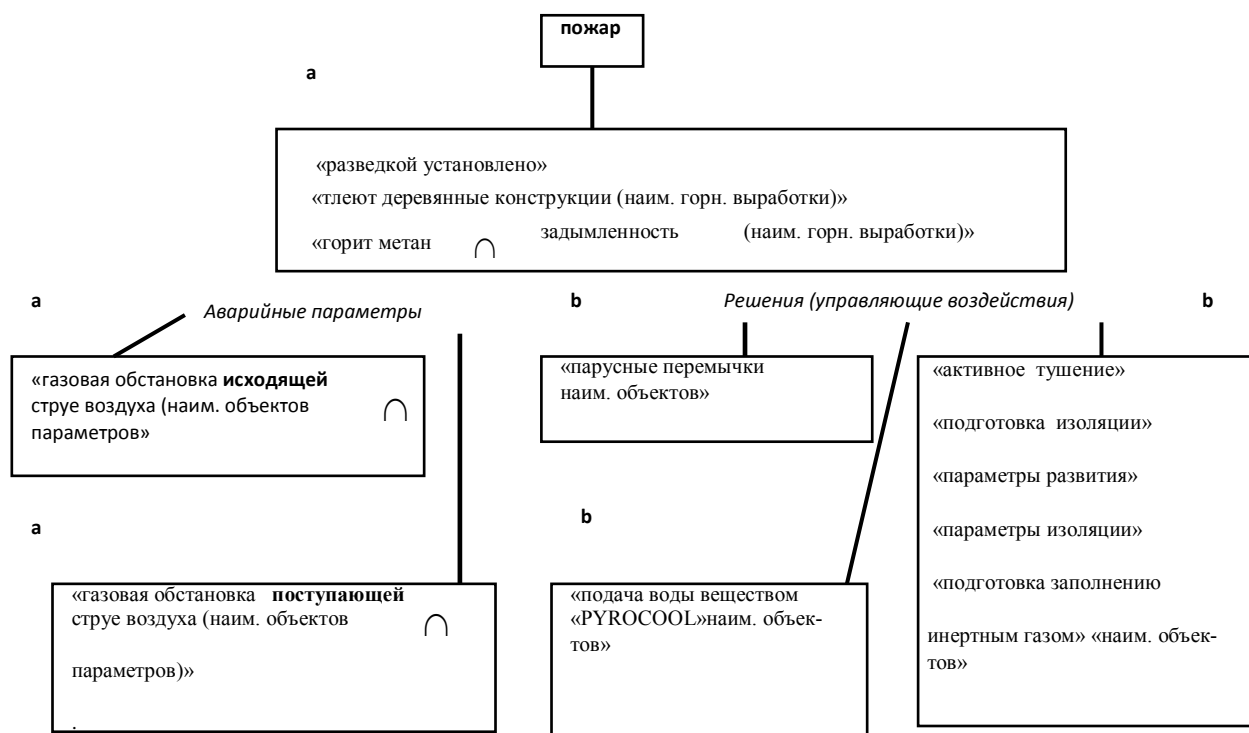


Рис. 5. Модифицированный фрагмент прецедента на языке близком к естественному представлению «ш. «Известий», ГП «Донбассантрацит», 04.09.2009 г. »

Следующим шагом повышения семантической значимости является «Концептуальная модель». В данном контексте концептуальная модель – это онтологическая модель ПрО процесса ликвидации аварий на шахтах, разработанная в нотации *UML 2.0*.

Модель онтологии является предпоследним этапом разработки интеллектуальной системы. Итак, полученная модель онтологии позволила описать разрабатываемую систему по степени абстракции в соответствии с уровнем иерар-

хии. Первым уровнем абстракции является класс *Thing*. Этот класс является начальным для любой онтологии и далее не рассматривается. Следующий уровень иерархии это «объект», «оборудование», «средства пожаротушения», «вещество» и т.п. Они представляют верхний уровень модели процесса ликвидации аварий на шахтах, характеризующийся общими знаниями об этом. Затем в каждом из этих классов находятся подклассы, представляющие средний уровень онтологии – знания о специфике конкретного объекта управления. Здесь идёт речь о шахтах в аварийных ситуациях, что описывается на модели знаний, например, такими классами: «горные выработки», «подземные и наземные сооружения», «виды пожаров» и т.п. Нижним уровнем иерархии в онтологии являются экземпляры классов.

Выводы

1. Разработаны объектно-ориентированные модели ПрО;
2. Определены необходимые алгоритмы для поддержки принятия решений;
3. Выполнен анализ и моделирование структуры объектов онтологий;
4. Проведен учёт взаимодействия суперклассов, классов и подклассов в различных онтологиях при управлении силами и средствами в случаях ликвидации аварий на шахтах;
5. Проведен лингвистический анализа текстов в предметной области процесса ликвидации аварий на шахтах.

Список литературы

1. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 424с.
2. Гаврилова Т.А., Чернявская К.П. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. – М., Радио и связь.- 1992. – 200с.
3. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ: Учеб. пособие / Под ред. Л.А. Петросяна. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1988, 232с.
4. Системный анализ и управление: Учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; Под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 368с.
5. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование: с примерами приложений на С++. «Издательство Бином». «Невский диалект», 1998. – 560 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.
Надійшла до редакції 10.12.2014*

УДК 628.337+621.355.8+661.873.23+66.087.7

© В.Л. Коваленко, В.А. Коток

СИНТЕЗ ГИДРОКСИДА НИКЕЛЯ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ РАСТВОРА НИТРАТА НИКЕЛЯ В ЩЕЛЕВОМ ДИАФРАГМЕННОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРЕ

Показана возможность синтеза гидроксида никеля в щелевом диафрагменном электролизере при подаче в катодное пространство нитрата никеля. Выявлено, что синтез возможен при низких плотностях тока (4-6 А/дм²) из-за перегрева католита. Изучение синтезированных образцов выявило, что они представляют из себя низкокристаллический α -Ni(OH)₂ с некоторым количеством β -Ni(OH)₂. Методом циклической вольтамперометрии показаны высокие электрохимические характеристики синтезированных образцов. Указано на необходимость проведения дальнейших исследований для внедрения предложенного метода.

Показано можливість синтезу гідроксиду нікелю в щілинному діафрагмовому електролізері при подачі в катодний простір розчину нітрату нікелю. Виявлено, що синтез можливий при низьких густинах струму (4-6 А/дм²) через перегрів католіту. Вивчення синтезованих зразків виявило, що вони представляють із себе низкокристалічний α -Ni(OH)₂ з деякою кількістю β -Ni(OH)₂. Методом циклічної вольтамперометрії показані високі електрохімічні характеристики синтезованих зразків. Зазначено необхідність проведення подальших досліджень для впровадження запропонованого методу.

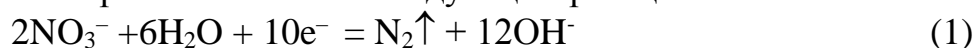
It was shown the possibility of nickel hydroxide synthesis in slit diaphragm electrolyzer under flowing of nickel nitrate solution to cathode space. This electrochemical synthesis may be carried out under low current density (4-6 A/dm²) due to overheating of the catholite. Investigation of properties of obtained samples was detected that these samples are low-crystall Ni(OH)₂ with some amount of β -Ni(OH)₂. High electrochemical properties of synthesized samples of nickel hydroxide have been shown by cyclic voltammogram method. The need for further research to implement the proposed method was proposed.

Щелочные аккумуляторы с положительным окисноникелевым электродом являются одними из наиболее распространенных в мире вторичных химических источников тока. Они очень перспективны в качестве источников энергии для гибридных автомобилей, электромобилей, в том числе подвижных устройств автономного типа, используемых на различных горнодобывающих предприятиях. Характеристики щелочных аккумуляторов с окисноникелевым электродом определяются характеристиками активного вещества - гидроксида никеля [2]. Существуют различные методы получения гидроксида никеля – химический прямой и обратный синтез, золь-гель метод [3, 4], однако одним из наиболее перспективных методов является электрохимическое получение в щелевом диафрагменном электролизёре (ЩДЭ) [1]. В наших предыдущих работах [1, 5] была изучена зависимость электрохимических свойств гидроксида никеля от условий его получения из растворов сульфата никеля (II). Было показано, что при электрохимическом синтезе в ЩДЭ образуется монофазная структура, содержащая как α -Ni(OH)₂, так и β -Ni(OH)₂, которая является одновременно достаточно стабильной и проявляет высокую электрохимическую активность, в отличии от образцов, полученных химическим способом [6, 7]. Однако нами было высказано предположение, что при

синтезе в ЩДЭ могут быть получены образцы гидроксида никеля с более высокими электрохимическими характеристиками.

Цель исследований. Определение возможности электрохимического получения никель (II) гидроксида в щелевом диафрагменном электролизёре из раствора нитрата никеля и изучение его свойств.

Методика исследований. Для получения гидроксида никеля использовался щелевой диафрагменный электролизер (ЩДЭ), состоящий из катодного и анодного полуэлементов, диафрагмы с малой протеканностью типа Dogramik, и двух резиновых прокладок, формирующих приэлектродные пространства. В анодное пространство ЩДЭ подавался раствор NaOH с концентрацией 25 г/л, в катодное пространство – раствор Ni(NO₃)₂ концентрацией Ni²⁺ 12.7 г/л. Растворы подавались с помощью перистальтических насосов НП-1М. Получение гидроксида велось в гальваностатическом режиме при плотностях тока 4 – 12 А/дм². На катоде наиболее вероятно образование OH⁻ по следующим реакциям:



Катодно генерируемые OH⁻ ионы в объеме реагировали с ионами Ni²⁺ с образованием гидроксида. Полученный осадок частично выносился из аппарата и сразу отфильтровывался от маточного раствора с помощью вакуум-фильтра, а частично осаждался на поверхности катода. На аноде происходило подкисление раствора.

Все синтезированные образцы проходили последующую обработку по схеме:

первая сушка (80 °С) → размол → рассев на сите 71 мкм → отмывка от растворимых солей в дистиллированной воде в течении суток → фильтрация и вторая сушка.

Структура образцов изучалась при помощи снятия рентгеновских дифрактограмм с помощью автоматизированного рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 (в Co K α -излучении). Электрохимические свойства изучались при помощи циклической вольтамперометрии в ячейке ЯСЭ-2 на потенциостате ПИ-50-1. Рабочий электрод: основа – никелевая сетка на никелевой фольге; активная масса – 74 % гидроксида, 16 % графита, 10 % ПТФЭ. Электролит – 4,5 М КОН. Скорость развертки 1 мВ/с. Электрод сравнения – насыщенный хлорсеребряный.

Обсуждение результатов. В первую очередь необходимо отметить, что при попытке получить гидроксид никеля в ЩДЭ из раствора нитрата никеля при плотностях тока 8-12 А/дм² (оптимальных для получения из сульфатных растворов[5]) наблюдался значительный перегрев католита вплоть до закипания. Это может быть объяснено значительным отличием ΔH реакций (1-2) по сравнению с ΔH реакции (3). Поэтому получение гидроксида никеля в ЩДЭ из раствора нитрата никеля проводили при плотности тока 4 и 6 А/дм². При этом значительное количество гидроксида никеля осаждалось на катод и оставалось внутри ЩДЭ, что является существенным недостатком.

В таблице 1 показана маркировка полученных образцов гидроксида никеля.

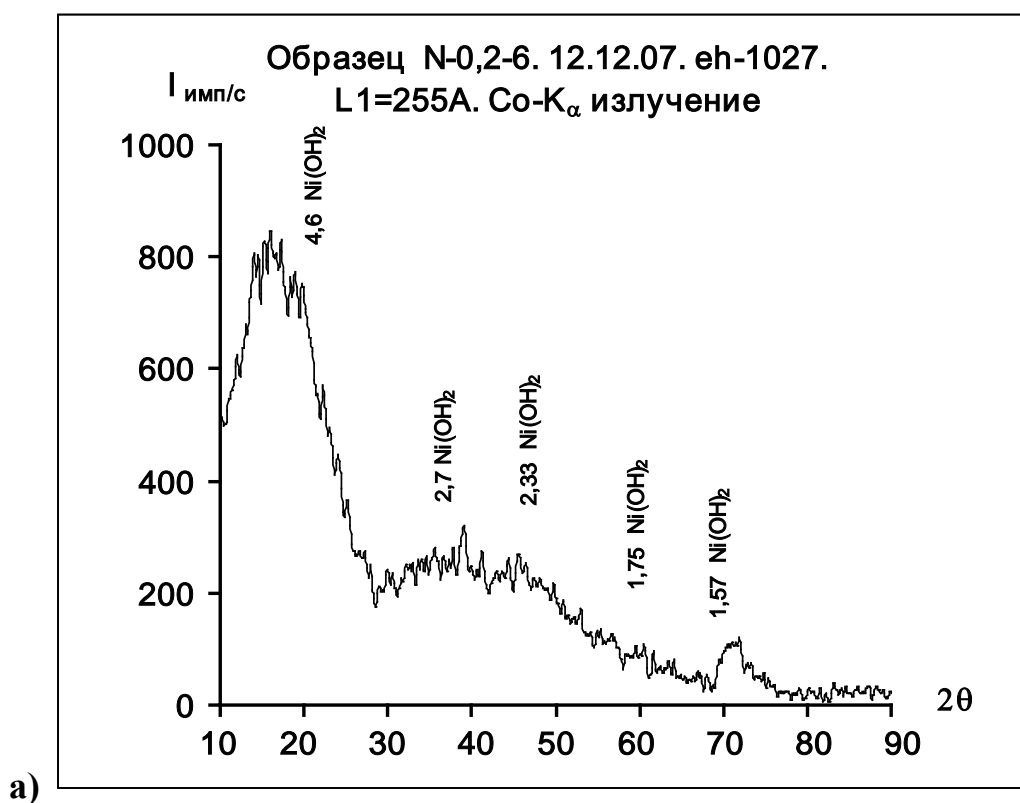
Таблиця 1

Маркировка образцов гидроксида никеля

Маркировка	N-0,2-4Э	N-0,2-6	N-0,4-6	N-0,4-6Э
Плотность тока, А/дм ²	4	6	6	6
Скорость протока католита, л/ч	0,2	0,2	0,4	0,4
Примечание	снят с электрода	Отфильтрован	Отфильтрован	снят с электрода

Структура образцов.

Дифрактограммы образцов N-0,2-6 (рис. 1 а) и N-0,4-6 (рис. 1 б) показывают, что образцы представляют из себя низкокристаллический α -Ni(OH)₂. Этот вывод подтверждает литературные данные о формировании преимущественно α -Ni(OH)₂ из растворов нитрата никеля. Возможно, в образцах N-0,2-6 и N-0,4-6 содержится некоторое количество рентгеноаморфного β -Ni(OH)₂, о чём говорит уширение первого пика. В тоже время для образцов гидроксида, снятых с электрода N-0,2-4Э (рис. 2 а) и N-0,4-6Э (рис. 2 б) заметно увеличение содержания β -Ni(OH)₂ (появляются пики β фазы), помимо этого увеличивается кристалличность. Это, по-видимому, связано с дополнительным прогревом Ni(OH)₂, оставшегося в аппарате, и следовательно его старением.



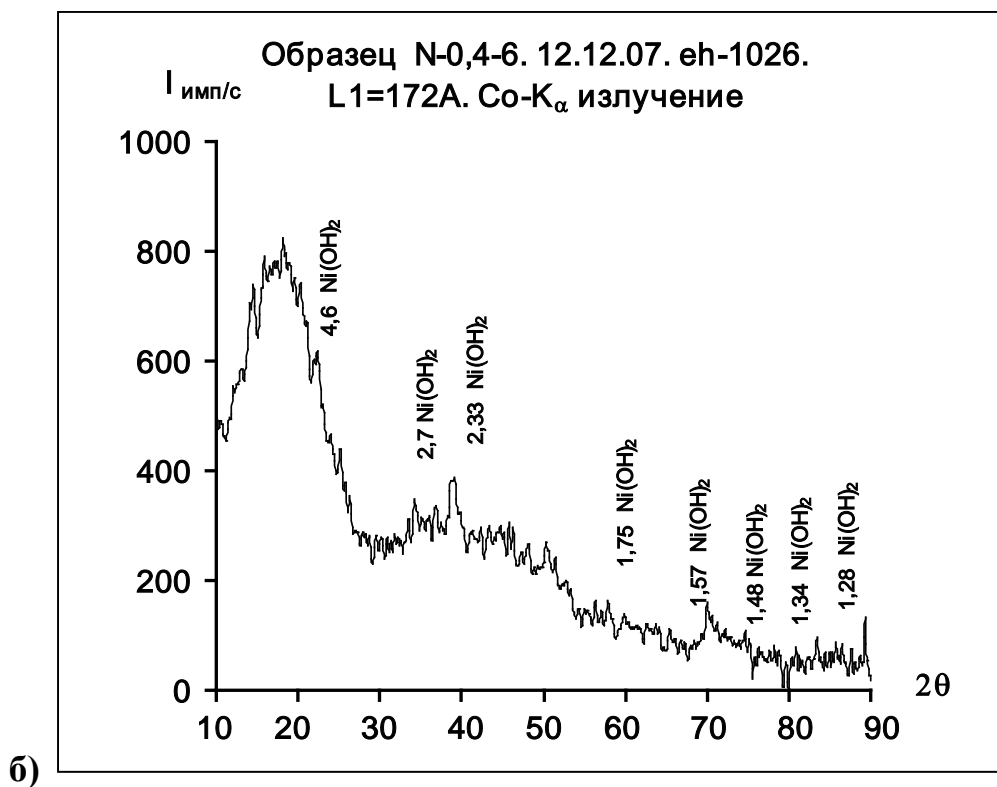
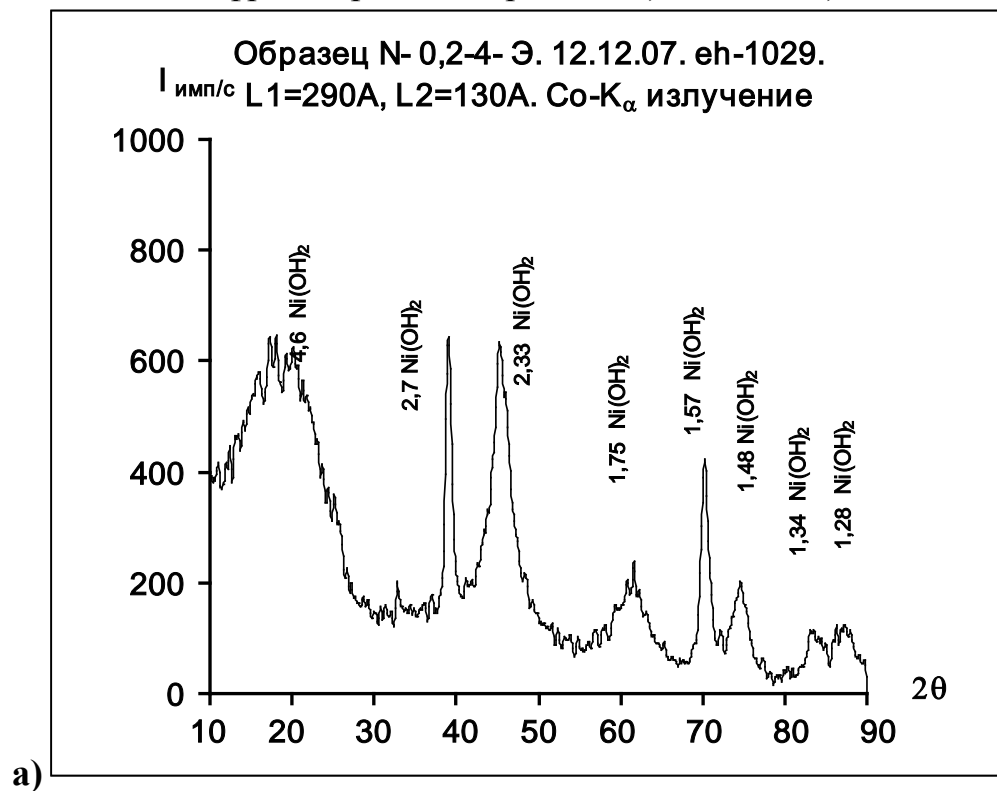


Рис. 1. Дифрактограммы образцов: а) N-0,2-6; б) N-0,4-6



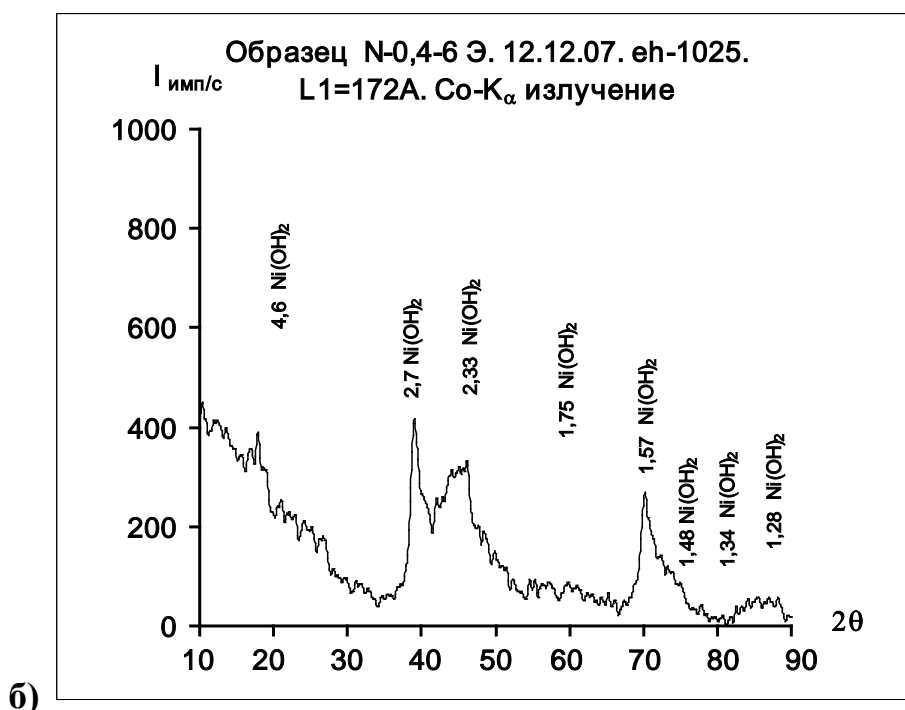
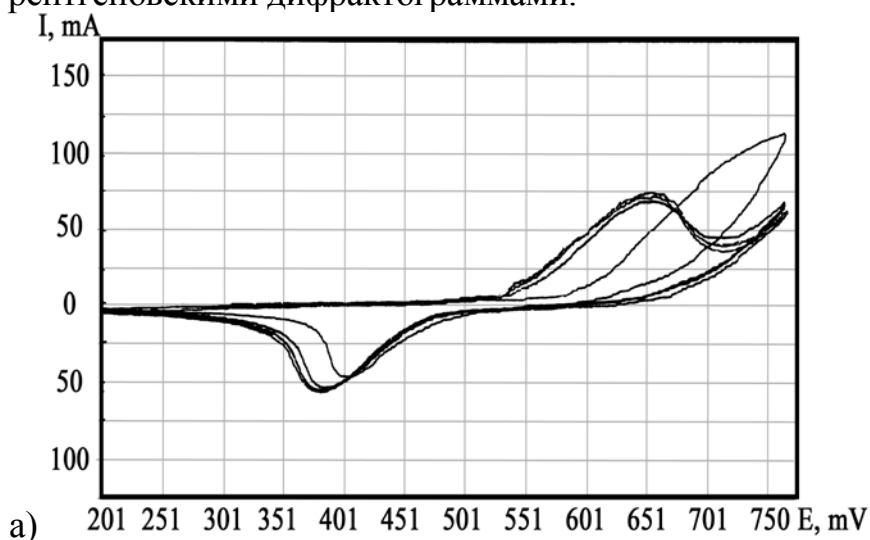


Рис. 2. Дифрактограммы образцов: а) N-0,2-4Э; б) N-0,4-6Э

Электрохимические свойства образцов.

Циклические вольтамперограммы всех образцов имеют подобный характер, соответствующий α -Ni(OH)₂. На циклических кривых наблюдается первый зарядный пик. Однако для образцов, полученных при более низкой скорости потока (N-0,2-4Э и N-0,2-6) первый зарядный пик слабо выражен (рис. 3 а, б), в тоже время как первый катодный пик четко выражен и характеризуется значительным током. Это указывает на преимущественно химический характер окисления гидроксида никеля при первом заряде, что характерно для β -Ni(OH)₂. Наличие β -Ni(OH)₂ подтверждается рентгеновскими дифрактограммами.



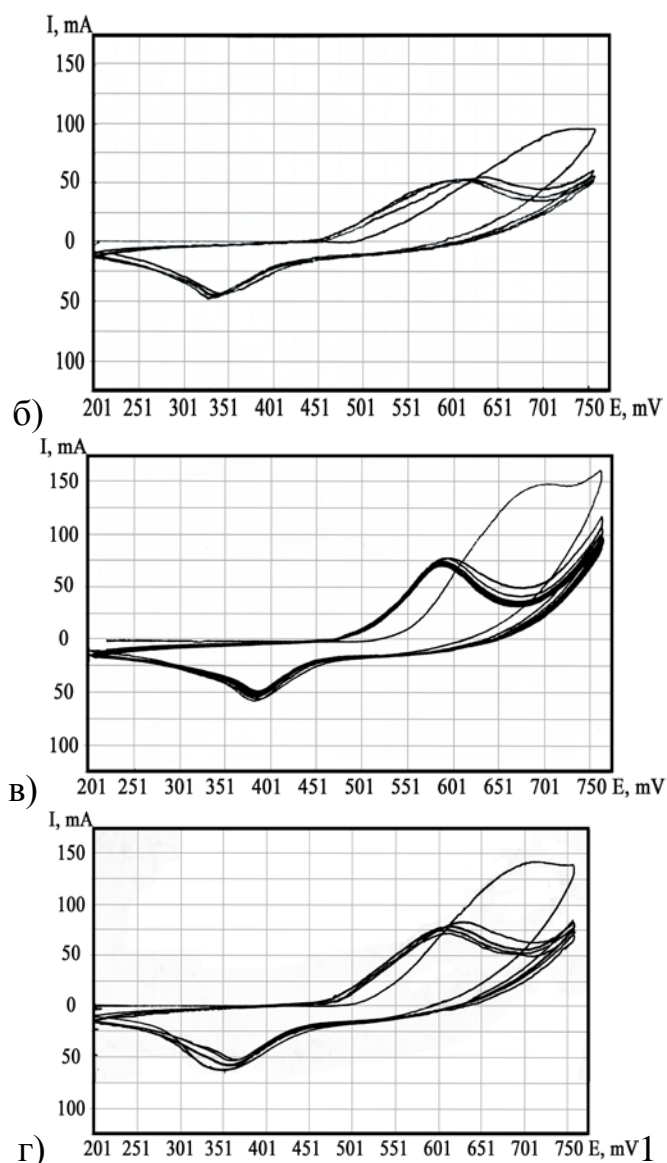


Рис. 3. Вольтамперограммы образцов: а) N-0,2-4Э; б) N-0,2-6;
в) N-0,4-6; г) N-0,4-6Э

Для образцов, полученных при более высокой скорости потока (N-0,4-6 (рис. 3 в) и N-0,4-6Э (рис. 3 г)) характерен более выраженный первый зарядный пик, что указывает на значительный вклад электрохимического процесса в первичное окисление гидроксида никеля, что характерно для α -Ni(OH)₂. Эти данные коррелируют с рентгенограммами образцов, указывающих на преобладание рентгеноаморфного α -гидроксида никеля. На втором и последующих циклах для всех образцов наблюдаются стабильность катодных пиков, что указывает на хорошую прорабатываемость материала, высокая обратимость и высокая поляризация выделения кислорода. Приведенные данные указывают на высокую электрохимическую активность полученных α -подобных образцов Ni(OH)₂.

Выводы:

1. Проведен электрохимический синтез гидроксида никеля в щелевом диафрагменном электролизере из раствора нитрата никеля. Изучены характеристики полученных образцов.

2. Показано, что синтез $\text{Ni}(\text{OH})_2$ в ЩДЭ из раствора нитрата никеля с концентрацией Ni^{2+} 12.7 г/л возможен при низких плотностях тока (4-6 А/дм²) из-за перегрева католита вплоть до закипания. Отмечено, что значительное количество гидроксида никеля оставалось внутри электролизера, что является недостатком.

3. Изучение характеристик образцов показало, что они представляют из себя низкокristаллический α - $\text{Ni}(\text{OH})_2$ с некоторым количеством низкокristаллического β - $\text{Ni}(\text{OH})_2$. При этом количество бета-формы и кристалличность возрастают при снижении скорости протока и увеличении плотности тока. Методом циклической вольтамперометрии показана высокая электрохимическая активность образцов и стабильность при циклировании.

4. Показана перспективность образцов, полученных электрохимическим синтезом из раствора нитрата никеля в щелевом диафрагменном электролизере для использования в щелочных аккумуляторах. Однако, при использованных условиях синтеза (концентрация ионов никеля, скорость протока, плотность тока) процесс не может быть внедрен из-за тепловой нестабильности и сложности обеспечения непрерывности. Для устранения этого необходимы дальнейшие исследования.

Список літератури

1. Коваленко В.Л. Получение гидроксида никеля как активного вещества щелочных аккумуляторов в щелевом диафрагменном электролизёре / Коток В.А., Пиниэлле И.Д., Кошель Н.Д., Приймак В.В. // Вестник национального технического университета “ХПИ”. - Харьков. – 16, 2005. - с. 76-79.
2. Chen. J. Nickel hydroxide as an active material for the positive electrode in rechargeable alkaline batteries / Brandhurst D. H., Dou S. X., Zin H. K. // Journal of The Electrochemical Society – 1999. – 146, № 10. – p. 3606 – 3612.
3. Hevanandapt. Synthesis of nonosited α – nickel hydroxide by a sonochemical method. / Kolytyn Yu., Gedanken A // Nano Lett. - № 5, 2001. - с. 263 – 266
4. Jayashree R.S. Factors governing the electrochemical synthesis of α -nickel (II) hydroxide / Jayashree R.S., Vishnu Kamath P. // Journal of Applied Electrochemistry – 1999, №29. – p. 449-454.
5. Kotok V.A. Electrochemical obtaining of $\text{Ni}(\text{OH})_2$ from sulphate solution by flowing slit diaphragm electrolyzer. / Kotok V.A., Kovalenko V.L., Malishev V.V. // RSE-SEE: 1st regional symposium on electrochemistry of South-East Europe. Book of abstracts. – Rovinj, Croatia. – 2008. – p. 201-203.
6. Van der Ven A. Phase Stability of Nickel Hydroxides and Oxyhydroxides / Van der Ven A., Morgan D., Meng Y. S., Ceder G. // Journal of The Electrochemical Society. – 2006. – № 153 (2). – p. A210-A215.
7. Wang Xianyou Electrochemical study of nanostructured multiphase nickel hydroxide / Wang Xianyou, Sebastian P.J., Millan Ari-Carman, Parkhutik P.V., Gamboa S.A. // Journal of New Materials for Electrochemical Systems. – 2005. - № 8. – p. 101-108.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.
Надійшла до редакції 27.01.2015*



**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА
ОХОРОНА ПРАЦІ
ECOLOGICAL SAFETY AND LABOR
PROTECTION**

УДК 519.6:504.3.054

© Н.Н. Беляев, А.В. Берлов

РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ДИВЕРСИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В СЛУЧАЕ ПЕРЕВОЗКИ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОГО ГРУЗА

Представлена численная модель, позволяющая оперативно рассчитать динамику загрязнения атмосферного воздуха на примагистральной территории при диверсии в случае транспортировки железнодорожным транспортом химически опасного груза. Для расчета рассеивания опасного вещества в атмосферном воздухе применено двухмерное уравнение переноса примеси, аэродинамика воздушных потоков рассчитывается на базе уравнений Навье-Стокса.

Представлена чисельна модель, що дозволяє оперативно розрахувати динаміку забруднення атмосферного повітря на примагістральній території при диверсії у випадку транспортування залізничним транспортом хімічно небезпечного вантажу. Для розрахунку розсіювання небезпечної речовини в атмосферному повітрі застосоване двомірне рівняння переносу домішки, аеродинаміка повітряних потоків розраховується на базі рівнянь Нав'є-Стокса.

A numerical model allowing operatively to compute the dynamics of air pollution on the territory near railway at terroract in the case of transport by rail chemically hazardous cargo. To compute the dispersion of hazardous substances in the ambient air is applied two-dimensional equation of pollutant transport, the aerodynamics of air flow is computed based on the Navier-Stokes equations.

Вступление. К числу наиболее опасных источников возможного химического загрязнения окружающей среды при перевозке железнодорожным транспортом относится ракетное топливо, и в частности, твердое ракетное топливо (ТРТ) ракетной системы РС-22 (рис.1.), которое складировано на Павлоградском химическом заводе.



Рис. 1. Перевозка снаряженных корпусов твердотопливных ракетных двигателей РС-22 железнодорожным транспортом

Перевозка таких грузов определяет весьма высокий потенциальный уровень рисков возникновения чрезвычайных транспортных происшествий (аварий, диверсий) последствия которых может быть катастрофичным. Известно, что к перевозке таких опасных грузов предъявляются очень строгие требования, но, не смотря на это, возможно возникновение аварии или диверсии при транспортировке. В связи с этим представляется актуальным расчет возможного загрязнения атмосферы при диверсии на железнодорожном транспорте при перевозке ТРТ (рис.2). В этом случае особо важно оценить риск токсичного поражения людей на примагистральной территории, где нередко располагаются здания.

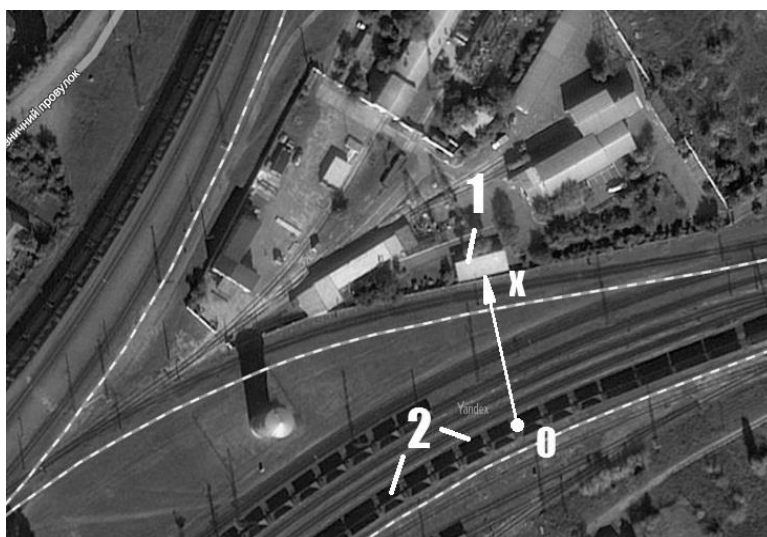


Рис. 2. Общий вид расчетной зоны: 1 – здание на территории станции «Павлоград-1», 2 – железнодорожный состав

Анализ существующих решений. В настоящее время в Украине для оценки последствий аварийных выбросов на химически опасных объектах и транспорте применяется нормативная методика или методика ОНД-86, РД 52.04.253-90 [3]. Данные методики не учитывают скорость ветра, атмосферную диффузию на процесс формирования зоны загрязнения. Для решения задач данного класса также применяются различные аналитические модели и модель Гаусса [2]. Данные модели позволяют оперативно рассчитать зону загрязнения, но для упрощенных ситуаций типа точечный постоянно действующий источник выброса или точечный мгновенный выброс [2]. Для применения модели Гаусса необходимо научное обоснование значений коэффициентов дисперсии для территории Украины, которое в настоящее время отсутствует. Сейчас осуществляется активная разработка CFD моделей для решения задач прогноза аварийного загрязнения атмосферы. Это связано с тем, что модели данного класса позволяют максимально учитывать те физические факторы, которые оказывают влияющее значение на формирование зон загрязнения [1, 2, 4, 5].

Целью данной работы является разработка CFD (Computational Fluid Dynamics) модели для прогноза загрязнения атмосферы при горении твердого ракетного топлива в железнодорожном вагоне, расположенном вблизи здания

на примагистральной территории (вокзал, диспетчерский пункт и т.д.). Основное требование к данной модели – учет основных физических факторов при моделировании и малые затраты компьютерного времени при практической реализации модели.

Математическая модель. При расчете процесса загрязнения атмосферы, в масштабе «microscale» (расстояние порядка 50 – 100м) в случае аварийной ситуации – возгорание в железнодорожном вагоне ТРТ, решение задачи разбивается на два шага. На первом шаге решается задача по определению поля скорости воздушного потока с учетом взаимодействия выходящего из железнодорожного вагона газового потока с ветровым потоком. Для решения этой задачи применяются уравнения Навье-Стокса, записанные в переменных Гельмгольдса:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega, \quad (2)$$

где $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ – завихренность; ψ – функция тока; ν – коэффициент турбулентной вязкости. Ось Y направлена вертикально вверх.

Компоненты вектора скорости воздушного потока рассчитываются по зависимостям

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Постановка краевых условий для данной системы уравнений приведена в [1].

После определения поля скорости воздушного потока решается задача о переносе загрязняющих веществ (продуктов горения твердого ракетного топлива) в атмосфере. Для моделирования этого процесса используется уравнение переноса примеси в атмосфере [1, 4, 5]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (3)$$

где C – концентрация загрязняющего вещества; u, v – компоненты вектора скорости воздушного потока; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса загрязнителя; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – дельта-функция Дирака; x_i, y_i – координаты источника выброса; σ – коэффициент, учитывающий химический распад загрязнителя; t – время.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [1].

В разработанной численной модели используются следующие зависимости для задания профиля ветра и вертикального коэффициента атмосферной диффузии [2]:

$$u = u_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^p, \quad \mu_y = k_1 \left(\frac{y}{y_1} \right)^m, \quad \mu_x = k_0 u,$$

где u_1 – скорость ветра на высоте y_1 (принимается $z_1=10\text{м}$); $k_1=0,2$; $k_0=0,1$; $p=0,16$; $m \approx 1$.

Численное интегрирование уравнений модели выполняется на прямоугольной разностной сетке. При формировании расчетной области используется метод маркирования [1]. С помощью маркеров задается, положение железнодорожного вагона, форма и местоположение здания вблизи места эмиссии загрязнителя.

Метод решения. Численное интегрирование уравнений Навье – Стокса осуществляется с помощью неявных разностных схем [1]. Для численного интегрирования уравнения переноса примеси используется попеременно-треугольная неявная разностная схема расщепления [1, 4, 5].

Практическая реализация модели. Разработанная численная модель относится к классу «diagnostic models». Данные модели учитывают основные физические факторы, влияющие на развитие чрезвычайной ситуации, но при этом требуют небольших затрат компьютерного времени при практической реализации на компьютерах малой и средней мощности (время расчета порядка нескольких минут). Эти модели используются для быстрого серийного расчета разнообразных сценариев чрезвычайных ситуаций и диагностики интенсивности загрязнения окружающей среды. «Diagnostic models» обеспечивают быстрый расчет зон загрязнения и социального риска для моделируемой чрезвычайной ситуации.

Разработанная численная модель реализована в виде прикладных программ (кодов) для проведения вычислительного эксперимента на персональном компьютере.

На базе рассмотренной CFD модели был создан пакет прикладных программ «WALL-2». Для программирования использовался FORTRAN.

Пакет программ включает в себя следующие подпрограммы:

1. ТВ2 – численный расчет рассеивания опасного вещества в атмосфере на первом шаге расщепления;
2. ТВ3 – численный расчет рассеивания опасного вещества в атмосфере на втором шаге расщепления;
3. ТВ4 – численный расчет рассеивания опасного вещества в атмосфере на третьем шаге расщепления;
4. ТВ5 – численный расчет рассеивания опасного вещества в атмосфере на четвертом шаге расщепления;
5. ТВ6 – реализация граничных условий;
6. ZNS – решение уравнения переноса завихренности;
7. GFNS – реализация граничных условий для уравнения переноса завихренности;
8. ZNSPS – решение уравнения для функций тока;
9. ZKL – реализация граничных условий для уравнения для функции тока;

10. TB1.dat – файл ввода данных, необходимых для проведения вычислительного эксперимента.

Основные этапы алгоритма решения задачи с помощью данного пакета программ показаны на рис. 3.

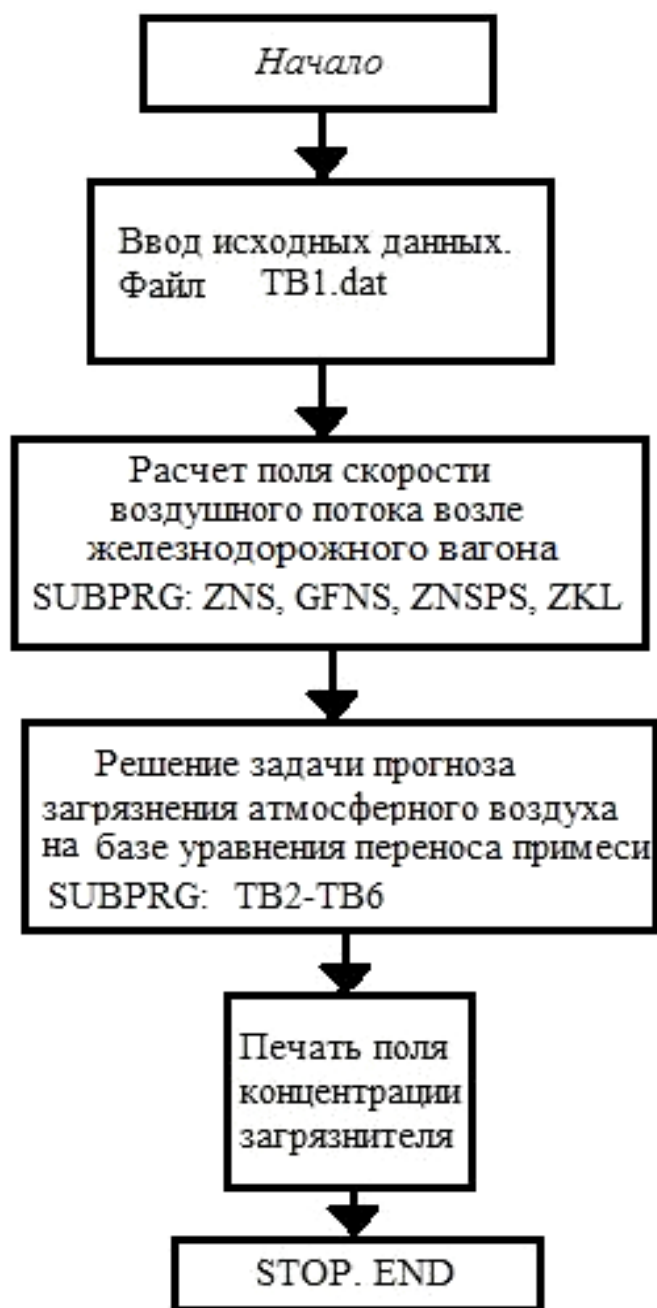


Рис. 3. Основные этапы алгоритма решения задачи с помощью пакета программ «WALL-2»

Разработанная модель ориентирована на решение следующей задачи. Рассматривается железнодорожный вагон, в котором транспортируется твердое ракетное топливо РС-22. Ставится задача по оценке уровня загрязнения приземного слоя атмосферы при чрезвычайной ситуации в железнодорожном вагоне, когда произойдет возгорание топлива внутри вагона и струя газа – про-

дуктов горения будет выходить из вагона наружу, приводя к загрязнению воздушной среды на примагистральной территории. Рассматривается расчет загрязнения воздушной среды вблизи здания на станции «Павлоград-1» (рис.2).

Расчет выполнялся при следующих исходных данных: значение скорости ветра на фиксированной высоте Y_1 равна 8м/с. Размеры расчетной области 75м*26м; высота здания –12 м; $\sigma = 0$.

Внутри железнодорожного вагона задается разностная ячейка, из которой выходит поток со скоростью V_{gas} , содержащий загрязнитель (HCl) с концентрацией 100 ед. (в безразмерном виде).

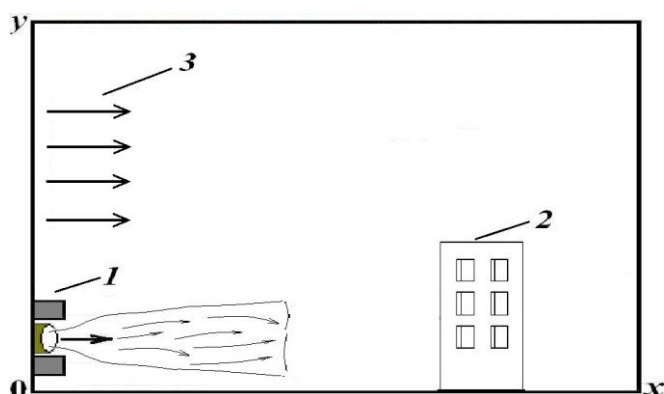


Рис. 4. Схема расчетной области: 1 – железнодорожный вагон; 2 – здание; 3 – направление ветра

Скорость струи выходящего из вагона газового потока – продуктов сгорания принята равной $V_{gas} = 20 м/с$ (рис.4).

Результаты параметрических исследований. Рассмотрим результаты моделирования, полученные на базе разработанной численной модели. На рис. 5 показана зона загрязнения возле вагона и здания при возникновении аварийной ситуации.

Как видно из рис. 5 возле вагона формируется подзона загрязнения, характеризующаяся большим градиентом концентрации примеси. Хорошо видно как струя продуктов горения распространяется вдоль земной поверхности (нижняя граница струи), а верхняя граница струи огибает здание, находящееся возле железнодорожного полотна. Из рис. 5 также видно, что перед зданием и за зданием формируется интенсивная зона загрязнения. Это значит, что в окна здания будет поступать воздух содержащий продукты горения. Кроме этого создастся угроза для людей, покидающих здание через двери расположенные на подветренной стороне, поскольку, как видно из рис. 5, здесь образовалась зона загрязнения. Таким образом, при возникновении рассматриваемой чрезвычайной ситуации возникает угроза токсичного поражения людей на примагистральной территории.

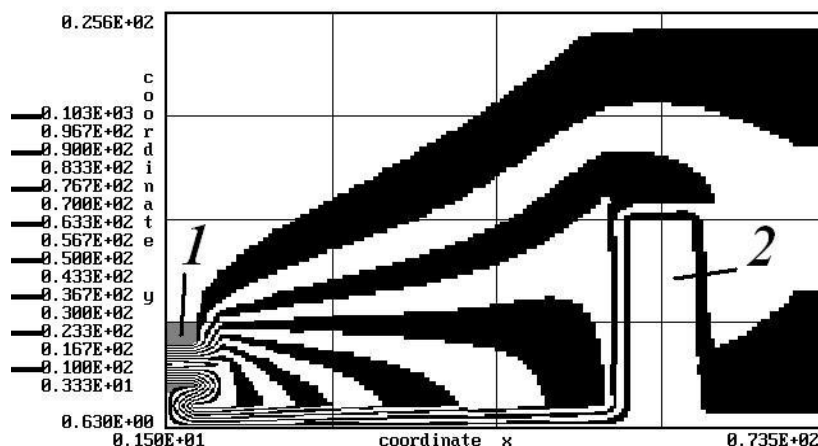


Рис. 5. Зона загрязнения приземного слоя атмосферы для момента времени $t=20$ сек.: 1 – железнодорожный вагон, 2 – здание

Выводы. Рассмотрена эффективная численная модель «diagnostic model» для экспресс расчета уровня загрязнения атмосферы при аварийной ситуации при перевозке железнодорожным транспортом твердого ракетного топлива. Предложенная модель позволяет рассчитать гидродинамику ветрового потока с учетом его взаимодействия с газовым потоком – продуктом горения ракетного топлива. Разработанная модель была использована для локального прогноза загрязнения атмосферного воздуха при чрезвычайной ситуации на железной дороге при горении ТРТ.

Дальнейшее совершенствование модели следует проводить в направлении ее развития для расчета 3D переноса примеси в атмосфере.

Список литературы

1. Беляев Н. Н. Моделирование нестационарных процессов аварийного загрязнения атмосферы: монография / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машихина. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 127 с.
2. Бруцкий Е. В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е. В. Бруцкий. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
3. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. – К., 2001. – 33 с.
4. Belyaev M. Air Pollution Modelling of Technogenic Catastrophes caused by Terrorist Attacks on Rail Transport of Chemical Substances / M. Belyaev // Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environment. NATO Science for Peace and Security Series. – С.: Environmental Security, Springer, 2007. – P. 327 – 336.
5. Biliaiev M. M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography / M. M. Biliaiev, M. M. Kharytonov // Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application. – Torino, Italy, 2010. – № P1.7.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.
Надійшла до редакції 25.09.2014

УДК 502.36/.504.3.054:656.2

© Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, Л.Я. Мунтян

ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РИСКА ПРИ АВАРИЯХ НА ТРАНСПОРТЕ

Предложен метод оценки территориального риска при авариях на железнодорожном транспорте. Метод базируется на численном моделировании загрязнения атмосферы. Для численного интегрирования используется неявная разностная схема. Представлены результаты вычислительного эксперимента.

Запропоновано метод оцінки територіального ризику при аваріях на залізничному транспорті. Метод базується на чисельному моделюванні забруднення атмосфери. Для чисельного інтегрування використовується неявна різницева схема. Представлені результати обчислювального експерименту.

The method of territorial risk assessment after accidents at the railway was developed. A method is based on numeral integration of the equation admixture dispersion in atmosphere. To solve the modeling equation the implicit scheme is used. Results of the numerical simulations are presented.

Актуальность. Как известно, по железной дороге происходит транспортировка в больших объемах химически опасных грузов. Поэтому в случае аварии возникает риск масштабного загрязнения окружающей среды и поражения людей (рис.1). В этой связи возникает важная задача по оценке риска поражения населения в селитебных зонах, которые прилегают к железнодорожной магистрали [2,4].



Рис. 1. Эмиссия загрязняющих веществ при аварии на железной дороге

Необходимо отметить, что прогноз такого риска является очень важной задачей. Однако, в Украине существует ограниченное количество методик для решения такой задачи с точки зрения оценки на величину риска физических факторов, влияющих на формирование возможной зоны загрязнения и интенсивность поражающего фактора - концентрации.. Нормативная методика оценки риска носит общий, теоретический характер и не дает конкретных зависимостей, формул, по которым можно было бы оценить величину риска с учетом специфики аварий на железной дороге. Необходимо отметить, что особенностью аварий на транспорте является нестационарная эмиссия загрязняющих веществ и поэтому нормативные методики типа ОНД-86 или методика прогноза последствий аварий на транспорте не могут быть применены для задачи по оценке уровня загрязнения атмосферы и прогноза территориального риска.

Поэтому актуальной задачей является разработка эффективных методов оценки риска при масштабных авариях на железной дороге.

Математическая модель. Оценка территориального риска осуществляется в определенной последовательности [1] (рис.2). Основой решения данной задачи, при аварии на железной дороге, является оценка уровня загрязнения атмосферы при вероятной метеорологической ситуации. Для моделирования процесса рассеивания опасных веществ, в случае аварии, используется уравнение переноса примеси [2-4]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} + \sigma C = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} C) + \\ + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где C – концентрация опасного вещества; σ – коэффициент, учитывающий химический распад загрязнителя; u, v, w – компоненты вектора скорости ветрового потока; w_s – скорость гравитационного оседания загрязнителя; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии; Q – интенсивность выброса опасного вещества; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i)$ – дельта-функция Дирака; x_i, y_i, z_i – координаты источника эмиссии; t – время.

При реализации данной модели профиль ветра рассчитывается по логарифмической зависимости скорости ветра от высоты. Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в [2-4]. Для численного интегрирования данного уравнения применяется неявная разностная схема расщепления [2-4]. Разработан код «Risk-2» на алгоритмическом языке FORTRAN, осуществляющий расчет загрязнения атмосферы и оценки территориального риска на базе численных данных, полученных путем решения уравнения (1).

Для проведения вычислительного эксперимента на базе построенной численной модели необходимо задать профиль скорости и направления ветра, место аварийного выброса, интенсивность эмиссии химически опасного вещества, продолжительность эмиссии, положение рецепторов.

Практическая реализация модели. На последующих рисунках представлены результаты расчета территориального риска для следующей модельной задачи. На станции «Павлоград-1» (рис.3) возможен выброс аммиака с интенсивностью 25 кг/с в течение 10 минут. Эмиссия осуществляется в результате разгерметизации цистерны. По данным метеопрогноза, на период времени, когда состав будет на данной станции, вероятны следующие ситуации: скорость ветра – 1 м/с (вероятность 14,3%), скорость ветра – 5 м/с (вероятность 42,85%), скорость ветра – 6 м/с (вероятность 42,85%), во всех случаях направление ветра юго-восточное. Размеры расчетной области 10 км*10 км.



Рис. 2. Этапы определения территориального риска

На рис. 4 представлена зона загрязнения атмосферы для одной из метеоситуаций. Хорошо видно как под влияние шлейфа попадает селитебная территория.

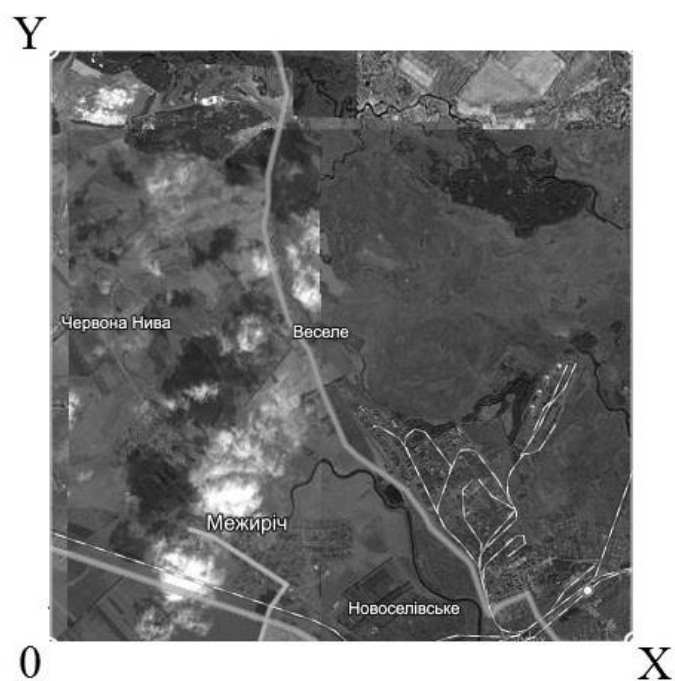


Рис. 3. Расчетная область (станция «Павлоград -1»)

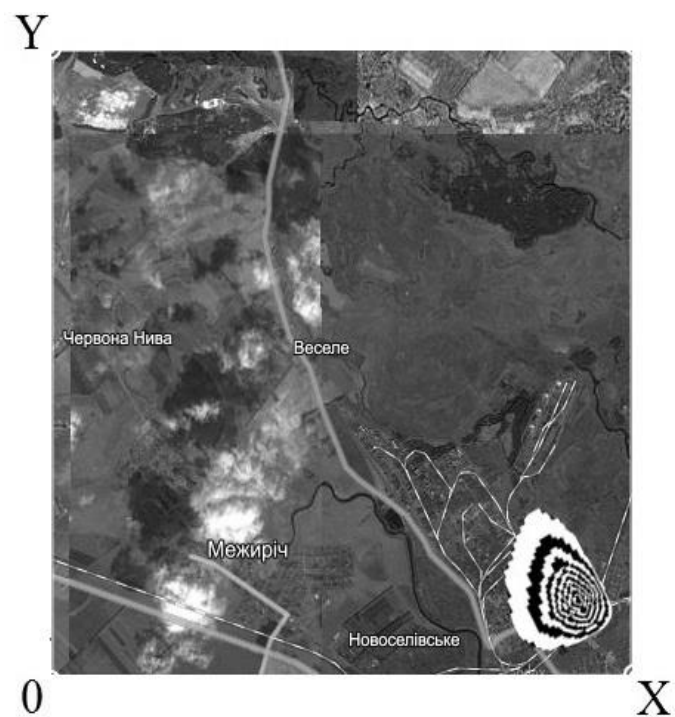


Рис. 4. Зона загрознєння атмосфєри (уровень $z=10$ м, время 10 мин)

При оцєнке потенцiального територiального ризику приймалось, що при концентрацiї рiвної або бiльшєй величини $0,2 \text{ мг/м}^3$ – рецептор попадає в зону ризику. На рис.5 представлена матриця потенцiального територiального ризику в даннєму регионє для розгляданих сценарiїв реалiзацiї можливих метеоситуацiй.

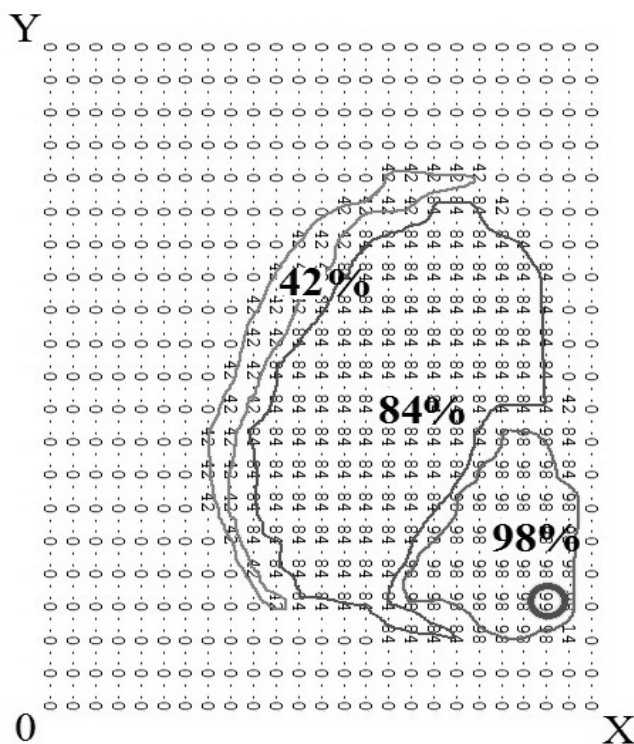


Рис. 5. Матрица территориального риска

Как видно из рис.5 значительному риску (84% - 98%) подвергается большая часть региона, что ставит на передний план задачу минимизации последствий такого вида аварий на железной дороге.

Выводы. В работе рассмотрен метод оценки территориального риска в случае аварий на железнодорожном транспорте. Основу метода составляет численное моделирование процесса загрязнения атмосферы с последующей оценкой размеров зон, попадающих под влияние источника эмиссии. Дальнейшее совершенствование данного направления следует проводить в направлении создания 3D модели для расчета территориального риска в случае залповых выбросов опасных веществ на транспорте.

Список литературы

1. Алымов В.Т. Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов / В. Т. Алымов, Н. П. Тарасова. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
2. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 136 с.
3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
4. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // Air Pollution Modeling and its Application XXI, Springer, 2012. – P. 87–91.
5. Guidance on safety Risk Assessment for Chemical Transport Operations // The European Chemical Industry Council. Cefic. October 2013. www.cefic.org.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 28.09.2014

УДК 620.197.3:621.771:661.63

© Е.В. Власова, Е.Н. Левко, В.Л. Коваленко, В.А. Коток

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА МЕЖОПЕРАЦИОННЫХ ТРИПОЛИФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ

На основании результатов предыдущих исследований относительно матричного строения триполифосфатного покрытия на стали осуществлен целенаправленный выбор добавок-модификаторов различного действия для повышения его защитных свойств. Результаты коррозионных испытаний показали повышение защитных свойств модифицированных триполифосфатных покрытий. Наибольший эффект достигается при модифицировании бурой. Установлено, что на дифрактограмме данного покрытия присутствуют фосфаты и бораты железа определенной кристалличности. Это указывает на образование у этого покрытия упрочненной матрицы смешанного фосфатно-боратного состава.

Базуючись на результатах попередніх досліджень щодо матричної будови триполіфосфатного покриття на сталі здійснили цілеспрямований вибір домішок-модифікаторів різної дії для підвищення його захисних властивостей. Результати корозійних випробувань показали підвищення захисних властивостей модифікованих тріполіфосфатних покриттів. Найбільший ефект досягається при модифікуванні бурою. Встановлено, що на дифрактограмі цього покриття присутні фосфати та борати заліза певної кристалічності. Це вказує на утворення матриці змішаного фосфатно-боратного складу зміцненого типу.

According to previous research of the steel matrix coating structure the selection of modifying additives of various actions was made to improve its protective properties. The results of corrosion tests have shown an increase of protective properties of the modified tripolyphosphate coatings. The best effect is achieved by modification with borax. It is found that the diffraction pattern of the coating contains iron phosphates and borates, certain crystallinity. This indicates the formation in the coating reinforced matrix with mixed-phosphate-borate composition.

Повышение экологических и экономических требований при выборе состава для получения межоперационного покрытия, способного эффективно защищать широкий круг металлоизделий в промышленной атмосфере и заменить тем самым токсичные нитриты, хроматы, обладая при этом функциональной связью с технологией производства прокатных изделий, создает повышенный интерес к полифосфатам.

Среди полифосфатов особое внимание заслуживает натрий триполифосфат (ТПФ Na), известный как один из ингибиторов коррозии железа в нейтральных средах [1, 2]. ТПФ Na представляет собой экологически безопасное, хорошо растворимое, стабильное, нелетучее при повышенной температуре, промышленно доступное, недорогое вещество и является перспективным материалом для использования в практике противокоррозионной защиты.

Согласно современным представлениям, ТПФ Na относят к конденсированным или молекулярно-дегидратированным фосфатам, построенным из отдельных структурных единиц – тетраэдров PO_4^{3-} . В линейной макромолекуле ТПФ Na цепочки из тетраэдров PO_4^{3-} связаны между собой атомами кислорода, общими для двух соединенных тетраэдров [3, 4]. Уникальным свойством неорганического полимера является его способность сохранять полимерное строение в твердом состоянии, в водных растворах, а также создавать на поверхно-

сти металла непрерывные прочные пленки с низкой проницаемостью для коррозионно-активных составляющих атмосферы.

В последние годы из-за многофункциональности и широкого практического использования фосфатных конверсионных покрытий необходимость повышения их коррозионной стойкости является актуальной. Для этих целей используют самый простой и эффективный метод, предусматривающий введение в раствор для нанесения покрытий различных химических соединений [5].

Анализ литературы [1 – 6] показал отсутствие сведений о видах добавок, предназначенных для модифицирования триполифосфатных покрытий, обладающих специфическим матричным строением.

Цель работы – исследовать влияние добавок неорганической и органической природы (тетраборат натрия – бура, соль Мора, гидроксид алюминия – $Al(OH)_3$, бензоат натрия, этиленгликоль) на защитные свойства модифицированных покрытий, полученных из 12% водного раствора триполифосфата натрия.

Методика исследований. Выбор модифицирующих добавок осуществляли исходя из особенностей матричного строения триполифосфатного покрытия на стальной подложке и возможного механизма их воздействия на процесс его формирования и структуру. Покрытия наносили на образцы холоднокатаной листовой стали ст05кп химическим методом, окуная на 5 минут в нагретые до 80°C водные растворы на основе натрия триполифосфата с добавками и без добавок. Соотношение компонентов в двухкомпонентных растворах составляло 6:1. Образцы сушили сутки в естественных условиях. Методика исследований включала определение пористости – ферроксил-тестом, адгезионной прочности – методом царапания согласно ГОСТ 15140–78. Фазовый состав покрытий исследовали на автоматизированном и компьютеризированном рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 в излучении $Si - K\alpha$ ($\lambda = 1,54178 \text{ \AA}$) по традиционной методике. Коррозионную стойкость стали ст05кп с модифицированными покрытиями в атмосферных условиях оценивали временем появления первых очагов коррозии в ходе прямых натуральных и ускоренных коррозионных испытаний с использованием камеры Г– 4 согласно ГОСТ 9.302-88.

Результаты исследований. В ходе проведенных экспериментов установлено, что по внешнему виду триполифосфатные (ТП) и модифицированные триполифосфатные (МТП) покрытия представляют собой тонкие прозрачные, беспористые слои (пористость ферроксил-тестом не обнаружена), обладающие высокой адгезией к стальной подложке, что обусловлено их конверсионной природой. Адгезионная прочность покрытий составила 1 балл.

Результаты исследований коррозионной стойкости образцов стали ст05кп с МТП покрытиями в атмосферных условиях в ходе натуральных и ускоренных испытаний представлены на рис. 1 и 2.

Как видно из гистограммы, характеризующей результаты коррозионных натуральных испытаний (рис.1) для покрытий с добавками, время появления первых очагов коррозии составило от 32 (бензоат натрия) до 48 суток (бура). При этом коррозионная стойкость стали ст05кп с покрытиями, по сравнению с коррозионной

стойкостью стали без покрытия, в условиях натуральных испытаний выше в 16 – 24 раза.

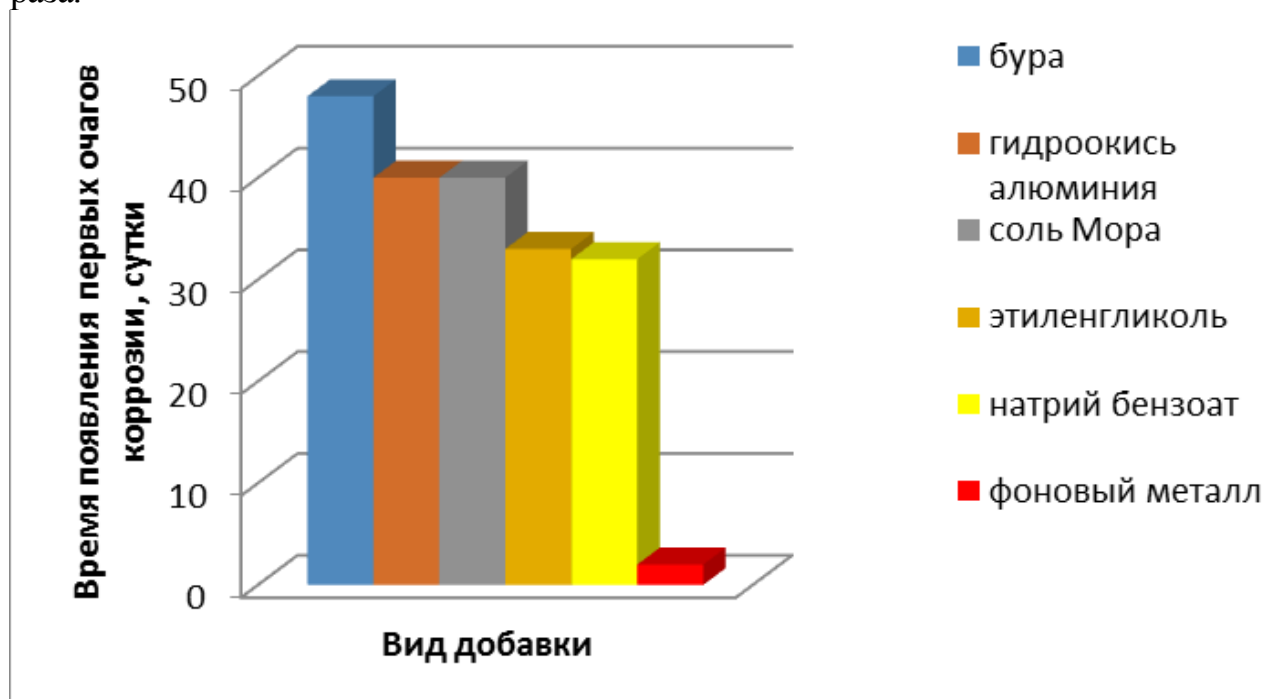


Рис. 1. Коррозионная стойкость стали ст05кп с МТП покрытиями в атмосферных условиях

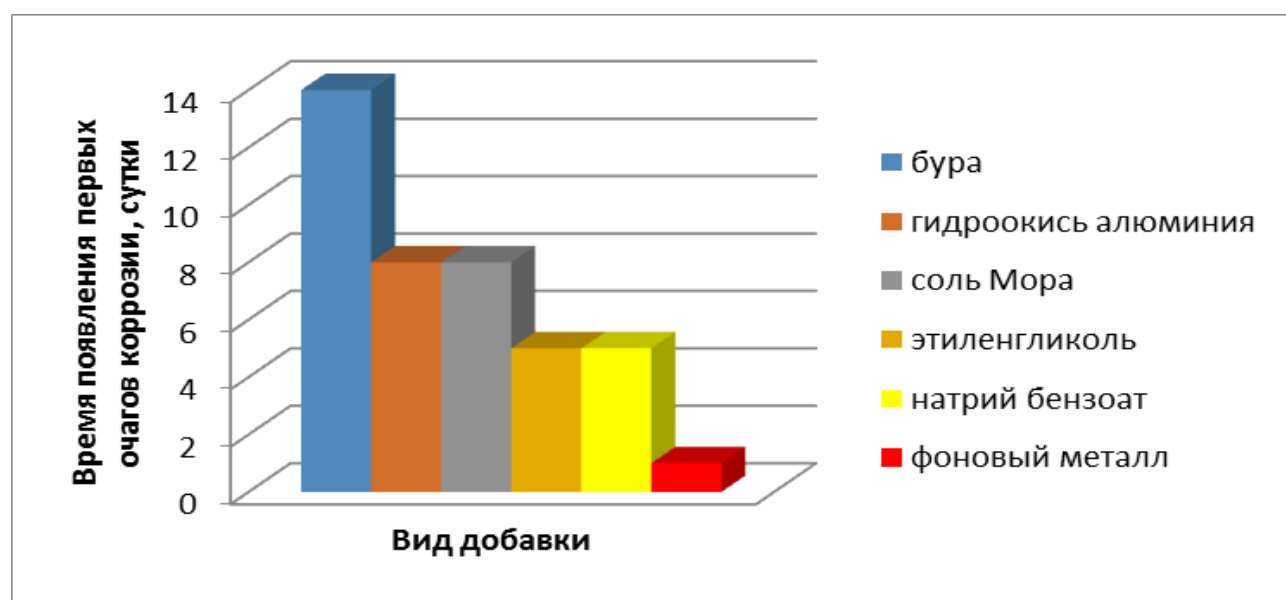


Рис. 2. Коррозионная стойкость стали ст05кп с МТП покрытиями в ходе ускоренных испытаний

Для сравнения нами были проанализированы данные, представленные в работе [7], характеризующие коррозионную стойкость в атмосферных условиях стали ст08кп с ТП покрытием, полученным из 12% водного раствора ТПФ На без добавок. Коррозионная стойкость, оцениваемая показателем коррозии – время появления первых очагов – составила 20 суток. Это в 1,6 – 2,4 раза ниже, чем у стали с исследуемыми МТП покрытиями.

Результаты ускоренных коррозионных испытаний показали, что тенденция влияния добавок на коррозионную стойкость стали ст05кп с покрытиями сохраняется. В камере влажности Г– 4 (рис.2) время появления первых очагов коррозии составляет от 5 (покрытие с добавками бензоат натрия, этиленгликоля) до 14 суток (покрытие с добавкой буры). При этом коррозионная стойкость стали ст05кп с покрытиями по сравнению с коррозионной стойкостью стали без покрытия в условиях повышенной влажности (камера Г– 4) выше в 5 – 14 раз.

Таким образом, полученные результаты показали, что введение выбранных добавок в водный раствор ТПФ Na способствует повышению защитных свойств триполифосфатных покрытий. При этом наибольший эффект достигается при введении буры.

Ниже представлены результаты рентгенофазового анализа исследуемых покрытий без добавок и с добавками гидроксида алюминия, соли Мора, бензоата натрия, этиленгликоля и буры на стали ст05кп (рис.3 – 8).

Как видно из представленных данных (рис.3), ТП покрытие, полученное из 12% водного раствора ТПФ Na при температуре раствора 80°C и времени нанесения 5 минут, содержит в своем составе фосфаты железа и является рентгеноаморфным. По нашему мнению, наличие мелкокристаллической рентгеноаморфной структуры у ТП покрытия объясняется кинетическими закономерностями его формирования как гидрофильной матричной структуры. В работе [8] показано, что при формировании таких структур, например, осадков гидроксидов поливалентных металлов, скорость образования зародышей значительно превышает скорость роста кристаллов. В результате этого образуются первичные аморфные частицы, которые в дальнейшем агрегируют между собой, захватывая при этом большое количество маточного раствора.

Результаты анализа рентгеновских дифрактограмм покрытий, сформированных на поверхности стали из водного раствора ТПФ Na с добавками, подтверждают наличие в их составе фосфатов железа. При этом у покрытий с добавками гидроксида алюминия, соли Мора сохраняется рентгеноаморфная структура ТП покрытия (рис.4, 5). Возможно, что введение соли Мора, как источника ионов железа, и гидроксида алюминия, как наполнителя, будет способствовать увеличению скорости образования центров кристаллизации формирующегося МТП покрытия. Поэтому мы наблюдаем формирование мелкокристаллической (рентгеноаморфной) структуры у этих покрытий.

При введении в раствор этиленгликоля или бензоата натрия формируется покрытие фосфатной природы с пиками слабой кристалличности (рис.6, 7). Так как процесс формирования триполифосфатного покрытия начинается с электрохимического растворения металла подложки, сопровождающегося ионизацией кислорода, то при добавлении таких соединений как этиленгликоль или бензоат натрия за счет их адсорбции [9] скорость этих процессов может уменьшаться. Это будет способствовать формированию покрытия большей кристалличности.

Добавление в раствор ТПФ Na буры способствует формированию покрытия с большей кристалличностью, чем у рассмотренных ранее покрытий (рис.8). Дифрактограмма покрытия (ТПФ+бура) содержит характерный значи-

тельный рефлекс при $2\theta = 34^\circ$, которому соответствует фосфат железа с межплоскостным расстоянием $2,61\text{нм}$. Кроме того, на дифрактограмме выявлен пик высокой кристалличности, который отвечает боратам железа. Таким образом, присутствие в составе покрытия (ТПФ + бора) фосфатно-боратных фаз железа определенной кристалличности указывает на формирование матрицы упрочненного типа смешанного фосфатно-боратного состава, что сопровождается повышением защитных свойств ТП покрытия (рис.1, 2).

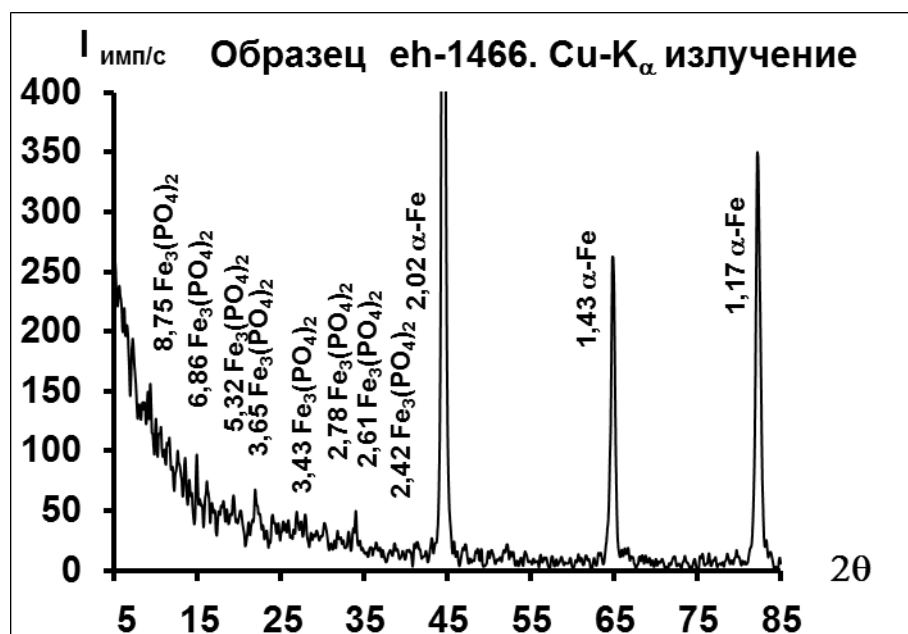


Рис. 3. Дифрактограмма триполифосфатного покрытия на стали ст05кп

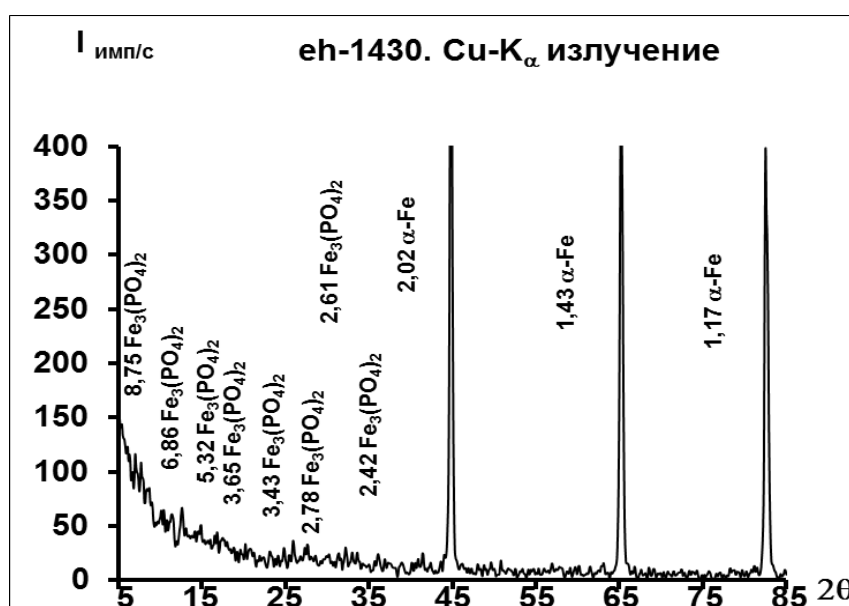


Рис. 4. Дифрактограмма триполифосфатного покрытия с добавкой гидроксида алюминия на стали ст05кп

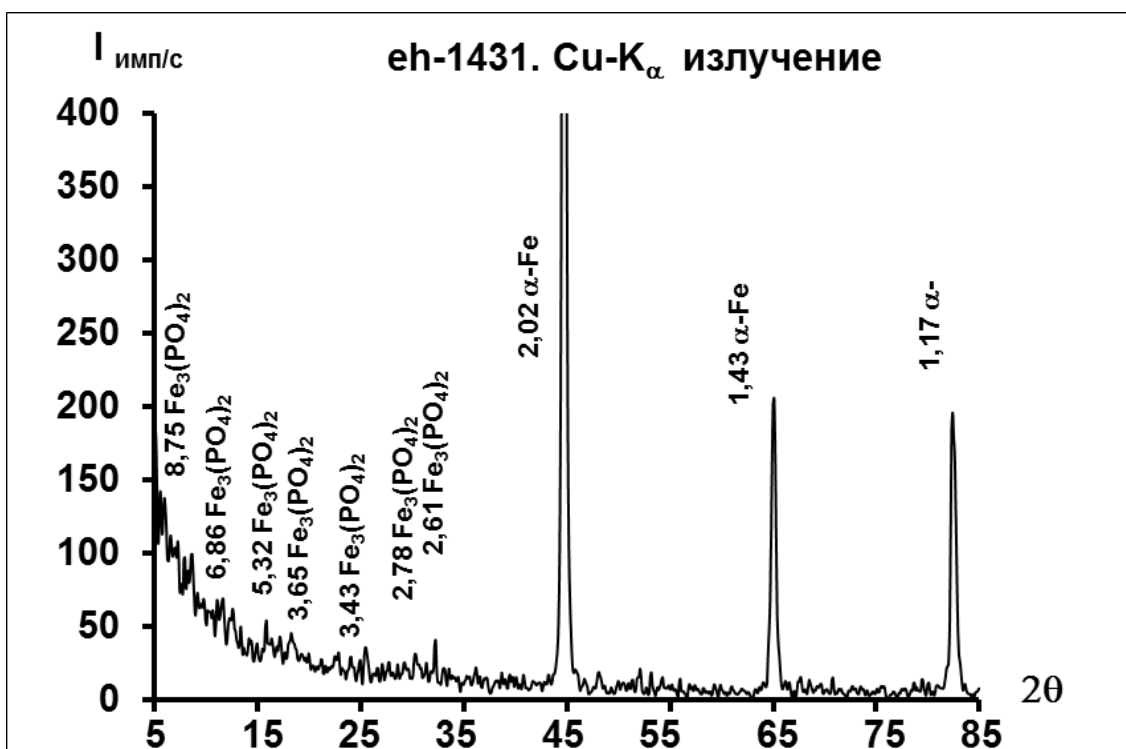


Рис. 5. Дифрактограмма триполифосфатного покрытия с добавкой соль Мора на стали ст05кп

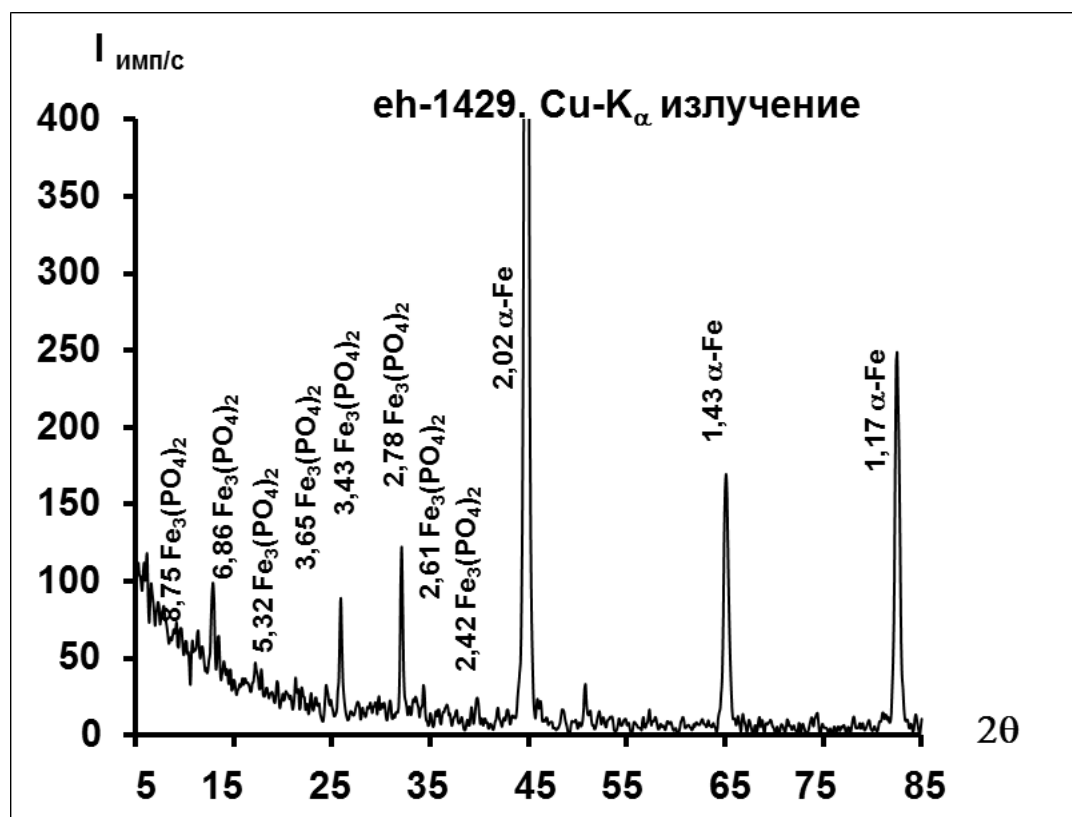


Рис. 6. Дифрактограмма триполифосфатного покрытия с добавкой этиленгликоля на стали ст05кп

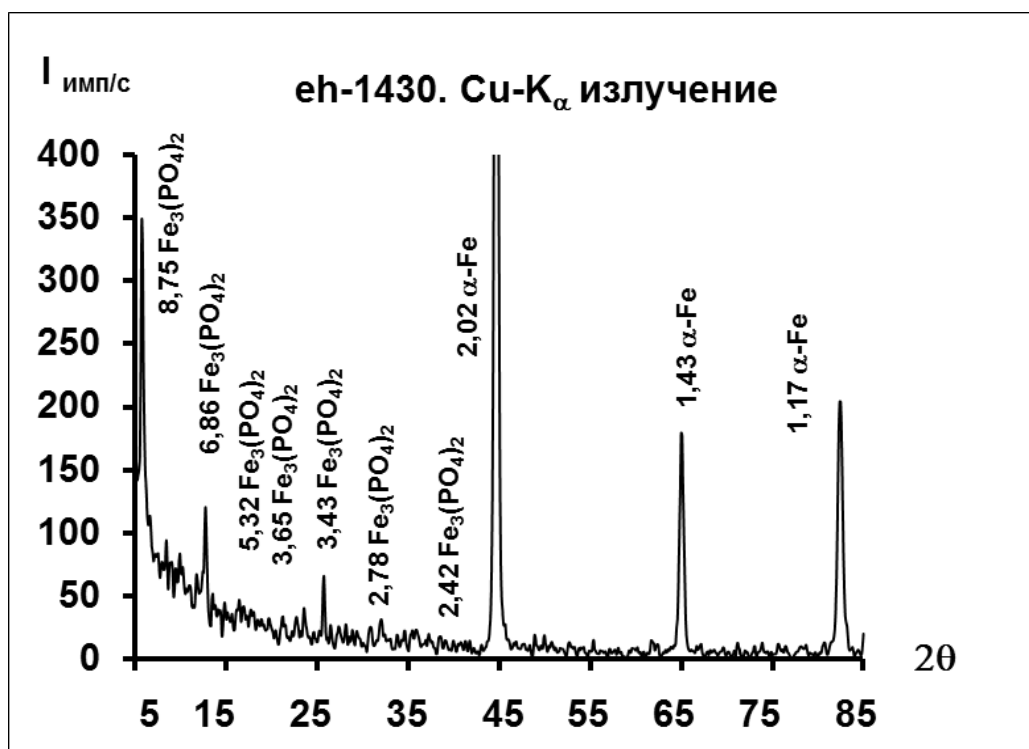


Рис. 7. Дифрактограмма триполифосфатного покрытия с добавкой натрия бензоата на стали ст05кп

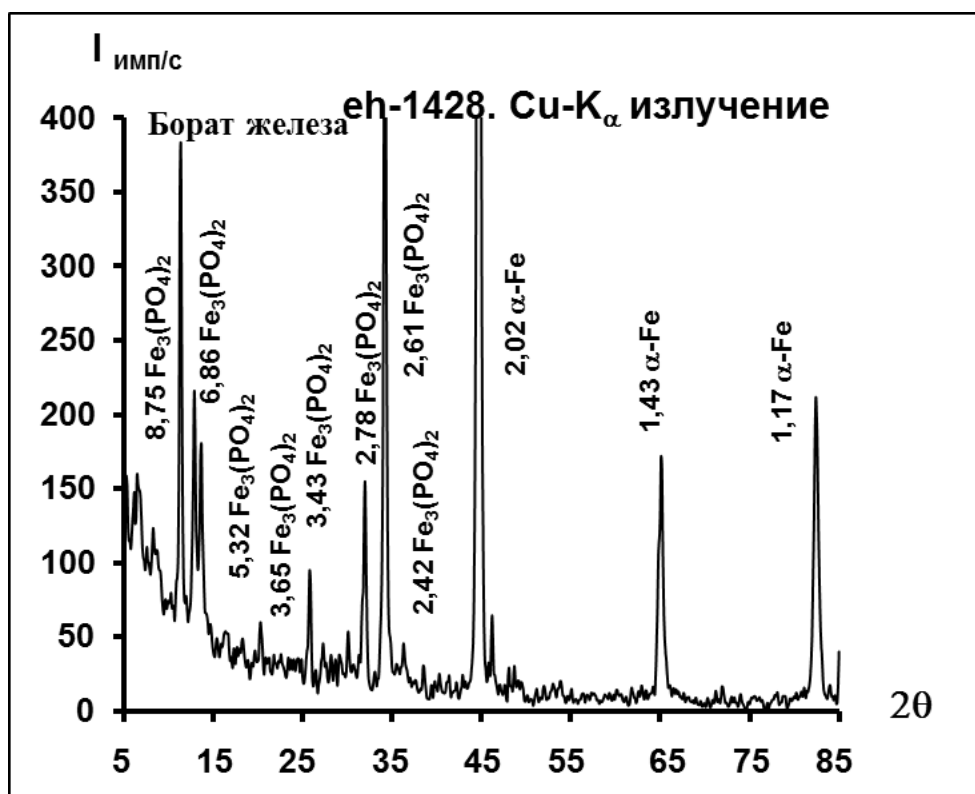


Рис. 8. Дифрактограмма триполифосфатного покрытия с добавкой бору на стали ст05кп

Выводы

1. Установлено, что введение добавок (тетраборат натрия – бура, соль Мора, гидроксид алюминия – $Al(OH)_3$, бензоат натрия, этиленгликоль) в 12% водный раствор ТПФ Na способствует формированию ТП покрытий с более высокими защитными свойствами.

2. Анализ рентгеновских дифрактограмм модифицированных покрытий показал, что введение добавки гидроксида алюминия и соли Мора сохраняет рентгеноаморфную (мелкокристаллическую) структуру ТП покрытия. Введение добавок этиленгликоля, бензоата натрия и буры создает условия для формирования покрытий с наличием фазы фосфатной природы с различной степенью кристалличности. Покрытие с наибольшей кристалличностью формируется с участием буры. Возможно, высокие защитные свойства покрытия ТПФNa с добавкой буры объясняются наличием в его составе смешанных фосфатоборатных фаз, обладающих определенной кристалличностью, которые способствуют упрочнению его матрицы.

Список литературы

1. Акользин А.П. Противокоррозионная защита стали пленкообразователями / А.П. Акользин. – М.: Металлургия, 1989. – 192 с.
2. Гомеля Н.Д. Исследование процессов коррозии стали в воде / Н.Д. Гомеля, В.М. Радовенчик, Г.Л. Шутько // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1996. – №1. – С. 36–40.
3. Продан Е.А. Триполифосфаты и их применение / Е.А. Продан, Л.И. Продан, Н.Ф. Ермоленко. – Минск: Наука и техника, 1969. – 533 с.
4. FANI MA I. Sodium tripolyphosphate (STPP) as a novel corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl / I. FANI MA, A. KHEIREDDINE A, S. BELAAOUA // J. of optoelectronics and advanced materials. – May – June 2013. – Vol. 15, No. 5 – 6. – p. 451 – 456.
5. Григорян Н.С. Фосфатирование: учебн. пособие. / Н.С. Григорян, Е.Ф. Акимова, Т.А. Ваграмян. – М.: Глобус, 2008. – 144 с.
6. Кузнецов Ю.И. Ингибиторы коррозии в конверсионных покрытиях / Ю.И. Кузнецов // Защита металлов от коррозии. – 2001. – Т. 37. – № 2. – С. 119 – 125.
7. Власова Е.В. Исследование покрытий, полученных из водных растворов фосфатов / Е.В. Власова, Т.Л. Карасик // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 5. – С. 89 – 91.
8. Вассерман И.М. Химическое осаждение из растворов / И.М. Вассерман. – Л.: Химия, 1980. – 208 с.
9. Кузнецов Ю.И. Органические ингибиторы коррозии металлов в нейтральных растворах / Ю.И. Кузнецов // Итоги науки и техн. Сер. Коррозия и защита от коррозии. – М: ВНИТИ. – 1978. – Т.7. – С. 159 – 204.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 21.10.2014*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СНОСА УГЛЯ ИЗ ПОЛУВАГОНОВ

В статье представлены результаты физического эксперимента по оценке интенсивности сноса угольной пыли из полувагонов. Эксперимент проведен на модели полувагона заполненного углем. При проведении эксперимента варьировалась величина скорости ветрового потока, обтекающего полувагона. Представлены данные относительно интенсивности уноса пыли.

У статті представлені результати фізичного експерименту з оцінки інтенсивності зносу вугільного пилу з піввагонів. Експеримент проведений на моделі піввагона заповненого вугіллям. При проведенні експерименту варіювалася величина швидкості вітрового потоку, оточуючого піввагона. Представлені дані щодо інтенсивності виносу пилу.

The article presents the results of a physical experiment on the wear rate of the coal dust from the gondola. The experiment was conducted on the model of an open wagon filled with coal. In the experiment, vary the speed of the wind flow around the gondola. The data relative to the intensity of ash dust.

Вступление. Транспортировка в промышленных объёмах угля осуществляется, как правило, железнодорожным транспортом, в полувагонах. При этом, начиная от погрузки угля в полувагоны и при его транспортировке с любой скоростью, происходит снос угольной пыли (рис. 1). Это приводит не только к потере груза, с точки зрения экономики, но и к значительному загрязнению окружающей среды. Данная проблема требует комплексного исследования и включает в себя несколько крупных задач: оценка интенсивности сноса угольной пыли при транспортировке, прогноз уровня загрязнения окружающей среды и разработка методов снижения угольной пыли [1, 2].



Рис. 1. Снос угольной пыли из полувагонов

Целью данной работы является экспериментальное определение интенсивности сноса угля из полувагона. Эксперимент проведен на модели полувагона в лаборатории кафедры гидравлики и водоснабжения Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Экспериментальное исследование проводилось в специальной лотке (рис. 2). На дне лотка размещалась модель полувагона, представляющая собой емкость определённого размера, заполненная углем (рис. 3).

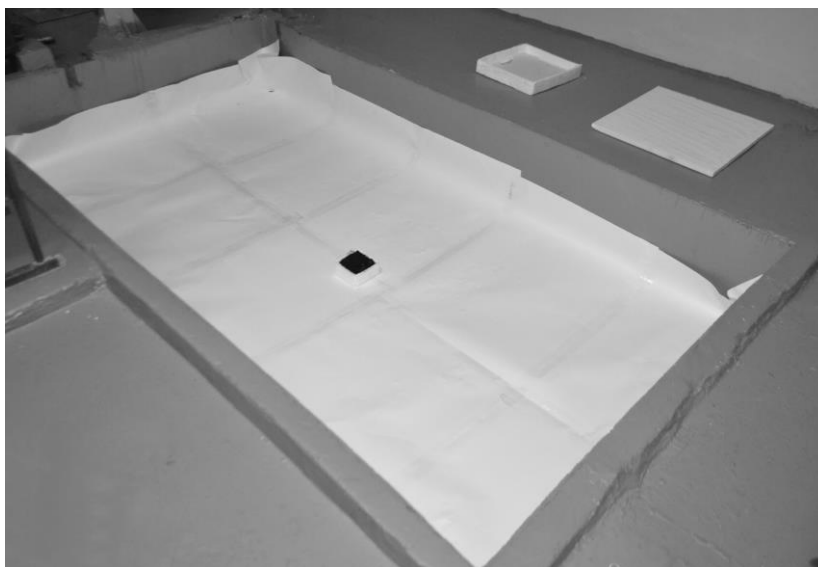


Рис. 2. Лоток с моделью полувагона

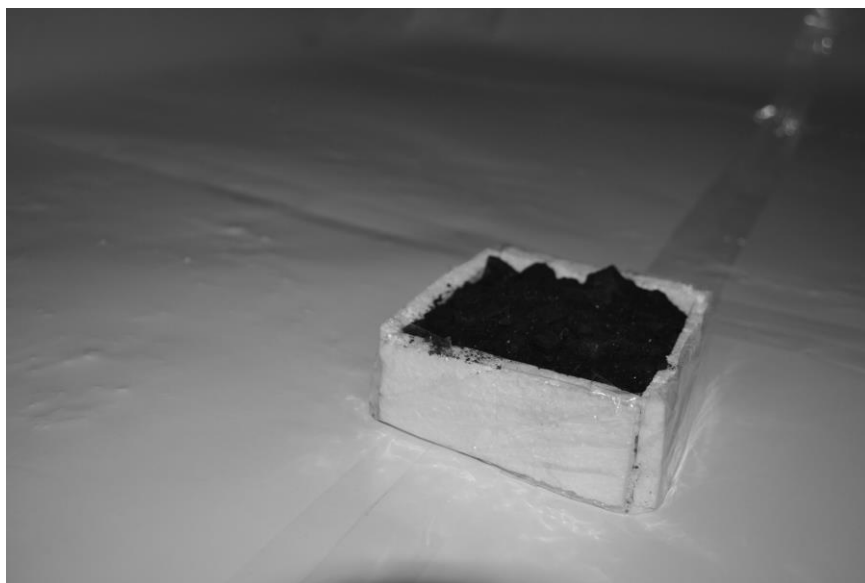


Рис. 3. Модель полувагона, заполненная углем

Для сноса пыли из модели полувагона использовалась воздуходувка. Перед каждой серией эксперимента проводилось взвешивание массы угля, который размещался в модели полувагона (рис. 4).



Рис. 4. Взвешивание массы угля

Воздушная струя создавалась воздуходувкой, которая размещалась на различном расстоянии от модели, позволяло варьировать различную скорость возле модели. Таким образом, моделировалось движение вагона, и снос угольной пыли при различной скорости движения поезда.

При проведении эксперимента производилась киносъемка, чтобы определить размер формирующейся зоны загрязнения за моделью полувагона.



Рис. 5. Зоны загрязнения, формирующиеся за полувагоном

Как видно из данного рисунка зона загрязнения за моделью может быть разбита на ряд подзон. Эти подзоны указаны цифрами на рис. 5. Непосредственно возле модели вагона формируется зона загрязнения из крупных фракций ($>5 - 3,15$), далее, происходит формирование значительно больших по размерам подзон, где осели средние фракции ($3,15 - 0,25$) и мелкие фракции ($0,25 - 0$). Масса каждой фракции определялась при проведении эксперимента. Измерялись также размеры подзон загрязнения для конкретных фракций и при конкретной скорости воздушного потока.

Далее производился сбор угольных концентратов, которые были снесены из модели полувагона. Эта угольная пыль взвешивалась, чтобы определить интенсивность сноса при различной скорости движения полувагона.

Результаты эксперимента. На основе проведенного эксперимента получены данные относительно средней массы сноса угольных фракций из модели полувагона.

Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные об интенсивности сноса угольной пыли при различной скорости воздушного потока

Скорость ветра	Масса снесенных угольных концентратов
2,2 м/с	1,57 г
6,1 м/с	2,74 г
10,8 м/с	4,47 г
12,5 м/с	3,80 г

Если учесть что масса угля находящаяся в модели перед началом каждого эксперимента составляла порядка 206 г то из табл. 1 видно, что происходит достаточно интенсивная потеря груза даже при небольшой скорости движения состава. Например, при скорости 10,8 м/с – потеря груза составит порядка 2,16%.

Учитывая, что в полувагоне находится порядка 60 т груза, становится очевидно, что при транспортировке имеет место значительный ущерб. Это ставит необходимость решения новой задачи – разработки эффективных и экономичных методов снижения сдува угольно пыли из полувагонов [3-5].

Выводы. Представлены результаты физического эксперимента по оценке интенсивности сноса угольной пыли из полувагонов. Полученные данные подтверждают то, что при транспортировке угля в полувагонах происходит значительная потеря груза. Это приводит как к загрязнению окружающей среды, так и к значительному экономическому ущербу. Дальнейшее развитие данного направления следует проводить в направлении разработки методов снижения интенсивности сноса угля из полувагонов.

Список литературы

1. Долина Л. Ф. Классификация низкомолекулярных поверхностно-активных веществ по смачиваемости углей и горных пород / Л.Ф. Долина // Уголь Украины. – Киев, 1980. – Вып. № 3. – С. 27–29.
2. Ищук И. Г. Охрана окружающей среды при перевозке угля железнодорожным транспортом [Электронный ресурс] / И. Г. Ищук, Е. А. Старокожева // Материалы симпозиума «Неделя горняка 2000» – Москва, МГУ, 2000. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/ohrana-okruzhayushey-sredy-pri-perevozke-uglya-zheleznodorozhnym-transportom>
3. Патент 109510 України, МПК E21F 5/06, C09K 3/22. Композиція для зниження пилоутворюючої спроможності поверхні штабелів вугілля / Давиденко В. А., Карпо А. О. (Україна); заявники на патентовласник Давиденко В. А., Карпо А. О. – № а 2014 08254; заяв. 21.04.2014; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16. – 4 с.
4. Патент 2061641 Россия, МПК 7 B65G6 9/18. Способ борьбы с пылью при складировании и переработке угольных штабелей в условиях отрицательных температур атмосферного воздуха / Быков Н. А., Быков А. Н. (Россия), заявители на патентообладание Институт горного дела Севера СО РАН. – № 93040115/11, заяв. 06.08.1993; публ. 10.06.1996.
5. Патент 2137923 Россия, МПК 6 E21F 5/06, C09K 3/22. Состав для закрепления пылящих поверхностей / Кичигин Е. В., Тикунова И. В., Дейнека Л. А (Россия); заявители на патентообладание Кичигин Е. В., Тикунова И. В., Дейнека Л. А. – № 98107795/03, заяв. 27.04.1998; публ. 20.09.1989.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 11.10.2014*

УДК 519.6: 697.953: 004.94

© Н.Н. Беляев, С.Г. Цыганкова

ЭКСПРЕСС РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ В ОФИСНОМ ПОМЕЩЕНИИ НА БАЗЕ БАЛАНСОВОЙ МОДЕЛИ

Представлена численная модель для экспресс прогноза концентрации аэроионов при искусственной ионизации воздуха.

Представлена чисельна модель для експрес прогнозу концентрації аероіонів при штучній іонізації повітря.

A numerical model for express prognosis of air ions concentration at the condition of artificial air ionization is represented.

Постановка проблемы. Для создания комфортных микроклиматических условий работы персонала, необходимо обеспечивать в них определенный аэроионный состав воздушной среды. Для создания и поддержания требуемого аэроионного режима часто используется искусственная ионизация воздуха в помещениях.

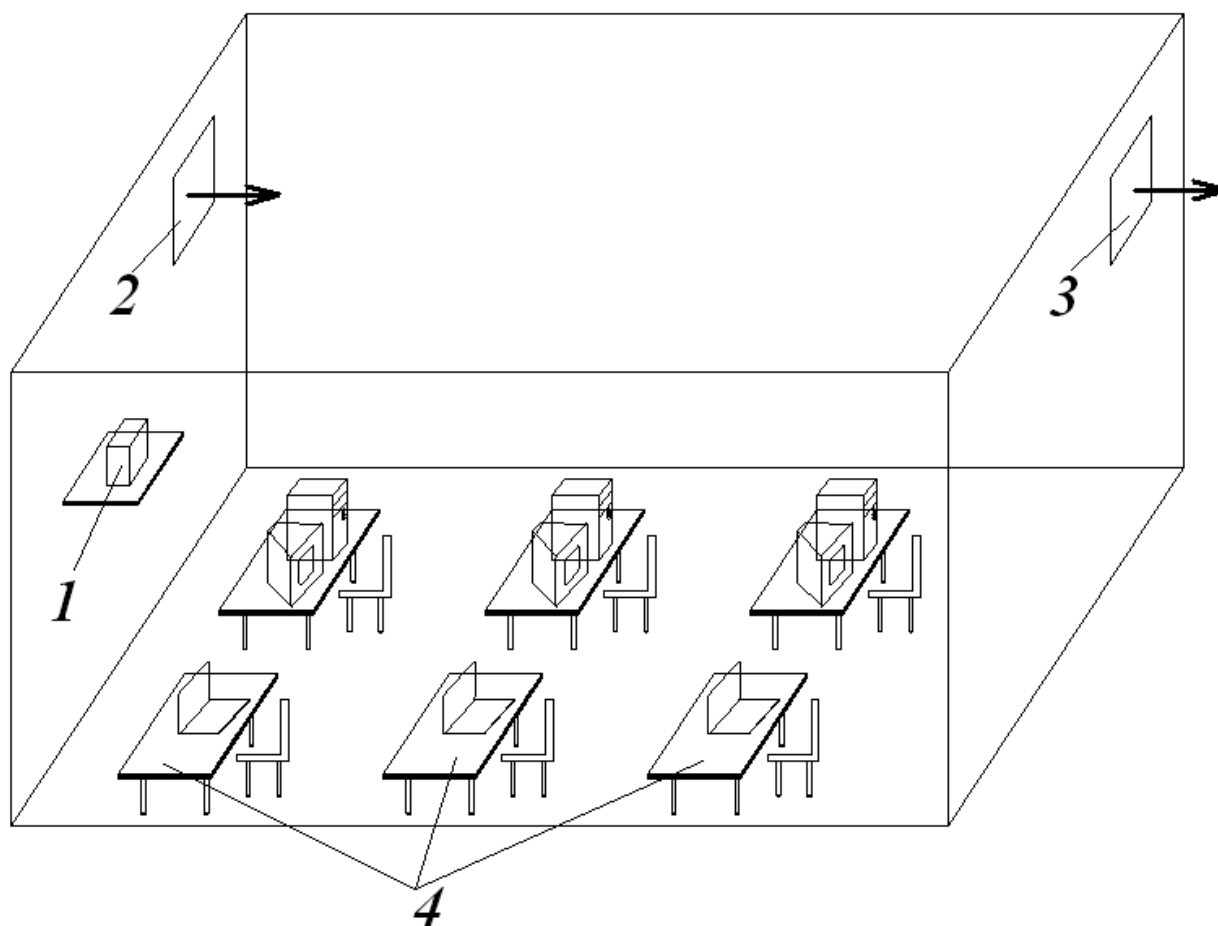


Рис. 1. Схема офисного помещения: 1 – ионизатор воздуха, 2, 3 – вентиляционные отверстия, 4 – рабочие места

В связи с этим, возникает необходимость в создании методов экспресс расчета концентрации аэроионов в помещении, который позволял бы быстрый перебор возможных вариантов, а также давал возможность «укрупненной» оценки концентрации аэроионов в помещении. Для достижения данной цели имеет смысл использовать балансовые модели для расчета концентрационных полей аэроионов [2].

Анализ публикаций. Расчет концентрации аэроионов в помещениях, в Украине проводится, как правило, на базе аналитических моделей [1]. Применение таких моделей дает возможность быстро рассчитать концентрацию аэроионов. В настоящее время получили распространение также CFD модели, учитывающие аэродинамику воздушных струй в помещении, наличие мебели, оборудования, различные физические факторы, определяющие формирование концентрационного поля аэроионов [3-5]. В некоторых случаях для расчета концентрации ионов применяются балансовые модели [2], поскольку позволяют быстро получить необходимую информацию.

Целью данной работы является создание эффективной балансовой модели для экспресс расчета концентрации аэроионов в помещениях при искусственной ионизации воздуха.

Моделирующие уравнения. Перенос аэроионов в помещении обусловлен воздействием многих факторов. Для построения экспресс метода расчета концентрации аэроионов в помещении будем использовать следующие уравнения:

$$\frac{dn}{dt} = q_n(t) - \alpha np - \beta nA + n_0(t) \frac{Q(t)}{V} - n \frac{Q(t)}{V} - \lambda_i n \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} = q_p(t) - \alpha np - \beta pA + p_0(t) \frac{Q(t)}{V} - p \frac{Q(t)}{V} - \lambda_i n \quad (2)$$

где q_n , q_p – скорость генерации соответственно отрицательных и положительных ионов в помещении; n_0 , p_0 – внешние по отношению к комнате концентрации отрицательных и положительных ионов; α – скорость рекомбинации ионов с ионами противоположной полярности; β – скорость комбинации ионов с частицами аэрозоля; A – концентрация частиц; V – объем; Q – скорость вентиляции; λ_i – электростатическое осаждение ионов. t – время, n , p , A – текущие концентрации отрицательных, положительных аэроионов и пыли соответственно.

Для описания массопереноса пыли используется уравнение вида [2]:

$$\frac{dA}{dt} = q_A(t) + A_0(t) \frac{Q(t)}{V} - A \frac{Q(t)}{V} - \lambda_p n \quad (3)$$

где q_A – скорость генерации частиц в пространстве; A_0 – внешняя концентрация частиц; λ_p – электростатическое осаждение частиц.

Здесь отметим, что в отличие от классической модели Мауа У. [2] в уравнениях (1) – (3) учитывается зависимость эмиссии отрицательных, положительных аэроионов и пыли в помещении от времени и зависимость от времени кратности воздухообмена. Система приведенных уравнений замыкается заданием начальных условий вида:

$$\begin{aligned} A(t=0) &= A_0, \\ n(t=0) &= n_0, \\ p(t=0) &= p_0. \end{aligned}$$

Данные условия определяют начальные значения величин концентрации пыли, отрицательных и положительных ионов соответственно перед началом ионизации воздуха в помещении. Следует отметить, что уравнения (1) – (3) определяют концентрацию отрицательных, положительных аэроионов и пыли не в самом помещении, а на выходе из него, что определено условием вывода этих балансовых соотношений. Но, данная модель будет иметь определенное соответствие действительности, если предположить, что внутри помещения происходит хорошее перемешивание воздушной среды («well mixed air»).

Приведем ряд формул, которые необходимы для расчета некоторых параметров модели. Например, параметр λ_i рассчитывается согласно зависимости [2]:

$$\lambda_i = \frac{b}{\varepsilon_0} (q_e + q_c eA) \quad (4)$$

где b – подвижность ионов; ε_0 – диэлектрическая проницаемость свободного пространства; q_e – плотность пространственного заряда, которая может быть выражена как

$$q_e = en - ep \quad (5)$$

где e – элементарный заряд.

Электростатическое осаждение частиц можно определить по формуле [2]

$$\lambda_p = \frac{D_p}{D_i} q_c \lambda_i \quad (6)$$

где D_p и D_i коэффициенты диффузии частиц и ионов соответственно; q_c – характеристическое число зарядов.

Характеристическое число зарядов определяется из выражения:

$$q_c = \frac{4\pi\varepsilon_0 d_p kT}{e^2} \left[\ln \left[1 + \frac{d_p c p e^2 t}{4\varepsilon_0 kT} \right] - \ln \left[1 + \frac{d_p c n e^2 t}{4\varepsilon_0 kT} \right] \right] \quad (7)$$

где k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; c – тепловая скорость ионов; d_p – диаметр частиц; t – время.

Однако, следуя работе [2], слагаемые λ_p , λ_i можно опустить.

Балансовые уравнения (1) – (3) численно решаются с помощью метода Эйлера.

Результаты. Для численного расчета уравнений (1) – (3) разработана программа BALANC-1, реализованная на языке FORTRAN. Для практического использования данной программы необходимо задать: объем помещения, вентиляционный расход, концентрацию отрицательных, положительных аэроионов и пыли, втекающих в помещение, интенсивность эмиссии отрицательных, положительных аэроионов и пыли в помещении.

Ниже представлены результаты расчета динамики концентрации отрицательных ионов в помещении на базе построенной численной модели при следующих исходных данных: объем помещения – 62м^3 ; концентрация отрицательных ионов, поступающих в помещение через систему вентиляции составляет 2000 частиц/ м^3 ; концентрация положительных ионов, поступающих в помещение через систему вентиляции – 10000 частиц/ м^3 ; концентрация пыли, поступающей в помещение также через вентиляционную систему, составляет 6000 частиц/ м^3 ; интенсивность эмиссии отрицательных, положительных и пыли $Q_C = 7 \cdot 10^7$ частиц/с, $Q_p = 60000$ частиц/с, $Q_A = 22 \cdot 10^3$ частиц/с соответственно. Следует подчеркнуть, что в данной задаче рассматривается периодическое действие ионизатора, то есть эмиссия отрицательных ионов осуществляется на временных промежутках (рис. 2) $[0 - t_1]$, $[t_2 - t_3]$, $[t_4 - t_5]$ и т.д. На временных интервалах $[t_1 - t_2]$ $[t_3 - t_4]$ ионизатор не осуществляет эмиссию. При расчетах принято, что выброс осуществляется в течение трех минут, далее на интервале 3 – 10 минут эмиссии отрицательных ионов нет, затем снова осуществляется выброс и т.д., то есть моделируется сложная реальная ситуация.

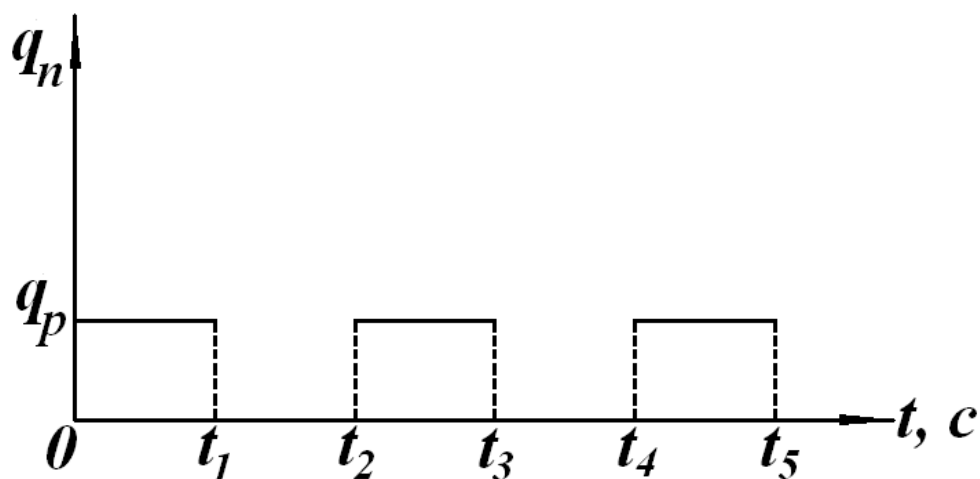


Рис. 2. Временные промежутки эмиссии отрицательных ионов

Результаты расчета динамики концентрации отрицательных аэроионов показаны в табл. 1.

Таблиця 1
Динамика концентрации отрицательных аэроионов в помещении

t , сек	30	60	180	480
c , частиц/м ³	$0,18 \cdot 10^{10}$	$0,39 \cdot 10^{10}$	$0,11 \cdot 10^{11}$	$0,99 \cdot 10^{10}$
t , сек	543	597	708	720
c , частиц/м ³	$0,95 \cdot 10^{10}$	$0,92 \cdot 10^{10}$	$0,15 \cdot 10^{11}$	$0,16 \cdot 10^{11}$

Если принять во внимание, что согласно имеющимся нормам, минимальное значение концентрации отрицательных аэроионов составляет 600 частиц/см³, а максимальное значение 50000 частиц/см³, то, как следует из анализа данных, представленных в табл. 1, в помещении обеспечиваются требуемые нормативы концентрации отрицательных аэроионов.

В заключение отметим, что для расчета задачи на базе разработанной численной модели оставляет порядка 0,5 секунды компьютерного времени.

Выводы. Рассмотрена новая численная модель, позволяющая оперативно рассчитывать концентрацию аэроионов в помещении при искусственной ионизации воздуха. Модель позволяет учесть импульсный режим работы ионизаторов. Дальнейшее развитие модели следует проводить в направлении создания пространственной численной модели прогноза аэроионного режима в помещениях.

Список литературы

1. Запорожец О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник НАУ. – 2011. – №2. – С.120–124.
2. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments. / Mayya Y. S, Sapra B. K., Khan A., Sunny F. Journal of Aerosol Science. Vol 35, 2004. – pp. 923-941
3. Air ion behavior in ventilated rooms. / Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleight P. A., Beggs C. B., Shepherd S.J. Indoor and Built Environment, 17 (2)., 2008. – pp. 173-182.
4. Noakes, C. J. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms [Электронный ресурс] / Noakes C. J, Sleight P. A, Beggs C. // Proceedings of the 10th International Conference on Air Distribution in Rooms. – Roomvent 2007, 13 -15 June 2007, Helsinki.
5. Беляев, Н. Н. Оценка аэроионного режима в рабочих зонах на базе CFD модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. - №46. – С. 168–173.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Е.
Надійшла до редакції 25.01.2015

УДК 504.3.054+504.064.2

© С.З. Полищук, В.Ю. Каспийцева

ПРОГНОЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ ОТ МОЩНЫХ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Приведена численно-аналитическая схема для расчета распространения вредных примесей, выбрасываемых в атмосферу совокупностью точечных источников заданной интенсивности. Проведена оценка достоверности полученных результатов исследований. Рассчитан показатель обеспечения надежности выполнения санитарно-гигиенических нормативов.

Приведена чисельно-аналітична схема для розрахунку розповсюдження шкідливих домішок, що викидаються в атмосферу сукупністю точкових джерел заданої інтенсивності. Проведена оцінка достовірності отриманих результатів досліджень. Розрахований показник забезпечення надійності виконання санітарно-гігієнічних нормативів.

A numeral-analytical chart is resulted for the calculation of distribution of harmful admixtures, thrown out in an atmosphere the aggregate of point sources of the set intensity. The estimation of authenticity of the got results of researches is conducted. The index of providing of reliability of implementation of sanitary-hygenic norms is expected.

Вступление. Решение задач прогноза антропогенного загрязнения атмосферного воздуха при планировании и застройке территорий в настоящее время базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях по аэродинамике атмосферы.

Одно из направлений исследований в этой области состоит в разработке теории атмосферной диффузии на основе математического описания распространения загрязнения (примесей в воздухе) с помощью решения уравнения турбулентной диффузии. Оно позволяет исследовать распространение примесей от источников различного типа при разных характеристиках среды и дает возможность использовать параметры турбулентного обмена, применяемого в метеорологических задачах о тепло- и влагообмене в атмосфере. Это обстоятельство весьма существенно для практического использования результатов теории к прогнозированию загрязнения воздуха с учетом ожидаемого изменения метеорологических условий [1-3].

Цель исследований. В общем случае решение этой задачи подразумевает расчет поля скоростей (уравнения Навье-Стокса) и расчет поля концентраций (уравнение диффузии) в нестационарной и трехмерной постановке [2]. Поэтому разработка эффективных численно-аналитических и аналитических методов решения этой задачи для практической реализации на ПЭВМ представляет значительный интерес. В данной статье рассмотрены методы конструирования вычислительных алгоритмов методом прямых. Поскольку поле концентраций накладывается на механическое течение среды и их можно рассматривать раздельно, то поле скоростей в последующем анализе предполагается заданным.

Изложение основного материала исследований. Для составления региональной математической модели рассмотрим общее уравнение турбулентной диффузии примесей в пространстве

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + u_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + u_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} - (u_r - u_g) \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + \sum_{k=1} q_k \delta(x - x_k) \delta(y - y_k) \delta(z - z_k), \quad (1)$$

где φ - концентрация примеси, мг/м³; u_x, u_y, u_z - составляющие вектора скорости \vec{u} , м/с; u_g - скорость гравитационного осаждения частиц примеси, м/с; σ - коэффициент самопроизвольного распада частиц примеси, 1/с; D_x, D_y, D_z - составляющие вектора коэффициента турбулентной диффузии \vec{D} , м²/с; q_i - интенсивность k-го точечного источника примеси, мг/с; $\delta(x-x_k), \delta(y-y_k), \delta(z-z_k)$ - дельта-функция Дирака.

Начальные и граничные условия для уравнения (1) запишем в следующем виде

$$\varphi|_{t=t_0} = \varphi_0(x, y, z), \quad (2)$$

$$D_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} = g_w(t, x, y), \quad \varphi|_{z \rightarrow +\infty} = 0, \quad (3)$$

$$\varphi = 0 \quad \text{при} \quad y \rightarrow \pm\infty, \quad (4)$$

$$\varphi = 0 \quad \text{при} \quad x \rightarrow \pm\infty. \quad (5)$$

Расчетную область, соответствующую атмосфере региона, представим в виде параллелепипеда. Начало декартовой системы координат совместим с левым задним ребром, заданным осью z . В качестве геометрических параметров расчетной области примем $x \in [0, x_L), y \in [0, y_L), z \in [0, z_L)$, где x_L, y_L, z_L - характерные линейные параметры, считающиеся заданными. Аппроксимации граничных условий (2)-(4) при $z \rightarrow +\infty, y \rightarrow \pm\infty, x \rightarrow \pm\infty$ отображаются на границы конечной расчетной области методом прямых [5], что обеспечивает их прозрачность. Объем параллелепипеда покрывается сеточной областью в виде прямоугольных ячеек, где каждой узловой точке (β, j, i) приписываются соответственно координаты z, y и x .

Итак, пусть расчетная ячейка построена и совокупность узлов шаблона некоторым образом упорядочена. Для такой ячейки нам предстоит написать расчетные формулы, аппроксимирующие уравнение (1) системой обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ), имеющих форму двухточечных краевых задач [3]. Задачу (1)-(4) при этом удобно привести к эквивалентной форме без δ -функции в правой части уравнения (1). В окрестности сеточного узла (β, j, i) , где размещен k-тый источник Q_k , по каждому координатному направлению, используя предположение об ограниченности решения во всей области определения, введем условия

$$\left. \begin{aligned} \varphi_+ = \varphi_-, \quad y = y_j, \quad x = x_i \\ D_z \frac{\partial \varphi_+}{\partial z} - D_z \frac{\partial \varphi_-}{\partial z} + Q_k = 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{при} \quad z = z_p, \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_+ = \varphi_-, \quad z = z_p, \quad x = x_i \\ D_y \frac{\partial \varphi_+}{\partial y} - D_z \frac{\partial \varphi_-}{\partial y} + Q_k = 0 \end{aligned} \right\} \text{при } y = y_j, \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_+ = \varphi_-, \quad z = z_p, \quad y = y_j \\ D_x \frac{\partial \varphi_+}{\partial x} - D_x \frac{\partial \varphi_-}{\partial x} + Q_k = 0 \end{aligned} \right\} \text{при } x = x_i, \quad (8)$$

Условия (6)-(8) справедливы и для любой расчетной области. В зависимости от ее характера они выражают либо непрерывность искомых функций по самим функциям и ее градиентам, либо непрерывность искомых функций и разрыв ее градиентов там, где расположен источник загрязнения.

Процесс переноса и диффузии субстанции φ в такой постановке рассмотрим для случая одномерной задачи и общего нестационарного случая.

Одномерный случай. Имеем уравнение

$$u \frac{d\varphi}{dx} + \sigma\varphi = D \frac{d^2\varphi}{dx^2} + Q\delta(x - x_0), \quad (9)$$

где скорость потока воздушных масс задана и $u > 0$ [2]. Кроме этого на прямой $-\infty < x < +\infty$ заданы условия

$$\left. \begin{aligned} \varphi|_{x \rightarrow +\infty} = 0 \\ \varphi|_{x \rightarrow -\infty} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

В [2] решение задачи (9), (10) разбивается на два решения φ_{\pm} для областей $-\infty < x < x_0$, $x_0 < x < +\infty$, связь которых осуществляется с помощью соотношения (8). Окончательно решение представляется в виде

$$\varphi(x) = \frac{Q}{\sqrt{4\sigma D_x + u^2}} \begin{cases} \exp\left(-\left(\sqrt{\frac{\sigma}{D_x} + \frac{u^2}{4D_x^2}} - \frac{u}{2D_x}\right)(x - x_0)\right), & x \geq x_0, \\ \exp\left(-\left(\sqrt{\frac{\sigma}{D_x} + \frac{u^2}{4D_x^2}} - \frac{u}{2D_x}\right)(x - x_0)\right), & x \leq x_0. \end{cases} \quad (11)$$

Из анализа результатов, которые сравниваются с точным решением (11), следует, что погрешность численно-аналитической аппроксимации методом прямых практически не зависит от шага дискретизации, а аппроксимация граничных условий при $x \rightarrow \pm\infty$ обеспечивает в граничных узлах расчетной области $x \in [a, b]$ их прозрачность. Это объясняется, по-видимому, тем, что передача информации между узлами сеточной области при таком подходе реализуется с порядком аппроксимации $\sim \infty$. Кроме этого, построенный на основе точного решения дискретный аналог уравнения (9) не имеет каких-либо дефектов и в трактовке конвекции по принципу транспортности.

Нестационарный случай. Для построения экономичных схем в случае трех измерений использовалась неявная продольно-поперечная схема расщепления, позволяющая многомерную задачу свести к цепочке одномерных [3]. Уравнению в частных производных (1) на отрезке $t_{n-1} \leq t \leq t_n$, ($n=1,2,\dots$) ставится в соответствие система обыкновенных дифференциальных уравнений (СДУ) в форме двухточечных краевых задач

$$Y''(\xi) - \frac{1}{2} A(\xi)Y'(\xi) - B(\xi)Y(\xi) = f(\xi), \quad (12)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \xi &= (z, y, x), \\ Y(\xi) &= \{\varphi(z, y_j, x_i), \varphi(z_p, y, x_i), \varphi(z_p, y_j, x)\} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

- обобщенные переменные.

Таким образом, если для аппроксимации уравнений (12), включающих неизвестные величины лишь в одном направлении - попеременно по z , y и x , воспользоваться методом прямых, то получим возможность построения экономичных разностных схем с хорошей адекватностью к непрерывным моделям и в этом случае. Характерной особенностью метода прямых в постановке (12) является неоднородность СДУ, что вызывает необходимость построения совокупности частных решений. В связи с этим отметим, что проще всего этот вопрос решается в классе полиномиальных функций, представляемых в виде Тейлоровских аппроксимаций различной размерности по пространственным координатам.

Рассмотренные примеры численно-аналитической дискретизации были использованы для создания комплексов программ, ориентированных на решение конкретных пространственных задач прогнозирования изменений в окружающей среде Приднепровского региона.

Оценка достоверности полученных результатов исследований была выполнена на основе модели визуализации и прогноза полей загрязнений атмосферного воздуха [4]. Данная модель обеспечивает возможность оперативного контроля спрогнозированного загрязнения и оценку состояния атмосферного воздуха по данным измерений при решении задач экологической безопасности (как по времени, так и по координатам места территории).

Контроль и координация за выполнением мероприятий “Программы улучшения экологического состояния Днепропетровской области за счет уменьшения загрязнения окружающей среды основными предприятиями-загрязнителями на 2008–2015 годы”, направленные на уменьшение негативного влияния выбросов в атмосферный воздух остаются одними из приоритетных направлений работы в области охраны окружающей среды. В Программу вошли 25 основных предприятий-загрязнителей Днепропетровской области, таким образом, Программа охватывает около 95 % техногенной нагрузки на всю территорию области.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух контролируются от 613 стационарных источников выбросов на 125 предприятиях области, в том числе на 16 экологически опасных объектах. Согласно данным статистики за последнее десятилетие валовые выбросы вредных веществ в атмосферу г. Днепропетровска менялись в диапазоне от 162 тыс. т/год до 187 тыс. т/год [5].

Анализ данных многолетних наблюдений городской санитарно-эпидемиологической службы и гидрометеоцентра на стационарных и маршрутных постах наблюдений свидетельствуют о достаточно установившемся характере значений приземных концентраций загрязняющих веществ и систематическом превышении установленных нормативов допустимых концентраций (ПДК) по 9 веществам: сернистый ангидрид, диоксид азота, оксид углерода, формальдегид, пыль, аммиак, фенол, сероводород, свинец.

Величины максимальных концентраций, полученные по данным измерений приведены в таблице 1. Обобщенные показатели экспериментальных данных по загрязнению атмосферного воздуха Днепропетровска представлены в таблице 2.

Таблица 1

Максимальные значения концентраций (доли ПДК) по данным измерений гидрометеоцентра на стационарных постах наблюдений г. Днепропетровска

Вещество	Месяц года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
пыль	1,0	2,0	3,0	2,2	3,0	4,0	1,6	2,2	1,8	1,4	1,8	1,0
СО	2,6	1,0	1,0	1,2	1,0	1,2	1,6	1,6	1,6	1,4	1,2	1,8
NO ₂	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,6	0,6	0,3
NO	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,8	0,5	0,3	0,2
фенол	0,9	1,3	1,2	1,8	1,1	1,9	2,4	1,5	1,7	1,7	1,2	1,0
аммиак	0,7	0,5	0,4	0,5	0,5	0,9	0,9	0,8	0,5	0,4	0,4	0,5
формальдегид	0,4	0,5	0,5	0,7	0,6	1,7	0,6	1,6	1,0	0,5	0,3	0,4
сероводород	2,4	3,1	4,4	1,6	1,4	1,9	4,9	4,6	2,5	1,9	2,1	0,9

Таблица 2

Показатели загрязнения атмосферного воздуха г. Днепропетровска

Показатели	Загрязняющие вещества						
	пыль	СО	NO _x	фенол	аммиак	формальдегид	сероводород
Максимальная концентрация, доли ПДК	4,0	2,6	0,8	2,4	0,9	1,7	4,9
Количество превышений ПДК, %	26,2	32,6	-	8,4	4,2	18,3	16,9

Как видно из приведенных данных, значения максимальных концентраций по 8 наиболее критичным загрязнителям изменяются в диапазоне от 0,8 ПДК до 4,9 ПДК, а количество превышений ПДК - до 32,6%. Таким образом, очевидно, что для оценки качества атмосферного воздуха по данным экспериментальных измерений следует учитывать не только качественные показатели (кратность превышения ПДК), но и количественные (число превышений ПДК).

Показатель обеспечения надежности выполнения санитарно-гигиенических нормативов *N* будет иметь следующую структуру:

$$H = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_{in}}{N_{iu}} \cdot \frac{C_{imax}}{\text{ПДК}_i} \right), \quad (14)$$

где N_{in} - число проб i -го вещества, для которых превысился норматив ПДК $_i$; N_{iu} - число отобранных проб по i -му веществу; C_{imax} - максимальное зафиксированное значение приземной концентрации i -го загрязнителя; n - количество загрязнителей, для которых наблюдается превышение ПДК.

Для условий г.Днепропетровска:

$$\begin{aligned} H &= 1 - \frac{1}{5} (4,0 \cdot 0,262 + 2,6 \cdot 0,326 + 2,4 \cdot 0,084 + 1,7 \cdot 0,183 + 4,9 \cdot 0,169) = \\ &= 1 - \frac{1}{5} (1,098 + 0,848 + 0,202 + 0,03 + 0,828) = 1 - 0,596 = 0,404 \end{aligned}$$

Соответственно, показатель риска от загрязнения атмосферного воздуха:

$$R = 1 - H = 0,596.$$

Если бы ни по одному из веществ, выбрасываемых в атмосферу, не было превышения норматива ПДК, то значение риска $R=0$, а значение показателя обеспечения надежности выполнения санитарно-гигиенических нормативов - $H = 1$.

Выводы. Таким образом, полученные значения показателя H свидетельствуют о низком качестве атмосферного воздуха, далеко от благополучного.

С данной экспериментальной оценкой хорошо согласуются и результаты оценки качества атмосферного воздуха г. Днепропетровска и области, по методике, изложенной в данной статье. Отличительной особенностью данной методики является возможность прогнозирования изменения качества атмосферного воздуха с помощью интегральных показателей при различных сценариях развития территории.

Список литературы

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии загрязнения атмосферы.-Л.: Гидрометеиздат, 1974.-448 с.
2. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды.-М.:Наука, 1982.- 320 с.
3. Самарский А.А. Теория разностных схем.-М.:Наука, 1982.- 459 с.
4. Каспийцева В.Ю. Методология прогноза и визуализации полей показателей загрязнения атмосферного воздуха по данным измерений / Азаров В.С., Долодаренко В.А., Чернобровкина Н.А., Щирский В.А. // Сб.науч.тр. "Опыт моделирования при решении задач природопользования и экологии". - Днепропетровск, 1998.- С.90-100.
5. Статистичний щорічник Дніпропетровської області за 2013 р. -Дніпропетровськ: Державна служба статистики, 2014.-447 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.
Надійшла до редакції 25.01.2015

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБТЕКАНИЯ ЗДАНИЙ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

Рассмотрена задача по исследованию закономерностей обтекания зданий воздушным потоком. Разработана математическая модель на базе методики нестационарного отрывного обтекания тел с изломами, которая основывается на методе дискретных вихрей. Проведены численные расчеты по структуре вихревого потока и форме линий тока при обтекании одного или нескольких зданий в зависимости от геометрических размеров и способа их расположения друг относительно друга. Представленные результаты подтверждаются исследованиями других авторов.

Розглянуто задачу про дослідження закономірностей обтікання будівель повітряним потоком. Розроблено математичну модель на основі методики нестационарного відривного обтікання тіл зі зломами, яка ґрунтується на методі дискретних вихорів. Проведено чисельні розрахунки по структурі вихревого потоку і формі ліній струму при обтіканні одного або декількох будівель в залежності від геометричних розмірів і способу їх розташування один щодо одного. Представлені результати підтверджуються дослідженнями інших авторів.

Considered the task of research the regularities air flow around buildings. A mathematical model based on the methodology unsteady separated flow around models with corners, which is based on the method of discrete vortices. Numerical calculations were performed for the structure of the vortex flow and the form of the flow lines for one or more buildings depending on the geometric dimensions and their location relative to one another.

Постановка проблемы и анализ публикаций. Как известно промышленная аэрогидродинамика занимается изучением структуры потока, которая формируется около плохообтекаемых тел [2–5]. Под действием воздуха и воды, включая порывы ветра, ураганы, обтекание таких тел сопровождается фиксированным отрывом потока на изломах, уступах, срезах, в угловых точках и изменяемым отрывом на гладкой поверхности. Наиболее типичные формы поперечных сечений: окружности – фабричные трубы, газопроводы, провода; многоугольники – здания, опоры. В связи с этим остается актуальной проблема рационального моделирования отрывных течений. При решении такого класса задач достаточно важным является получение аэродинамических данных: вихревых следов, линий тока и полей скоростей, которые лежат в основе решения других, более сложных задач аэродинамики. Исследование кинематики воздушного потока около одного, двух и целого комплекса сооружений необходимый и достаточно важный критерий исследования при строительстве и реконструкции.

Жилые здания линейного и башенного типа, промышленные с плоской кровлей и многие другие типы сооружений имеют форму параллелепипеда. Методы теории обтекания и результаты экспериментов с параллелепипедом, имеющим разные геометрические размеры, можно считать основой при рассмотрении обтекания тел более сложной формы.

Целью работы является разработка математической модели и численной методики нестационарного отрывного обтекания зданий для получения

структуры потока и формы линий тока при обтекании зданий в зависимости от геометрических размеров и способа их расположения друг относительно друга.

Математическая модель. Эффективным методом решения подобных задач является метод дискретных вихрей [1, 3, 4], согласно которому непрерывный процесс изменения граничных условий в пространстве и во времени заменяется дискретным. Решается задача об отрывном нестационарном обтекании двух зданий линейного типа рис. 1. Характерные размеры первого – l_1 , h_1 , второго – l_2 , h_2 , расстояние между ними – Δl в плоской системе координат Oxy .

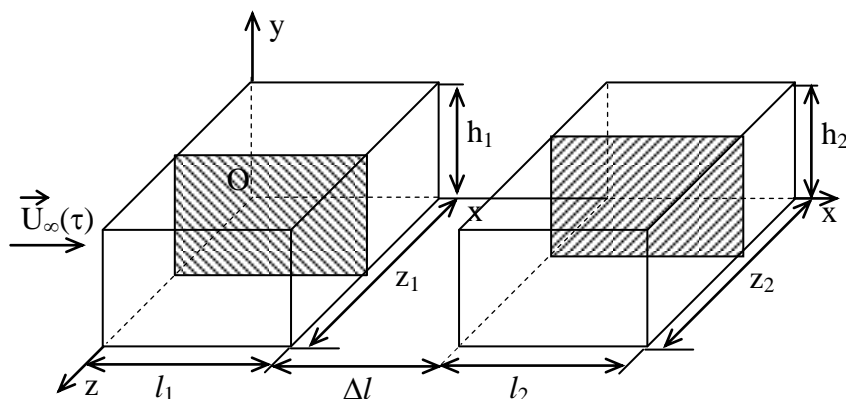


Рис.1. Взаимное расположение зданий

Поток движется с постоянной скоростью $\vec{U}_\infty(\tau)$ вдоль положительной оси Ox по закону (1). Параметры h_1 , h_2 , l_1 , l_2 , Δl могут варьироваться в зависимости от высоты и способа расположения зданий. Схема разбиения поверхности тел на дискретные вихри и контрольные точки, показана на рис. 2. За характерный линейный размер принята величина $l = h_1$, где h_1 – высота первого здания; за характерную скорость – скорость движения $\vec{U}_\infty(\tau)$.

$$U_\infty(\tau) = \begin{cases} 0, \tau < 0 \\ 1, \tau \geq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где τ – безразмерное время, которое в случае закона (1) определяется, как $\tau = U_\infty \cdot t / l$; $U_\infty(\tau)$ – безразмерная скорость набегающего потока; $\Delta\tau \approx 1/n$ – безразмерный шаг по времени; n – число присоединенных вихрей, которыми моделируется тело. Для моделирования отрывного обтекания зданий используется основная и зеркально отображенная вихревые системы [1]. Каждая из них состоит из присоединенных дискретных вихрей, циркуляции которых Γ_μ равны по величине и противоположны по знаку, и свободных δ_1^τ , δ_2^τ , δ_3^τ , δ_4^τ пелен, сходящих с изломов поверхностей в момент времени τ . Движение последних в обеих вихревых системах происходит симметрично. При таком разбиении на линии симметрии Ox автоматически в любой момент времени выполняется условие непротекания, что равносильно присутствию здесь поверхности земли.

Схема разбиения поверхностей включает: n контрольных точек, где выполняется граничное условие непротекания и n дискретных вихрей. Первые располагаются на линиях ν , а вторые – на линиях μ между контрольными точками рис. 2.

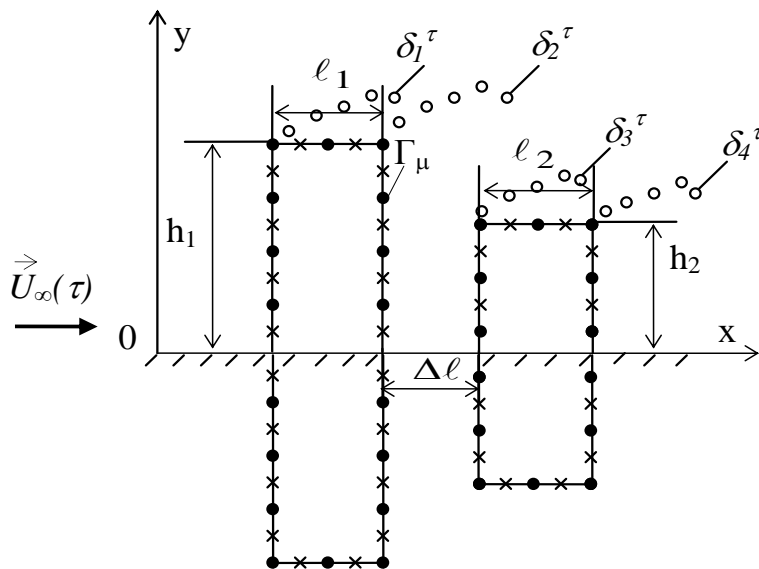


Рис. 2. Моделирование поверхности зданий системой дискретных вихрей (•) и контрольных точек (x)

Циркуляции присоединенных вихрей Γ_μ на k -ом шаге по времени определялись из решения системы линейных алгебраических уравнений (2), которая выражает собой условие непротекания поверхности и условие бесциркуляционного обтекания [1; 3].

$$\sum_{\nu=0}^n \left[\sum_{\mu=0}^n \Gamma_\mu (a_{\nu\mu} - a'_{\nu\mu}) = -\cos(\vec{U}_\infty, \vec{n})_\nu - \sum_{kk=1}^4 \sum_{i=1}^k \delta_{kk i} (a_{kk i} - a'_{kk i})_\nu \right], \quad (2)$$

где Γ_μ – циркуляция μ -ого присоединенного вихря; $a_{\nu\mu}$, $a'_{\nu\mu}$ – нормальные составляющие скорости в ν -ой контрольной точке от μ -ого присоединенного вихря основной и зеркально отображенной вихревых систем; $(a_{kk i})_\nu$, $(a'_{kk i})_\nu$ – нормальные составляющие скорости в ν -ой контрольной точке от i -ого свободного вихря основной и зеркально отображенной вихревых систем; kk – порядковый номер вихревой пелены; k – количество свободных вихрей в потоке в момент времени τ в соответствующей вихревой пелене kk ; $\cos(\vec{U}_\infty, \vec{n})_\nu$ – косинус угла между вектором скорости потока $\vec{U}_\infty(\tau)$ и нормалью \vec{n} к поверхности тела в каждой контрольной точке. Для первого тела характерна схема разбиения, которая предполагает расположение у поверхности земли контрольных точек, а для второго тела – вихрей, чтобы система алгебраических уравнений (2) была замкнутой.

Известные значения циркуляций присоединенных дискретных вихрей Γ_μ в местах излома поверхности зданий определяют циркуляции свободных вихрей $\delta_1^\tau, \delta_2^\tau, \delta_3^\tau, \delta_4^\tau$, сходящих с поверхности тел в расчетный момент времени τ .

Новое положение свободных вихрей определяется по методу Эйлера, соотношениями:

$$\begin{cases} x_{kk\ i}^{\tau+1} = x_{kk\ i}^\tau + \left[\sum_{\mu=0}^n (V_x - V'_x)_{i\ \mu} + \sum_{j=0}^k (V_x - V'_x)_{i\ j} + U(\tau) \right] \cdot \Delta t, \\ y_{kk\ i}^{\tau+1} = y_{kk\ i}^\tau + \left[\sum_{\mu=0}^n (V_y - V'_y)_{i\ \mu} + \sum_{j=0}^k (V_y - V'_y)_{i\ j} \right] \cdot \Delta t; \quad i=1, \dots, k; \quad kk=1, \dots, 4; \end{cases} \quad (3)$$

где $(V_x)_{i\ \mu}, (V'_x)_{i\ \mu}, (V_x)_{i\ j}, (V'_x)_{i\ j}, (V_y)_{i\ \mu}, (V'_y)_{i\ \mu}, (V_y)_{i\ j}, (V'_y)_{i\ j}$ – компоненты скорости, которые можно найти из соотношений (6).

Получив развитый вихревой поток при $\tau > 100 \cdot \Delta t$, можно построить линии тока [3] около рассматриваемых зданий (4).

$$\frac{dx}{V_x} = \frac{dy}{V_y}, \quad (4)$$

где V_x, V_y – компоненты скорости в рассматриваемой точке плоскости i от всей вихревой системы: присоединенных вихрей основной и зеркально отображенной системы первого и второго тела μ_1, μ_2 ; свободных вихрей, сходящих с острых кромок, обоих зданий $\delta_1, \delta'_1, \delta_2, \delta'_2, \delta_3, \delta'_3, \delta_4, \delta'_4$.

$$\begin{cases} (V_x)_i = (V_{x\mu_1})_i + (V_{x\mu_2})_i + (V_{x\delta_1} + V_{x\delta'_1})_i + (V_{x\delta_2} + V_{x\delta'_2})_i + \\ \quad (V_{x\delta_3} + V_{x\delta'_3})_i + (V_{x\delta_4} + V_{x\delta'_4})_i; \\ (V_y)_i = (V_{y\mu_1})_i + (V_{y\mu_2})_i + (V_{y\delta_1} + V_{y\delta'_1})_i + (V_{y\delta_2} + V_{y\delta'_2})_i + \\ \quad (V_{y\delta_3} + V_{y\delta'_3})_i + (V_{y\delta_4} + V_{y\delta'_4})_i. \end{cases} \quad (5)$$

Компоненты скорости из формулы (5) вычисляются по формулам Био-Савара [1],

$$\begin{cases} V_{xik} = -\frac{1}{2\pi} \frac{y_k - y_i}{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}; \\ V_{yik} = \frac{1}{2\pi} \frac{y_k - y_i}{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}. \end{cases} \quad (6)$$

Полученные результаты. На рис. 3 представлена структура вихревого потока и картина линий тока, полученная в результате численных расчетов на основе разработанной математической модели на базе метода дискретных вихрей при отрывном обтекании двух зданий, одинаковой высоты $h_1 = h_2 = 1$ и ширины $\ell_1 = \ell_2 = 1$, расположенные непосредственно друг за другом для развитого вихревого потока $\tau = 100 \Delta t$.

Систематические испытания для определения зоны аэродинамического следа провел Эванс при вариации высоты, ширины и длины зданий [2], результаты этих испытаний для данного расположения зданий приведены на рис. 4. К сожалению, в этой работе не даются функциональные зависимости, связывающие протяженность заветренной области с геометрическими параметрами обтекаемого здания. Однако, путем обработки результатов испытаний, автору удалось получить приближенную формулу для расчета относительной протяженности заветренной области, которая может быть использована только при направлении ветра под прямым углом к продольной стенке [2].

$$x_{зав} / H \cong 2,4\sqrt{L/B} \quad (7)$$

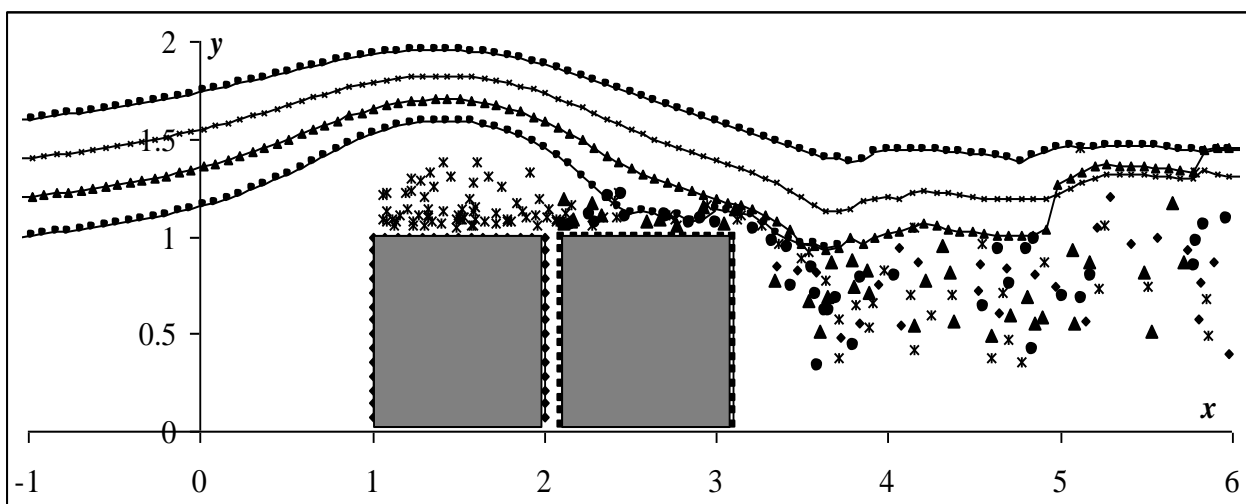


Рис. 3. Обтекание зданий одинаковой высоты и ширины $h_1=h_2=1$, $l_1=l_2=1$ (численный расчет)

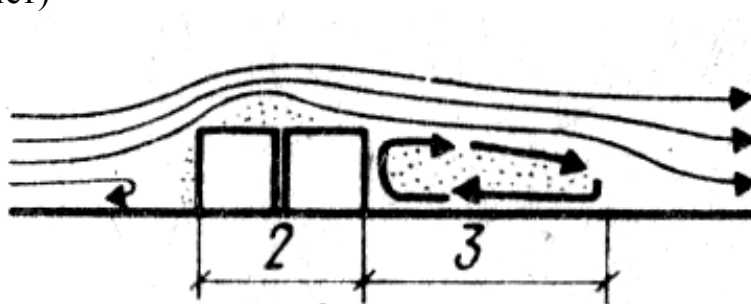


Рис. 4. Обтекание зданий одинаковой высоты и ширины $h_1=h_2=1$, $l_1=l_2=1$ (по Эвансу)

На рис. 5 представлена структура вихревого потока и картина линий тока, полученная в результате численных расчетов при отрывном обтекании одного здания высоты $h_1 = 1$ и ширины $l_1 = 1$ для развитого вихревого потока $\tau=100\Delta t$. Для сравнения на рис. 6 приведены результаты испытаний для одного здания единичных размеров по Эвансу.

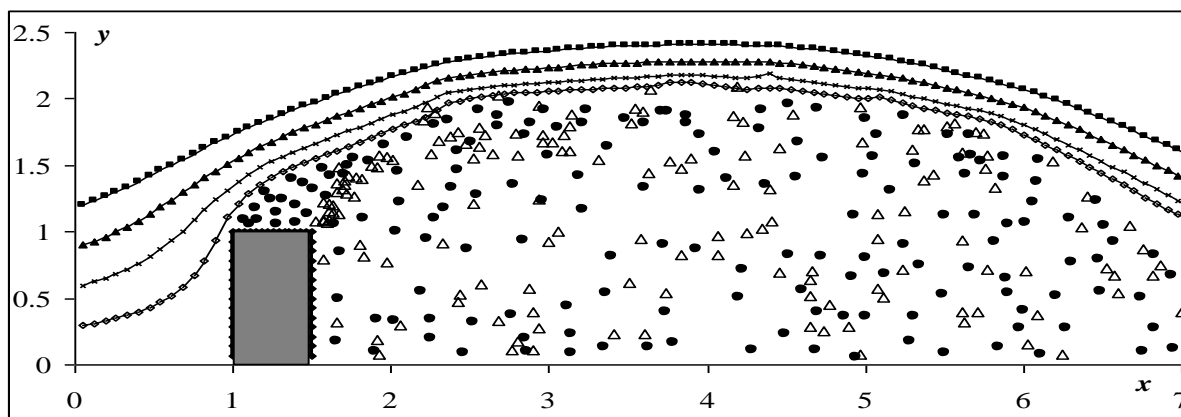


Рис. 5. Обтекание одного здания $h_1=1, l_1=1$, численный расчет

На рис. 7 представлена структура вихревого потока и картина линий тока, полученная в результате численных расчетов при отрывном обтекании одного здания высоты $h_1 = 2$ и ширины $l_1 = 1$ для развитого вихревого потока $\tau=100\Delta t$. Для сравнения на рис. 8 приведены результаты испытаний для одного здания соответствующих размеров по Эвансу.

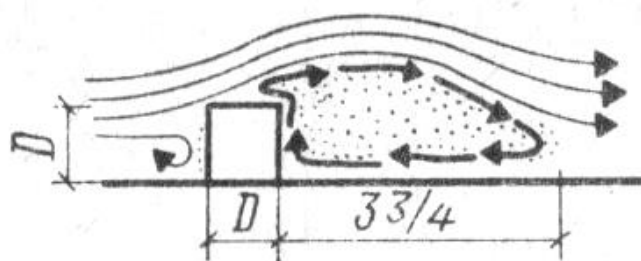


Рис. 6. Обтекание одного здания $h_1=1, l_1=1$, по Эвансу

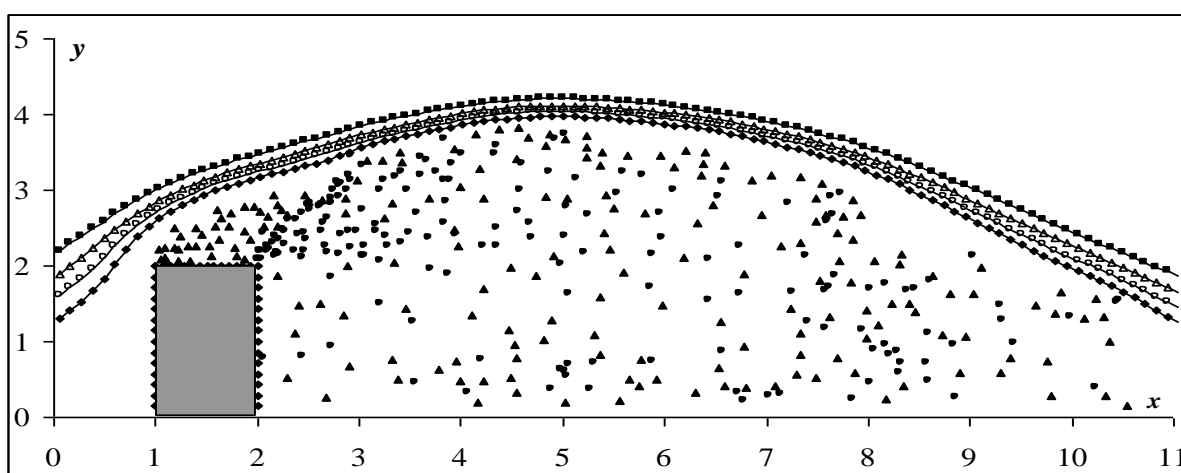


Рис. 7. Обтекание одного здания $h_1=2, l_1=1$, численный расчет

Сравнение численных расчетов с результатами испытаний по Эвансу (рис. 3–8) показывает их удовлетворительное согласование уже для развитого вихре-

вого потока порядка $\tau=100\Delta t$. Некоторое расхождение наблюдается во второй половине заветренной области, так как потенциальный поток не может описывать турбулизацию в областях, где возникают течения, направленные против основного потока.

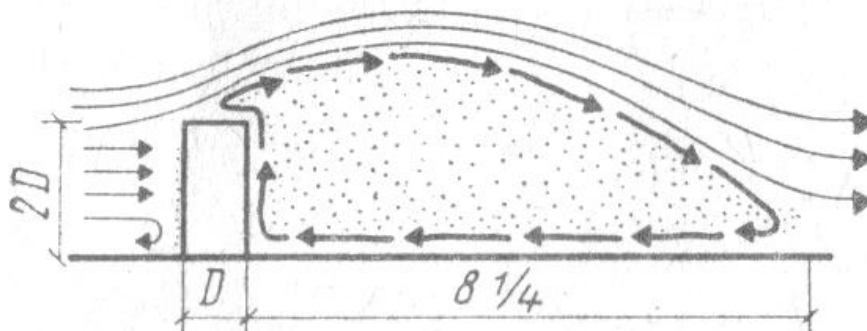


Рис. 8. Обтекание одного здания $h_l=2$, $l_l=1$, по Эвансу

Выводы. Разработанная методика численного расчета нестационарного отрывного обтекания зданий, в основе которой лежит метод дискретных вихрей, позволяет исследовать характер течения как возле одного отдельно расположенного здания, так и около совокупности зданий линейного типа. Программа численного расчета позволяет: получить развитую вихревую структуру потока, построить картину линий тока, проанализировать поле течения вокруг рассматриваемых тел, что является крайне важным при решении вопроса о расположении жилых и промышленных зданий.

Список литературы

1. Белоцерковский С. М. Математическое моделирование плоскопараллельного отрывного обтекания тел / С. М. Белоцерковский, В. Н. Котовский, М. И. Ништ. – М. : Наука, 1988. – 232 с.
2. Реттер Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э. И. Реттер. – М.: Стройиздат, 1984.– 294 с.
3. Русакова Т. И. Исследование структуры ветрового потока на улицах города / Т. И. Русакова // Сборник научных трудов НГУ. – 2014. – Вип. 44. – С. 67–72.
4. Численное моделирование осесимметричных отрывных течений несжимаемой жидкости / О. Г. Гоман, В. И. Карплюк, М. И. Ништ, А. Г. Судаков. – М. : Машиностроение, 1993. – 287 с.
5. Bourabaa N. Wind potential evaluation around isolated pitched roof buildings / N. Bourabaa, E. Delacourt, J-L. Menet // Journal of Renewable and Sustainable Energy. – 2015. – Vol 2, № 1. – P. 137–143.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 25.04.2015*

УДК 622.807: 622.504

© В.Ю. Тищук, О.В. Плотников

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ПИЛОУТВОРЕННЯ І ПИЛОПОДАВЛЕННЯ НА ШЛАКОВИХ ВІДВАЛАХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Шлакові відвали є джерелом шкідливого впливу на повітря робочих зон, атмосферу і навколишнє середовище. Встановлено геологічні фактори ерозії поверхні шлакових відвалів. Генез пилу на шлакових відвалах відбувається під впливом атмосферної вологи, кисню, вуглекислоти, перепаду температур на поверхні відвалів. Розроблено засоби закріплення пилу на поверхні відвалів.

Шлакових отвалов являются источником вредного воздействия на воздух рабочих зон и окружающую среду. Установлены геологические факторы эрозии поверхности шлаковых отвалов. Генезис пыли на шлаковых породах происходит под воздействием атмосферной влаги, кислорода, углекислоты, перепада температуры на поверхности отвалов. Разработаны средства закрепления поверхностей отвалов.

Slag dumps are a source of harmful effects on the environment. Installed geological factors erosion surface slag dumps. Genesis of dust from the slag takes place under the influence of atmospheric moisture, oxygen, carbon dioxide, temperature difference on the surface dumps. Develop tools fixing surfaces dumps.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.

Одними із основних видів відходів на металургійних підприємствах при виробництві чавуну та сталі є шлаки, які в подальшому складаються у відвали, що займають сотні гектар родючої землі. Поверхні шлакових відвалів, складені твердими фракціями з розмірами, в середньому, 5-20 мм і більше. Через певний час вони руйнуються і стають інтенсивним джерелом пиловиділення, що призводить до забруднення повітря робочих зон підприємств, а також атмосферного повітря, водяного середовища та ґрунту [1;2;3]. Попередити пиловиділення з відвалів можна шляхом закріплення їх поверхонь пилозв'язуючими розчинами. [4;5;6].

Проте, існуючі технології закріплення пильних поверхонь не можуть на тривалий термін забезпечити ефективне попередження пиловиділення з відвалів особливо після інтенсивних опадів у вигляді дощу, що приводить до руйнування захисного екрану на поверхнях. Тому підвищення ефективності захисту повітря робочих зон та навколишнього середовища від пилу з відвалів на основі розробки науково обґрунтованих ефективних засобів пилозв'язування є важливою і актуальною науковою проблемою. Розв'язання цієї проблеми дозволить захистити повітря робочих зон підприємств від забруднення шкідливими викидами, знизити ризик професійних захворювань органів дихання у працівників, запобігти виникненню аварійних ситуацій унаслідок погіршення видимості на відвалах, а також захистити навколишнє середовище від забруднення пилом.

Вирішення цієї проблеми пов'язано з виконанням державних і галузевих науково-технічних програм з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки в частині покращення умов праці і виробничого середовища та збереження навколишнього природного середовища.

Постановка завдання.

В зв'язку з викладеним метою роботи є визначення основних факторів руйнування крупних часток шлаку і перехід їх у пиловидний стан, а також розробка засобів попередження здійснення їх в атмосферу.

У відповідності з метою в роботі вирішувалися наступні завдання.

1. Визначити фактори генезу, які призводять до руйнування крупних фракцій шлаків.

2. Встановити вплив шлакових відвалів на повітря робочих зон та атмосферне повітря.

3. Розробити засоби попередження пиловиділення з поверхонь шлакових відвалів.

Викладення матеріалу та результати.

Встановимо механізм генезу утворення пиловидних фракцій з крупних фракцій шлаку. Основними факторами генезу утворення пилу, є вивітрювання порід. Вивітрювання гірських порід це процеси фізичного руйнування і хімічного розкладання гірських порід та мінералів, що викликаються дією на них сонячного тепла, атмосферних опадів, повітря та живих організмів. В залежності від факторів дії на породу розрізняють три види вивітрювання: фізичне, хімічне та біологічне. Всі вони взаємопов'язані між собою і протікають одночасно.

Фізичне вивітрювання - це процес механічного руйнування гірських порід без зміни хімічного складу. Цей процес протікає під впливом багатьох факторів, найважливішими з яких є такі: різке коливання температури - термічне вивітрювання; дія замерзлої води - морозне вивітрювання; зволоження порід дощовими водами; дія фізичних електричних розрядів. Різкі коливальні дії температури (добові та сезонні) призводять до утворення дрібних тріщин в породі і до розтріскування їх. Нерівномірне надходження тепла в різний час доби і року сприяє неоднакового нагрівання і охолодження. Це залежить від коефіцієнта об'ємного розширення мінералів. Верхні шари у порід нагріваються швидше і породи розширюються. Внутрішні нагріваються повільніше і остигають теж повільніше. Однією з причин утворення тріщин у породі є періодичне зволоження дощами. При неодноразовому змочуванні і висиханні порід сили зчеплення частинок зменшуються і порода розтріскується. Швидше розтріскуються і розпадаються грубозернисті породи і повільніше – дрібнозернисті. Фізичне вивітрювання прискорюється при наявності води в тріщинах порід. При замерзанні вода збільшується в об'ємі і тисне з силою 890 кг на см^2 (89 МПа). У фізичному вивітрюванні беруть участь коріння рослин, які проникають в тріщини, розширюють їх і руйнують.

Осадкові породи руйнуються з більшою швидкістю, ніж магматичні і метаморфічні. При цьому слід відмітити, що шлаки в великій мірі відносяться до осадкових порід.

При фізичному вивітрюванні не змінюється хімічний склад, а змінюється його фізичний стан. Фізичне вивітрювання готує умови для хімічного вивітрювання.

Хімічне вивітрювання відбувається одночасно з іншими видами, викликає суттєві зміни мінералогічного і хімічного складів. Головними факторами (агентами) є вода, вільний кисень, вуглекислий газ і органічні кислоти. Вода,

будучи хімічним діячем дисоціює на H^+ і OH^- . Ця дисоціація викликає активність води і руйнування гірської породи. Якщо у водному розчині перебувають вуглекислий газ і органічні кислоти, то хімічне вивітрювання посилюється. Процеси хімічного вивітрювання зводяться до основних хімічних реакцій: окиснення, гідратація, розчинення, гідроліз. При окисненні і гідратації відбувається руйнування і перебудова кристалічної решітки, утворюється нова, відмінна від початкової.

Розчинення відбувається під впливом води в шлаках. Гідроліз - заміщення катіонів у кристалічній решітці іонами водню диссоційованої води і вносять ці катіони. Гідролізу схильні силікати і алюмосилікати. Гідроліз призводить до руйнування кристалічної решітки і заміні її абсолютно новою. Гідроліз у присутності води і вуглекислого газу викликає в породі і мінералах розпадання на складові частини, в процесі чого утворюються нові сполуки:

При біологічному вивітрюванні порода починає руйнуватися з перших поселенців – це бактерії, мікроводорості, мохи, та ін. Їх виділення руйнують породу і збагачують її органічними кислотами і залишками органічної речовини. В результаті розкладання залишків і органічних кислот посилюється хімічне вивітрювання. Після біологічного вивітрювання можуть поселятися вищі рослини, які проникаючи кореневою системою в тріщини породи захоплюють з них елементи живлення. З іншого боку, вищі рослини виділяючи кисень і вуглекислий газ більш діяльно руйнують гірську породу. Вищим рослинам належить важлива роль у біологічному круговороті речовин. Сутність цього кругообігу полягає в тому, що вищі рослини, витягуючи хімічні елементи у вигляді харчування концентрують їх у своєму тілі, оберігаючи їх тим самим від вимивання, а відмираючи вищі рослини, збагачують поверхневий шар землі рослинними залишками, які розкладаючись вивільняють елементи живлення для інших поколінь.

Біологічне вивітрювання є провідним фактором у перетворенні гірської породи в ґрунт. Тому вивітрювання вважається першим етапом ґрунтоутворення.

Розглянемо фактори генезу утворення пилу зі шлаків, що відбувається в результаті руйнування крупних фракцій шлаків. Результати досліджень показали, що більшість мінералів, утворених в результаті охолодження і кристалізації рідкого конвертерного шлаку в гіпергенних умовах відвалу є нестійкими сполуками. Під впливом атмосферної вологи, кисню і вуглекислоти первинні високотемпературні мінерали і металургійне скло перетворюються в оксиди і гідроксиди заліза, карбонати, гідрокарбонати, глинисті мінерали, опал і халцедон. Новоутворені мінерали несуть ознаки кристалізації в умовах, аналогічних умовам природної кори вивітрювання.

Корольки металу, вюстит, магнетит і гематит внаслідок дії атмосферних агентів поступово перетворюються у пухкі землясті агрегати гідрогематиту, лепідокрокіту, гетиту (рис. 1).

Гетит і лепідокрокіт спочатку з'являються на поверхні корольків, а потім повністю заміщують металеве залізо. Натічні агрегати гіпергенних мінералів мають зональну будову. Псевдоморфози по кулястим виділенням металевого заліза складені однорідною дрібнозернистою масою гетиту. В них деякий час

зберігаються голки когеніту, більш стійкого до дії гіпергенних агентів, ніж металеве залізо, з яким він утворює високотемпературний парагенезис. Гіпергенний гематит утворюється за рахунок окислення магнетиту і феритів кальцію. Він формує поверхневі кірки, заміщує магнетит по тріщинкам окремоті. Значна частина магнетиту у складі шлаку повністю мартитизована. У скупченнях видовжених кристалів фериту кальцію виявлені мікроскопічні агрегати лускуватих виділень вторинного гематиту. Гіпергенне заміщення фериту кальцію гематитом супроводжується вивільненням кальцію і утворенням гідратованого вапна (портландиту), взаємодія якого з вуглекислим газом приводить до кристалізації кальциту за реакцією (1):

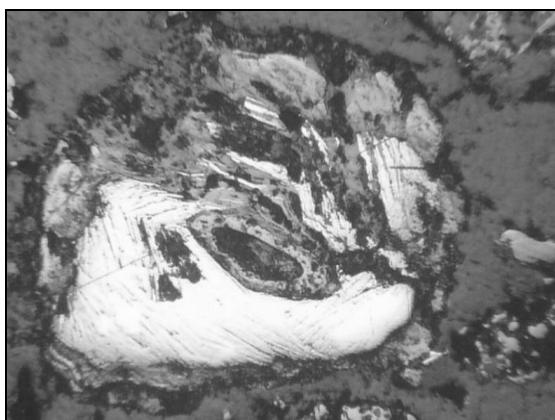
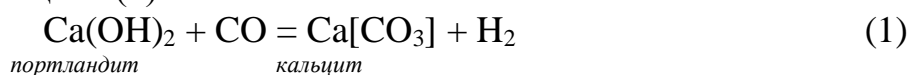


Рис.1. Заміщення деформованого королька металеве залізо (біле) гідроксидами заліза (сіре різних відтінків), у вигляді землистого агрегату і натічних форм. Сталеплавильний шлак. Полірований шліф, $\times 170$.

Силікати і оксиди магнію, кальцію, металургійне скло також заміщуються гіпергенними мінералами, гідратуються і розчиняються. При взаємодії суспензії гідратованого вапна (портландиту) з вуглекислим газом повітря утворюються карбонати. Мінерали групи SiO_2 (кварц, тридиміт, кристобаліт) подрібнюються внаслідок поліморфних перетворень і перепаду температури, маршалітизуються заміщуються вторинним опалом і халцедоном (рис. 2).

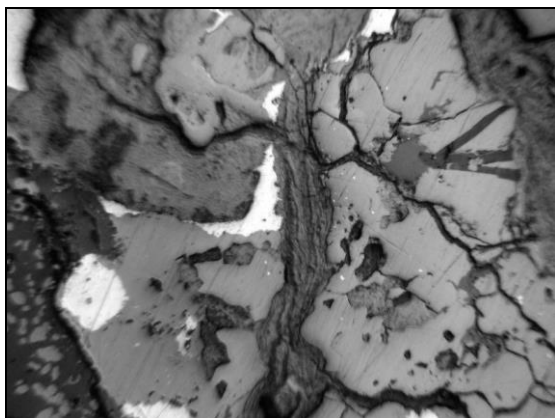
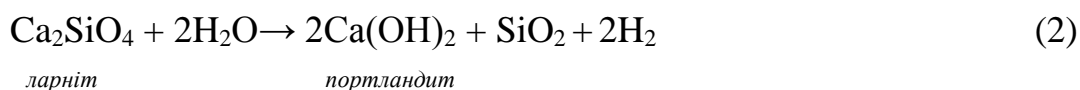


Рис. 2. Розтріскане зерно кварцу (сіре) і металеве залізо (біле) у складі гіпергенно зміненого сталеплавильного шлаку. Полірований шліф, $\times 140$.

Найбільш поширений у складі металургійного шлаку ларніт розчиняється у дощовій воді з утворенням гелю SiO_2 і розчину CaO за реакцією :



Зневоднення гелю приводить до утворення опалу, а в результаті взаємодії розчину вапна і вуглекислого газу кристалізується кальцит.

Олівін (фаяліт), діопсид і інші силікати, силікатне і залізо-силікатне металургійне скло також нестійкі в умовах шлакових відвалів. В продуктах їх вивітрювання встановлені серпентин, каолінит, монтморилоніт, оксиди і гідроксиди заліза і мангану, кальцит (рис. 3).

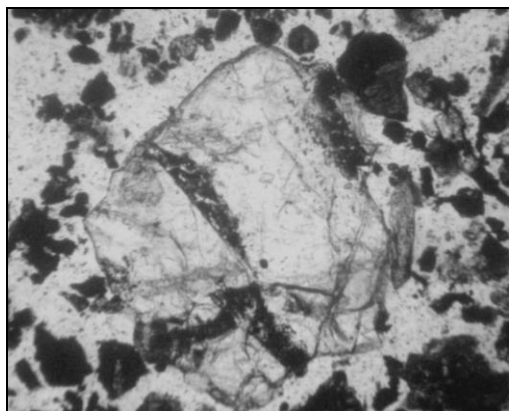


Рис. 3. Кристал фаяліту (в центрі) з прожилками серпентину у супроводі пілоподібних включень магнетиту (чорне). Прозорий шліф, ніколі паралельні, $\times 180$.

Про наявність даних мінералів свідчать мінералого-петрографічні дослідження прозорих шліфів, а також результати рентгеноструктурного і диференційного термічного аналізів

Портландит і каолінит утворюють пухку пілоподібну масу, здатну в сухому стані переноситися з шлакових відвалів повітрям, а у вологому, у вигляді суспензій, – водними потоками. Карбонати легко розчиняються навіть слабкими розчинами кислот і мігрують до поверхневих і ґрунтових вод. При висиханні розчинів на поверхні шлакових часток виникають кірки, плівки і вицвіти гідрокарбонатів, портландиту, гіпсу, глинистих і інших вторинних мінералів. Це значно збільшує вміст дисперсних компонентів і приводить до забруднення атмосфери шлаковим пилом. Виконані авторами мікрозондові дослідження шлакоутворюючих мінералів, у тому числі розчинних і нестійких, показали постійну присутність у їх складі важких металів і інших хімічних елементів (табл.1).

У вивітрених шлаках з тонкими прожилками халцедону, карбонатів і інших вторинних мінералів ферити кальцію набувають каламутно-сірого забарвлення. Це явище пов'язане з заміщенням їх гіпергенним лимонітом. Загальний вміст заліза у феритах кальцію незначний і складає 28,3% (табл.2).

Проте, внаслідок відсутності магнітних властивостей вони потрапляють до відходів збагачення. Вилучення даних мінералів в процесі переробки може істотно збільшити видобування заліза з шлаків металургійного виробництва.

Використовувана на металургійних підприємствах технічна і шламова вода, атмосферні опади і інша волога, активно взаємодіє з шлаками. Тому при тривалому зберіганні шлаків у відвалах вказані мінерали дисоціюють, забруднюючи ґрунтові і річкові води продуктами розчинення.

Мікроскопічне вивчення прозорих і полірованих шліфів свідчить, що опал і халцедон утворюють тонкі плівки білого і блакитно-білого кольору на

поверхні часток, в газових пустотах і тріщинах шлаку (рис. 4.). Гіпергенні прожилки, кірки і плівки мінералів кремнезему, гетиту і карбонатів через деякий час цементують шлак. Він знову зміцнюється, особливо у поверхневому шарі відвалу потужністю 0,2-0,4 м. Подібні зміни агрегатного стану приводять до формування на поверхні шлакових часток своєрідної захисної мембрани.

Таблиця 1

Хімічний склад силікатів кальцію за даними мікрозондового аналізу, мас. %

CaO	SiO ₂	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sc	S	Co
Мервініт Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂												
51,2 3	36,4 2	2,88	0,90	2,83	0,67	-	0,05	0,47	2,59	-	1,24	-
Ларніт β-Ca ₂ SiO ₄												
64,1	31,3 7	0,43	0,37	0,78	0,80	-	0,05	1,23	0,45	-	0,48	-
Хатрюрит Ca ₃ SiO ₅												
65,7 1	23,4	1,01	0,46	1,17	1,46	0,47	-	0,92	0,64	4,01	0,50	0,24
Силікоалюмінат кальцію* CaMn[AlSiO ₄] ₄												
10,5 7	54,0 1	2,33	5,05	23,43	0,72	0,27-	0,74	-	1,78	-	1,60	-

Таблиця 2

Хімічний склад браунмілериту за даними мікрозондового аналізу, мас. %

CaO	FeO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sc	S	Pb
43,5	28,3	1,26	1,46	21,85	2,31	0,25	0,76	0,34	0,9	0,2	0,4

Після її утворення розчинення первинних мінералів шлаку і спровокована ним міграція хімічних елементів і сполук у навколишнє середовище уповільнюється, а шкідливий вплив металургійних шлаків на сучасне геологічне середовище зменшується, за умови відсутності техногенного втручання у вигляді від-

критих гірничих робіт, що включає подрібнення шлаків, їх транспортування, навантаження і розвантаження.

Отже, під час зберігання шлаку у відвалі його мінеральні компоненти відіграють роль потужного джерела постачання різноманітних хімічних елементів у навколишнє середовище. На відстані до 4 км від шлакових відвалів в ґрунтах і ґрунтових водах спостерігається суттєве накопичення заліза, мангану, хрому, нікелю, кобальту і інших металів. За межами вказаної території їх вміст зменшується і відповідає фоновому (до речі досить високому) рівню для Криворізького басейну [2].



Рис. 4. Прожилочок вторинного халце-донну (біле) у складі гіпергенно зміненого шлаку. Первинні мінерали шлаків представлені таблитчастими кристалами фериту кальцію (темно-сіре) з проростаннями магнетиту (чорне), силікатами кальцію (світло-сіре). Прозорий шліф, ніколі \parallel , $\times 40$.

Згідно поставлених завдань проведені дослідження показали, що запиленість повітря на шлакових відвалах Кривбасу при швидкості вітру 3 – 5 м/с становлять 8 – 20 мг/м³, що в 4 – 10 разів перевищує гранично-допустиму концентрацію для повітря робочих зон.

Розрахунки які виконані по «ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий», який є основним нормативним документом, що адаптований до законодавства України, свідчать, що середньодобова концентрація пилу, яка становить 0,15 мг/м³, досягається на відстані більшій 1000 м від відвалу, при розмірі санітарно захисної зони – 500 м. В ряді випадків концентрація пилу в південно-східному напрямку на відстані близько 1500 м від шлакових відвалів досягає 2-4 мг/м³. Наведені результати, показали, що шлакові відвали є джерелом інтенсивного забруднення пилом повітря робочих зон підприємств та атмосферного повітря, що потребує розробки спеціальним засобів боротьби з пилом на поверхнях шлакових відвалів металургійних підприємств.

Авторами розроблено спосіб агротехнічного закріплення пилових поверхонь відвалів [7]. Згідно цього способу, поверхні піддаються разовій обробці природними органічними з'єднаннями, наприклад, лігносульфатами. Результати досліджень показали, що породи на шлакових відвалах негативно впливають на певні розчини, що приводить до коагуляції речовин і нездатності їх утворення на поверхнях пилозахисні покриття. Після обробки пилових поверхонь вказаним розчином на поверхнях утворюється суцільне механічно міцне покриття, яке забезпечує запобігання пиловиділення з поверхні на протязі всього наступного періоду існування відвалу. Це обумовлено наступними факторами.

Лігносульфонати включають в себе целюлозу и лігнін. Продукти їх розкладання є тим матеріалом, з якого утворюються гумінові речовини. Згідно з даними Шиффера і Ульріха через 4-7 тижнів починається процес розщеплення целюлози і лігніну [8]. Як наслідок, на пиловій поверхні через 1—2 місяці, після закріплення розчинами, які містять вказані інгредієнти, починається процес утворення гумусу, який огортає пилові частинки порід і тим самим зв'язує їх в укрупнені агрегати. При водяних концентраціях лігносульфонатів 25 % і вище на поверхнях утворюється механічно міцна кірка, яка забезпечує попередження здійснення пилу з відвалів в атмосферне повітря. В результаті, відбувається запобігання або значне зниження пиловиділення з поверхонь після разової їх обробки лігносульфатами.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В результаті виконаних досліджень в даній роботі вперше визначено фактори генезу пилу на поверхнях шлакових відвалів і вказано способи і засоби боротьби з пилом на відвалах. Вирішена актуальна наукова проблема, яка полягає в підвищенні ефективності захисту повітря робочих зон та навколишнього середовища від пилу з відвалів на основі науково обґрунтованого використання природних органічних сполук для закріплення пильних поверхонь. Проведено аналітичні дослідження засобів для закріплення пильних поверхонь, визначено речовини для ефективного закріплення поверхонь.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку та впровадження біотехнології для закріплення пильних поверхонь на шлакових відвалах металургійних підприємств, на основі відходів виробництв харчової промисловості, так як цей напрямок біотехнології є екологічно чистим.

Список літератури

1. Тиришкіна С. М. Механізм впливу мінерального складу шлакових відвалів на екологічний стан навколишнього середовища / С. М. Тиришкіна, В. В. Іванченко // Проблеми природо-користування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів : 5 Міжнар. наук.-практ. конф., 6–9 жовтня 2009 р. – Дніпропетровськ, 2009. – С. 206–208.
2. Долгова Т. И. Деградация почвенных систем под воздействием пыления иницируемого предприятиями горнодобывающего комплекса. // Разработка рудных месторождений. - Вып. 82. Кривой Рог.-2003.-С.150-159.
3. Маяков І. Д. Екологічна оцінка стану геологічного середовища / І. Д. Маяков // Нетрадиційні екологічні проблеми Кривбасу : [за ред. І.М.Малахова].Кривий Ріг, 2001. – 60 с.
4. Тыщук В. Ю. Исследование физико-механических параметров защитных покрытий, образующихся на пылящих поверхностях отвалов и шламоохранилищ в результате обработки их природными органическими соединениями / В. Ю. Тыщук // Сборник научных трудов Национального горного университета. – 2005. – № 22. – С. 198–207.
5. Тыщук В. Ю. Аналітичні і експериментальні дослідження пилозв'язуючої здатності нової композиції, розробленої на основі відходів олійно-жирових виробництв, для закріплення пильних поверхонь на гірничорудних підприємствах / В. Ю. Тыщук, М. Ф. Євдокименко, Л. Д. Єрмак, Е. В. Часова, В. М. Ковальов // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу : зб. наук. праць. – Кривий Ріг: ДП «НДІБП», 2006. – Вип. 7. – С. 99–108.
6. Тыщук В. Ю. Дослідження нового засобу для закріплення пильних поверхонь на гірничорудних підприємствах / В. Ю. Тыщук, М. Ф. Євдокименко, Ю. Т. Котов // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу : зб. на-

- ук. праць. – Кривий Ріг : ДП «НДІБПГ», 2008. – Вип. 10. – С. 182–186.
7. Тищук В. Ю. Агрохімічний спосіб закріплення пилючих поверхонь на гірничорудних підприємствах / В. Ю. Тищук // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу : зб. наук. праць. – Кривий Ріг : НДІБПГ, 1999. – Вип. 1. – С. 128–133.
8. Возбудская А.Е. Химия почвы. / А.Е.Возбудская – М.: Высшая школа. - 1968. – 427 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 21.04.2015*

УДК 504.058+627.8.059

© Г.В. Гапіч

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ СТІЙКОСТІ НИЗОВОГО УКОСУ ГРУНТОВОЇ ДАМБИ НА ОСНОВІ ГІДРОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

На основі гідрологічних розрахунків визначений коефіцієнт стійкості низового укосу ґрунтової дамби. Встановлено положення критичної точки зниження коефіцієнту стійкості залежно від надходження до водойми надлишкових об'ємів води дощових (зливових) паводків.

На основании гидрологических расчетов определен коэффициент устойчивости низового откоса грунтовой дамбы. Установлено положение критической точки снижения коэффициента устойчивости в зависимости от поступления в водоем избыточных объемов воды дождевых (ливневых) паводков.

Defined sustainability index lower slope of dirt dam on the basis of hydrological calculations. Subject to receipt of floodwater determined position of the critical point of reducing the stability factor.

Вступ. За матеріалами Національної доповіді про стан техногенної природної безпеки в Україні у 2014 році [1] серед прогнозних ризиків виникнення надзвичайних ситуацій Дніпропетровська область займає одне з перших місць. Особливу екологічну та техногенну небезпеку становлять аварії і відмови у роботі водопідпірних гідротехнічних споруд (ГТС) під час перерозподілу і регулюванні водних потоків. Руйнування ГТС можуть призвести до паводків, повеней, катастрофічних затоплень на площі до 10,8 тис.км², де проживає близько 1057,7 тис. осіб. На думку автора [2] у зону максимально можливого підтоплення паводковими водами можуть потрапити 6 міст і 21 район, в яких розташовані 333 населених пункти та близько 30 сільськогосподарських об'єктів. Підсилюючим фактором стану екологічної безпеки є наявність на території області скотомогильників поблизу 27 населених пунктів. Таким чином забезпечення надійної експлуатації гідротехнічних споруд різного призначення та підвищення рівня екологічної безпеки території в зоні пливу ГТС є актуальною задачею.

Постановка проблеми. За даними [1] протягом 2014 року середня річна температура повітря в Дніпропетровській області перевищила кліматичні пока-

знижки на 0,6-1,4 °С, а кількість опадів при цьому сягнула 130-162% від норми. В зв'язку з цим, на зміну тривалому снігостану приходять декілька циклів з морозним періодом та таненням взимку, а в теплий період року спостерігається тенденція випадіння понад норми опадів, що носять зливовий характер. Особливу небезпеку опади складають на малих річках з невеликою площею водозбору (до 100 км²), адже при середніх розмірах дощової хмари у 30-50 км² в зону катастрофічного паводку потрапляє значна, подекуди до 70% площа басейну річки. Враховуючи невеликі площі водозбору та значну зарегульованість більшості малих річок, виникає ризик руйнування гідротехнічних споруд (ГТС) під час проходження дощових (зливових) паводків. Відповідно до нормативів [3, 4, 5] під час проектування та експлуатації ГТС розраховують максимальні витрати та рівні води, виходячи із щорічної імовірності перевищення (забезпеченості), що встановлюються відповідно до класу споруди.

Велика кількість зведених гідротехнічних споруд на малих річках та водотоках не мають проектної документації, де висвітлені основні розрахунки та обґрунтування конструктивних параметрів дамб і скидних споруд. В результаті неналежної експлуатації без проведення оглядів технічного стану та ремонтних робіт підвищується ризик виникнення гідродинамічних аварій. Посилюючим фактором є тривалий час експлуатації ГТС, що перевищує понад 50 років роботи під навантаженням. Переважна більшість таких об'єктів розташовані поза межами населених пунктів, в степах, ярах і балках. Призначені ставки для зрошення прилеглих полів, водопоїв худоби тощо. На сьогоднішній день такі водойми використовують для рекреації населення, риборозведення, а під час збору урожаю, ґрунтові дамби слугують транспортними шляхами, по яким проходить великотоннажна сільськогосподарська техніка та вантажівки із зерном, які були відсутні ще 10-20 років тому. Внаслідок цього ґрунти тіла ГТС ущільнюються та відбуваються локальні деформації, що спричинені надмірним навантаженням та динамічними коливаннями. Перелічені природні та техногенні фактори впливають на стійкість гідротехнічних споруд.

Цілі і завдання досліджень. Таким чином постає необхідність перевірки та уточнення гідрологічних розрахунків і оцінки технічного стану ГТС, що зведені на основі проектної документації, а також тих споруд де вона відсутня.

Викладення основного матеріалу. Гідрологічні розрахунки та визначення коефіцієнту стійкості дамби проведені в Синельниківському районі Дніпропетровської області. Водойма та гідротехнічна споруда на ній розташована на р. Нижня Терса поблизу села Циганівка. Об'єм води при нормальному підпірному горизонті (НПГ) складає 165 тис. м³; площа ставка – 5,5 га; різниця відміток між гребенем дамби та урізом води при НПГ сягає 1,6 м. За результатами обстежень співробітниками Синельниківського міжрайонного управління водного господарства та працівниками Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) відмічається незадовільний стан багатьох ГТС та водоскидних споруд на них.

Гідрологічні розрахунки мають на меті показати підвищення рівня води у водосховищах у випадку надходження надмірної кількості опадів. Методика визначення гідрологічних характеристик базується на чинному СНиП 2.01.14-83 [5].

Розрахунок максимальних витрат і об'ємів стоку води дощових (зливових) паводків (табл. 1) визначається за відсутності матеріалів гідрометричних спостережень. Відповідно до [5] при площі водозбору до 200 км² у степовій зоні, розрахунок максимальних витрат проводиться за емпіричною редуційною формулою [5]:

$$Q_{p\%} = q_{200} \cdot \left(\frac{200}{F}\right)^n \cdot \lambda_{p\%} \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot F, \quad (1)$$

де $Q_{p\%}$ – максимальна витрата 1%-вої забезпеченості; q_{200} – модуль максимальної витрати (м³/с·км²) ймовірністю перевищення 1%, яка приведена до площі водозбору 200 км²; n – показник ступеня зменшення модуля розрахункової витрати; $\lambda_{p\%}$ – перехідний коефіцієнт від 1%-вої ймовірності перевищення до заданої ймовірності; δ_1 – коефіцієнт, який враховує зарегульованість максимальної витрати проточними озерами ($\delta_1=1,0$); δ_2 – коефіцієнт зниження витрат води в залісених та заболочених водозбірних басейнах ($\delta_2=1,0$); F – площа водозбору, км².

Об'єм стоку повені розрахункової забезпеченості встановлений за виразом [5]:

$$W_{p\%} = F \cdot h_{p\%} \cdot 10^3, \quad (2)$$

де $h_{p\%}$ – шар стоку розрахункової забезпеченості, мм.

Таблиця 1

Розрахунок максимальних витрат і об'ємів стоку води дощових (зливових) паводків

Найменування показників	Один. виміру	Р % (забезпеченість)							
		0,1	0,5	1	2	3	5	10	25
<i>Морфометрична характеристика</i>									
Площа бічної приточності, F	км ²	4,6							
<i>Максимальна витрата дощових паводків</i>									
Модуль максимальної витрати, q_{200}	м ³ /(с·км ²)	0,25							
Показник ступеня зменшення модуля розрахункової витрати, n	-	0,70							
Коефіцієнт зарегульованості озерами, δ_1	-	1,0							
Коефіцієнт заболоченості, δ_2	-	1,0							
Перехідний коефіцієнт, $\lambda_{p\%}$	-	1,6 2	1,3 5	1,0 0	0,7 7	0,6 5	0,5 0	0,3 4	0,1 5
Максимальна витрата, $Q_{p\%}$	м ³ /с	26, 1	21, 8	16, 1	12, 4	10, 5	8,1	5,5	2,4
<i>Об'єм стоку зливи</i>									
Шар стоку зливи розрахункової вірогідності, $h_{p\%}$	мм	64, 8	60	40	30, 8	26	20	13, 6	6
Об'єм стоку зливи, $W_{p\%}$	млн. м ³	0,3 0	0,2 5	0,1 8	0,1 4	0,1 2	0,0 9	0,0 6	0,0 3

При розрахунках гідротехнічних споруд, їх конструкцій і основ дотримуються умови, яка забезпечує недопущення настання граничних станів за несучою здатністю [4]. Найбільш вразливим елементом ГТС є втрата несучої спроможності та обвалення низових укосів споруд. Перевірку їх стійкості виконано за стандартною методикою круглоциліндричних поверхонь ковзання [4, 6]. У цьому випадку передбачається, що під дією сил ваги ґрунту укосу в тілі і підвалині ГТС може утворитися небезпечна круглоциліндрична поверхня ковзання (КЦПК), у зв'язку з чим відбудеться сповзання ґрунту укосу і випучування підвалини. Сповзання укосу буде опиратися сила тертя і зчеплення по поверхні завалення.

Перевірка стійкості укосу зводиться до визначення коефіцієнта стійкості, що дорівнює відношенню моменту утримуючих сил до моменту сил, що зрушують, і визначається за формулою [4, 6]:

$$k_c = \frac{R}{F} = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc}}{\gamma_c}, \quad (3)$$

де R – момент сил несучої спроможності; F – момент активних сил відносно осі поверхні зсуву; γ_{lc} – коефіцієнт сполучення навантажень; γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю; γ_c – коефіцієнт умов роботи.

Розрахунок проведений для двох випадків: при рівні води у верхньому б'єфі (ВБ) на нормальному та форсованому підпірних горизонтах. Розрахункові схеми та отримані результати коефіцієнту стійкості наведено на рис. 1.

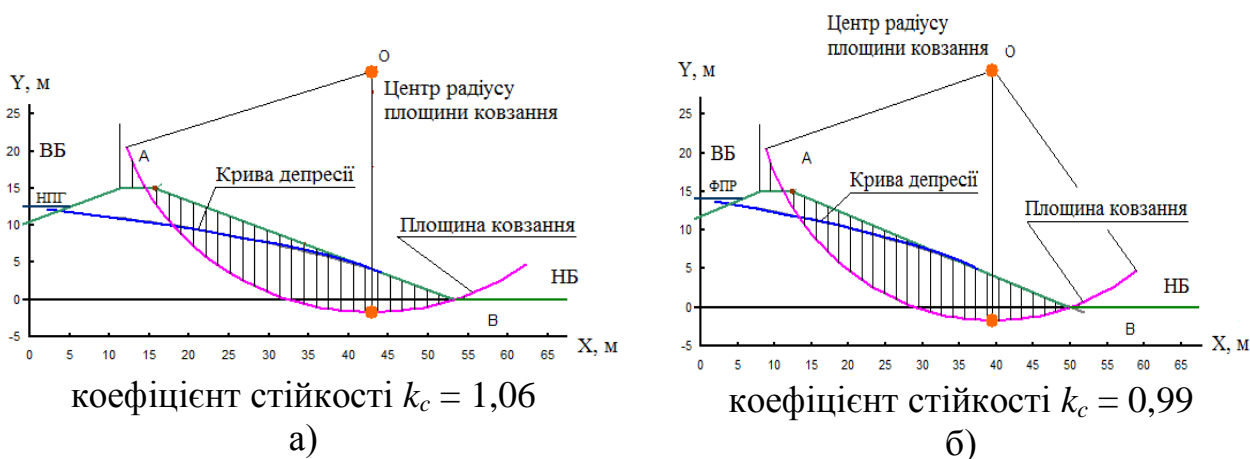


Рис. 1. Розрахунок коефіцієнту стійкості низового укосу дамби за методом круглоциліндричної поверхні ковзання: а) при нормальному підпірному горизонті води у верхньому б'єфі; б) при форсованому підпірному рівні води.

Аналіз отриманих розрахунків коефіцієнту стійкості низового укосу дамби показує, що при підвищенні рівня води у верхньому б'єфі змінюється положення депресійної кривої в тілі споруди, що знижує коефіцієнт стійкості.

Під час експлуатації та оцінки технічного стану ГТС працівникам ДСНС і співробітникам управлінні водного господарства можливо представити у вигляді

графіку залежність коефіцієнту стійкості від забезпеченості ($P\%$) і, відповідно, об'ємів дощових (зливових) паводків (W млн. m^3). На прикладі дамби поблизу с. Циганівка наведена залежність K_c від об'ємів води дощового паводку. Спочатку побудований графік об'ємів води від забезпеченості ($W=f(P\%)$) на основі гідрологічних розрахунків (табл. 1). З урахування об'ємів води, що надходить до ставка, визначена висота підйому рівня води (Δh , м), яка наведена додатковою шкалою на графіку (рис. 2).

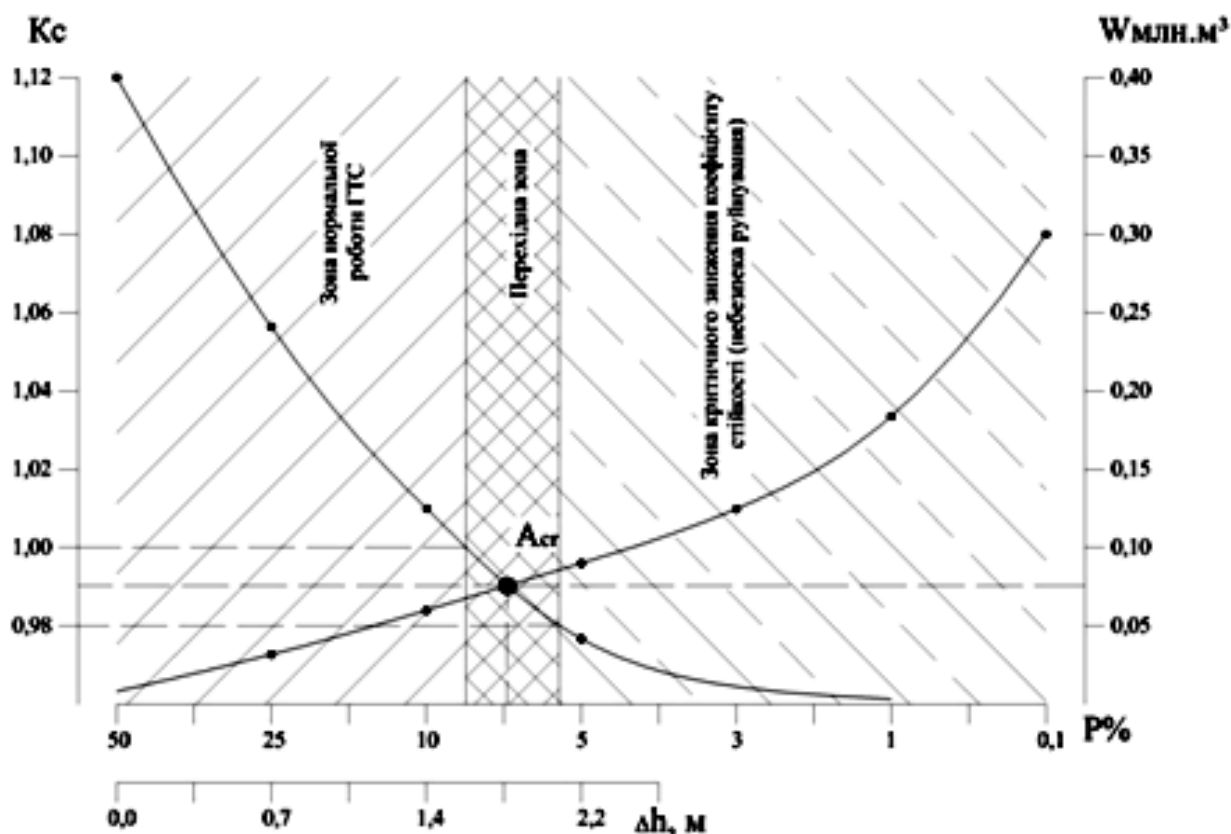


Рис. 2. Графік для визначення критичної точки коефіцієнту стійкості залежно від забезпеченості і об'ємів води дощових (зливових) паводків: $P\%$ – забезпеченість; K_c – коефіцієнт стійкості; W – об'єм води дощового паводку; Δh – висота підвищення рівня води відносно НПП.

Відповідно до підйому рівня води проведений розрахунок коефіцієнту стійкості (K_c) споруди методом круглоциліндричних поверхонь ковзання. Побудований графік залежності коефіцієнту стійкості від висоти підйому рівня води у ставку ($K_c=f(\Delta h)$). Точку перетину двох графіків A_{cr} можна вважати критичною для подальшої безпечної експлуатації ГТС. З графіку видно, що вона співпадає з максимальною відміткою перевищення гребня дамби над рівнем НПП. Таке положення точки вказує на небезпеку руйнування споруди внаслідок переливу води через гребінь під час подальшого надходження води. Графік можливо умовно розділити на декілька зон. Перша зона нормальної роботи ГТС, коли коефіцієнт стійкості споруди вищий за 1 і споруда здатна виконувати за-

дані функції (утримання води). При пониженні K_c і переходу через критичну точку наповнення і стійкості виділяється перехідна зона. Для неї будуть характерні короткотермінові у часі навантаження на споруду, які при їх усуненні також дають можливість продовжити нормальну експлуатацію ГТС. Насамкінець, виділяється зона критичного зниження коефіцієнту стійкості при якій відбувається перелив води через гребінь і втрата спорудою несучої здатності.

Аналіз графіка (рис. 2) показує, що при збільшенні забезпеченості і об'ємів води, що надходить до водойми, знижується коефіцієнт стійкості ГТС. Значення критичної точки наближено співпадає з відміткою перевищення гребня над рівнем води. Такі результати дають можливість казати, що при дощовому паводку забезпеченістю у $P \approx 7\%$ і об'ємах води у 0,075 млн. м³ на площі власного водозбору існує небезпека нормальної експлуатації гідротехнічної споруди. Слід зауважити, що для пропуску розрахованих витрат необхідно утримувати повністю у справному стані водоскидні споруди на гідровузлі.

Висновки. Представлення розрахунків коефіцієнту стійкості та гідрологічних параметрів у вигляді сумісного графіку для кожної окремої споруди на гідрографічній мережі річки дає змогу оперативно реагувати на зміну показників надійності та стійкості споруди в залежності від метеорологічних умов. Доцільним є наведення такого графіку в паспорті кожної ГТС, що надасть змогу оперативно оцінити її технічний стан, а невідкладне реагування на зміни основних параметрів, підвищить надійність експлуатації гідротехнічних споруд та рівень екологічної безпеки прилеглих територій.

Список літератури

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році. – Київ: 2015 р. – 365 с.
2. Сундук А.М. Природно-техногенна (екологічна) безпека Дніпропетровської області / А.М. Сундук // Економіка природокористування і охорони довкілля. — К.: РВПС України НАН України, 2008. – С. 318-326.
3. Гідротехнічні споруди. Основні положення: ДБН В.2.4-3:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 37 с.
4. Греблі з ґрунтових матеріалів. Основні положення: ДБН В.2.4-Х.201Х. – [Проект]. – К.: Мінрегіонбуд України, 201Х. – (Державні будівельні норми України).
5. Определение расчетных гидрологических характеристик: СНиП 2.01.14-83. – [Дата введения 1984-07-01]. – М.: Госстрой СССР, 1985. – (Строительные нормы и правила).
6. Основания гидротехнических сооружений. СНиП 2.02.02-85. – М.: Госстрой СССР, 1987.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 07.03.2015*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АНТРОПОГЕННИХ ЧИННИКІВ НА РОЗВИТОК ЗАХВОРЮВАННЯ НАСЕЛЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ м. ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКА)

В роботі проведено оцінку якісного стану атмосферного повітря та рівня захворюваності населення м. Дніпродзержинська впродовж 2009-2013рр. Досліджено вплив забруднення на захворюваність населення та спрогнозовано розвиток останньої в залежності від стану забруднювання атмосферного повітря у м. Дніпродзержинську.

В работе проведена оценка качественного состояния атмосферного воздуха и уровня заболеваемости населения г. Днепродзержинска в течение 2009-2013гг. Исследовано влияние загрязнения на заболеваемость населения и спрогнозировано развитие последней в зависимости от состояния загрязнения атмосферного воздуха в г. Днепродзержинске.

The paper assessed the state of air quality and the level of morbidity Dneprodzerzhinsk during 2009-2013. The effect of pollution on morbidity and predict the development of the latter depending on the state of air pollution in Dneprodzerzhinsk.

Вступ. Антропогенне забруднення навколишнього середовища надає виражений вплив на формування популяційного здоров'я населення, особливо у зв'язку зі зміною соціально-економічних умов. Забруднення природного середовища, продуктів харчування, складні екологічні проблеми великих міст, інтенсивний ритм життя, погіршення медико-екологічної ситуації – все це призводить до погіршення стану здоров'я населення, зростання рівнів захворюваності. Наймогутніший техногенний вплив порушує адаптацію людського організму до змінених умов і спричинює різноманітні патологічні стани. Тому здоров'я населення є певним індикатором екологічного стану довкілля.

Шкідливі речовини, які потрапляють в навколишнє середовище, негативно впливають на людський організм. Спеціалісти вважають, що рівень здоров'я залежить від стану середовища на 20-40%, тоді як від спадкових факторів – лише на 15-20%, від способу життя – на 25%, а від рівня медичного обслуговування всього на 10% [1].

Однією з найважливіших екологічних проблем міст є забруднення атмосферного повітря, що відбувається через збільшення обсягів викидів шкідливих речовин від стаціонарних та пересувних джерел забруднення.

У місті Дніпродзержинську проблеми екологічного характеру є дуже актуальними, а екологічний стан оцінюється як критичний. У межах міста працюють промислові підприємства, які є основними джерелами забруднення навколишнього середовища. На фоні забруднення атмосфери міста захворюваність населення також щорічно збільшується. Постійні атмосферні забруднення несприятливо впливають на загальну захворюваність населення. В результаті загостреної екологічної ситуації в м.Дніпродзержинську сформувались характерні захворювання населення – серцево-судинні та онкологічні хвороби.

Метою дослідження є встановлення залежності захворювання населення промислового міста від забруднення атмосферного повітря.

Задачі дослідження:

– оцінити якісний стан атмосферного повітря та ступінь захворюваності населення м. Дніпродзержинська;

– дослідити вплив забруднення м. Дніпродзержинська на стан захворюваності населення міста;

– прогнозувати рівень захворюваності населення у м. Дніпродзержинську в залежності від стану забруднювання атмосферного повітря.

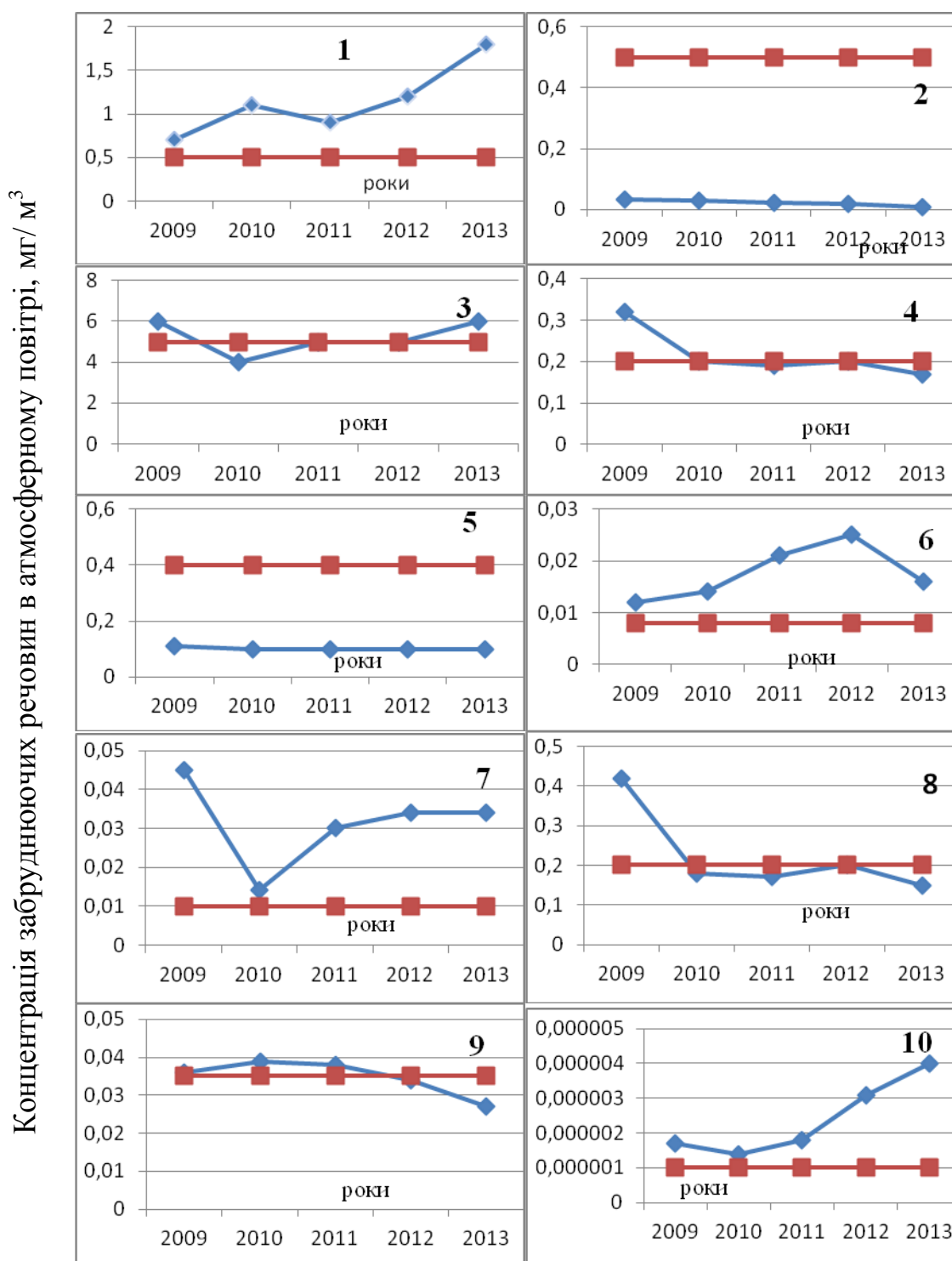
Основний матеріал досліджень. На якість атмосферного повітря м. Дніпродзержинська впливають 64 підприємства різних галузей промисловості, які щорічно викидають в атмосферне повітря понад 100 тис. т. забруднюючих речовин (14% від загального обсягу викидів Дніпропетровської області). Щільність викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел становить 870-930 т на 1 км², що у 120 та 25 разів більше, ніж в цілому по країні та області відповідно. На одного мешканця міста припадає близько 500 кг шкідливих речовин. Цей показник значно перевищує середній рівень по країні майже в 5 разів та по області майже в 1,5 рази [2].

Стан забруднення атмосферного повітря м. Дніпродзержинська характеризується максимально річними концентраціями основних забруднюючих речовин, динаміку яких наведено на рисунку 1, згідно якої максимальнорічні концентрації пилу, сірководню, фенолу та бенз/а/пірену перевищують ГДК, причому за останні роки (2012-2013рр.) виявлено максимальні значення показників, які мають тенденцію до зростання. Максимальнорічні концентрації окису вуглецю, двоокису азоту, аміаку та формальдегіду в середньому знаходяться в межах ГДК, а двоокису сірки та оксиду азоту значно нижчі в порівнянні з їх ГДК.

Загальна захворюваність на хвороби систем кровообігу у м. Дніпродзержинську з кожним роком зростає, а пік захворюваності приходить на 2013 рік. Загальна захворюваність та смертність від онкопатології залишається стабільно високою [3].

Динаміку захворюваності на серцево–судинні захворювання наведено на рисунку 2А, аналізуючи яку, встановлено загальну тенденцію до зростання майже за усіма локалізаціями. Зокрема, захворюваність на гіпертонічну та ішемічну хвороби серця, та цереброваскулярні хвороби залишається найбільшою у порівнянні з іншими, а особливо значне зростання спостерігається у 2012 та 2013 році. Захворюваність на інсульт та гострий інфаркт міокарда, хронічні ревматичні хвороби серця та атеросклероз, у порівнянні з попередньою групою хвороб, у кілька разів нижча, проте також має тенденцію до зростання.

На рисунку 2Б наведені показники захворюваності на онкопатологію, серед яких перше місце по м. Дніпродзержинську протягом останніх 5 років займають хвороби органів травлення та дихання, статеві органи, новоутворення шкіри та молочної залози. Захворюваність на органи травлення, дихання, новоутворення шкіри та молочної залози коливається з періодичністю в один



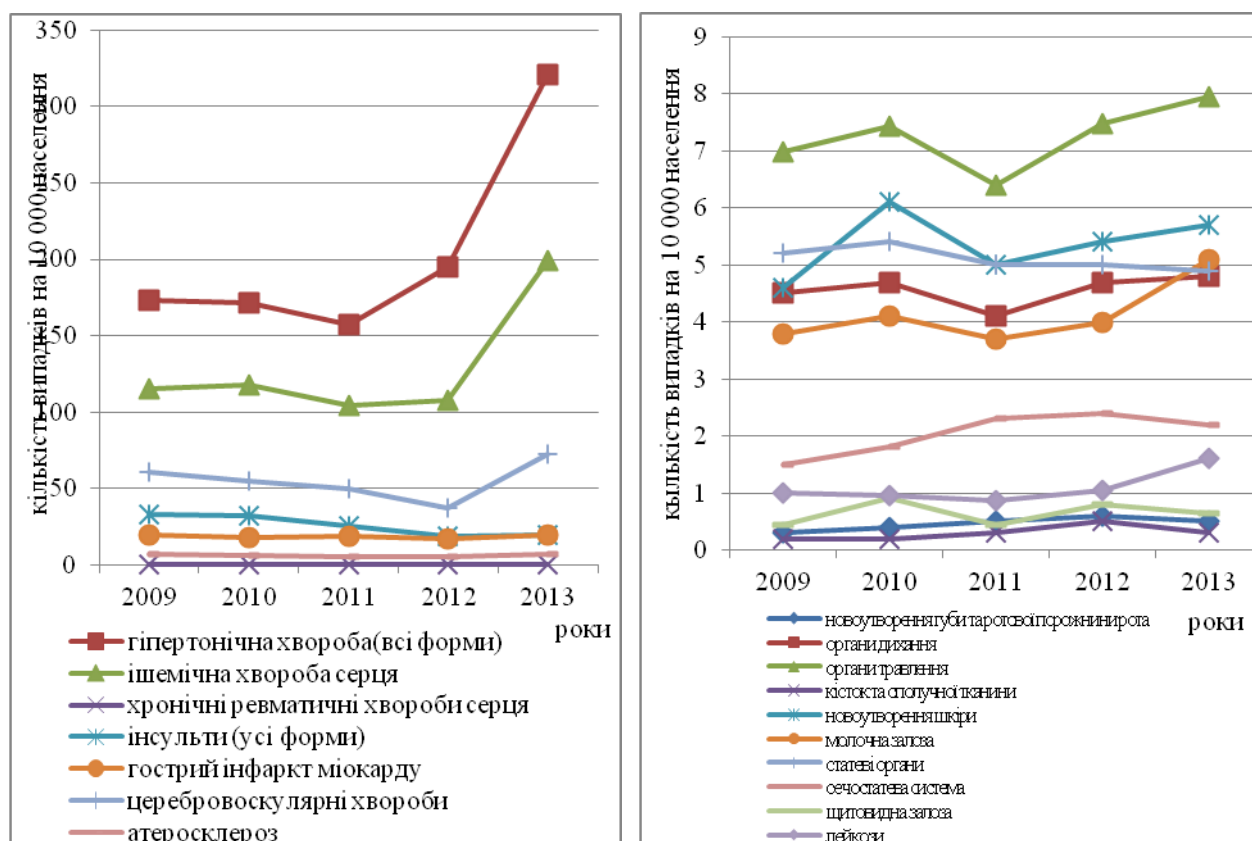
- Концентрація ; - ГДК

1 - пил; 2 - двоокис сірки; 3 - окис вуглецю; 4 - двоокис азоту ; 5 - окис азоту ; 6 - сірководень; 7 - фенол 8 - аміак; 9 - формальдегід; 10 - бенз/а/пірен (в нг/м³)

Рис. 1. Максимальнорічні концентрації основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі у м. Дніпродзержинську, мг/ м³

рік та з кожним роком зростає. Тільки в 2011 році виявлено деякий спад захворювань, а у наступні роки спостерігається тенденція до зростання кількостей

випадків. Злоякісні пухлини шкіри займають друге місце в структурі онкологічної захворюваності по місту зі зростаючою динамікою. Найвищий показник спостерігається у 2010 році, найнижчий у 2009 році. Рак статевих органів займає третє місце за звітні роки (2009 – 2013), з 2011 року розвиток новоутворень знижується, в 2010 році захворюваність має максимальні показники.



А – захворюваність серцево-судинної системи;
 Б – захворюваність на злоякісні новоутворення

Рис. 2. Динаміка захворюваності населення м. Дніпродзержинська

Дослідження впливу забруднення атмосферного повітря на стан захворювання населення м. Дніпродзержинська виконувалось за допомогою кореляційного аналізу. Розрахунки проводились для кожної з 170 пар залежних параметрів (концентрація окремої забруднюючої речовини та рівень захворюваності за кожною окремою хворобою).

В результаті розрахунків отримано високі показники коефіцієнту кореляції для 31 пари стосовно онкологічних захворювань та для 24 пар стосовно захворювань серцево-судинної системи, що свідчить про високий ступінь зв'язку між практично усіма забруднюючими речовинами та нозологіями хвороб. Отриманні залежності перевірено на адекватність зв'язку за критерієм Фішера. В результаті такої перевірки розраховані значення критерію Фішера зіставлені з критичним його значенням ($F_{\text{критич.}} = 10,13$). Відібрано залежності для яких отримано не тільки високий показник коефіцієнта кореляції ($\sim 0,9$), а й висока

адекватність, оцінена за критерієм Фішера у порівнянні з критичним його значенням. Такими парами залежностей виявлено (у чисельнику – значення коефіцієнта кореляції, у знаменнику – значення критерію Фішера):

1) залежності захворюваностей на злоякісні новоутворення від концентрацій забруднюючих речовин:

• Пил – новоутворення молочної залози $\frac{0,947}{26,4}$ та лейкози $\frac{0,898}{12,5}$;

• Сірководень - новоутворення губи та ротової порожнини $\frac{0,915}{15,4}$, новоутворення кісток та сполучної тканини $\frac{0,920}{16,7}$, новоутворення сечостатевої системи $\frac{0,892}{11,7}$;

• Формальдегід – новоутворення молочної залози $\frac{0,878}{10,1}$ та лейкози $\frac{0,962}{37,3}$;

• Бенз/а/пірен – лейкози $\frac{0,869}{9,27}$.

2) залежності захворюваностей на серцево-судинну систему від концентрацій забруднюючих речовин:

• Пил – гіпертонічна хвороба серця $\frac{0,920}{16,6}$;

• Фенол – інсульти $\frac{0,975}{59,4}$;

• Формальдегід – гіпертонічна хвороба серця $\frac{0,957}{34,6}$;

• Бенз/а/пірен – гіпертонічна $\frac{0,971}{50,6}$ та ішемічна хвороби серця.

Таким чином із загальної кількості досліджених пар залежностей найбільш значими та адекватними виявлено лише 8 пар стосовно онкологічних захворювань та 5 пар стосовно захворювань серцево-судинної системи.

Спираючись на зазначені результати досліджень з'ясовано групи захворювань, які найбільш чутливі до наявності токсикантів в атмосферному повітрі. Даний факт встановлено на основі визначеного високого коефіцієнта кореляційного зв'язку, доведеного високим ступенем адекватності розрахунків.

За допомогою функцій програмного забезпечення *Microsoft Office Word* додатка *Excel*, побудовано моделі, які описують характер змін захворювань в залежності від концентрації пилу, сірководню та бенз/а/пірену відповідно.

Так, наприклад, на рисунку 3 відображено тенденцію залежності відповідних захворювань від концентрації пилу та прогноз захворюваності на новоутворення молочної залози, лейкозів та гіпертонічної хвороби серця в залежності від концентрації пилу в атмосферному повітрі, з якого видно, що при збільшенні концентрації пилу за лінійною залежністю будуть зростати і відповідні хвороби.

Моделі, які описують характер змін захворюваності в залежності від концентрації пилу в атмосферному повітрі, представлено у вигляді формул (1) – (3):

$$y_1 = 1,274x_1 + 2,687 \quad (1);$$

$$y_2 = 0,630x_1 + 0,371 \quad (2);$$

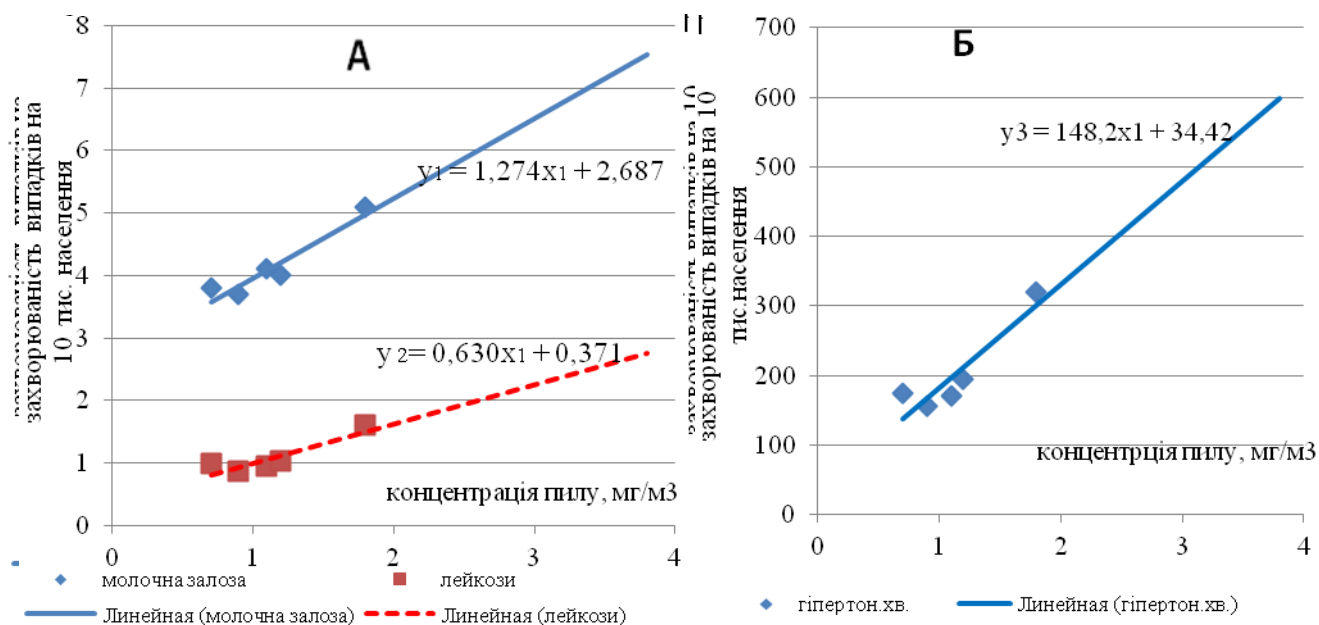
$$y_3 = 148,2x_1 + 34,42 \quad (3);$$

де x_1 - концентрація пилу, $\text{мг}/\text{м}^3$;

y_1 – кількість випадків новоутворення молочної залози, на 10 тис. населення

y_2 – кількість випадків лейкозу, на 10 тис. населення;

y_3 – кількість випадків на гіпертонічну хворобу, на 10 тис. населення



А – захворювання на онкопатологію, Б – серцево – судинні захворювання

Рис. 3. Прогноз захворюваності взаємності від концентрації пилу в атмосферному повітрі

Функції, які описують характер змін захворюваності в залежності від концентрації сірководню в атмосферному повітрі, представлено формулами (4)–(6), згідно яких встановлено, що при збільшенні концентрації сірководню в атмосферному повітрі будуть зростати і відповідні хвороби за лінійною залежністю:

$$y_4 = 63,42x_2 + 0,923 \quad (4);$$

$$y_5 = 19,61x_2 + 0,114 \quad (5);$$

$$y_6 = 21,20x_2 + 0,073 \quad (6);$$

де x_2 - концентрація сірководню, $\text{мг}/\text{м}^3$;

y_4 – кількість випадків рак сечостатевої системи , на 10 тис. населення

y_5 – кількість випадків новоутворення губи та ротової порожнини, на 10 тис. населення;

y_6 – кількість випадків рак кісток та сполучної тканини, на 10 тис. населення

Виявлено також лінійну залежність таких хвороб як лейкоз, гіпертонічна та ішемічна хвороби серця від бенз/а/пірену. Функції, які описують характер змін захворюваності в залежності від концентрації бенз/а/пірену в атмосферному повітрі, представлено у вигляді формул (7)–(9):

$$y_7 = 0,229x_3 + 0,54 \quad (7);$$

$$y_8 = 61,684x_3 + 71,08 \quad (8);$$

$$y_9 = 36,28x_3 + 51,25 \quad (9);$$

де x_3 – концентрація бенз/а/пірену, нг/м^3

y_7 – кількість випадків лейкозу, на 10 тис. населення

y_8 – кількість випадків на гіпертонічну хворобу, на 10 тис. населення;

y_9 – кількість випадків на ішемічну хворобу серця, на 10 тис. населення;

За розробленими моделями можна спрогнозувати рівень захворюваності відповідними хворобами в залежності від наявності в атмосферного повітрі концентрацій забруднюючих речовин. Данні показники розрахунків можна використати при плануванні антропогенної діяльності в межах міської території. Тобто при запровадженні певних виробничих процесів, що несуть засобом забруднення атмосферного повітря, можна спрогнозувати екологічний ризик щодо роботи данного підприємства. Такі розрахунки надають можливість отримати дозвіл на проектування господарства промислової діяльності та зважувати поняття користь – ризик.

Висновки. Проведено дослідження якості атмосферного повітря м. Дніпродзержинська за десятьма речовинами, четверо з яких перевищують ГДК протягом 2009 – 2013 рр. (пил, сірководень, фенол та бенз/а/пірен) та мають тенденцію до зростання. Загальна захворюваність по м. Дніпродзержинську протягом досліджуваного періоду є стабільно високою. Встановлено, що захворюваність на серцево-судинну систему має загальну тенденцію до зростання майже за усіма локалізаціями. Перше місце серед усіх захворювань злоякісних новоутворень по протягом 2009-2013 рр займають хвороби органів травлення та дихання, статеві органи, новоутворення шкіри та молочної залози, які коливаються з періодичністю в один рік проте з кожним роком зростають.

Проведено дослідження впливу забруднення атмосферного повітря на стан захворюваності населення м. Дніпродзержинськ. В результаті виявлено наявність зв'язку між концентрацією забруднюючих речовин та захворюванням населення. Високий ступінь зв'язку перевірено на адекватність за критерієм Фішера. Такими парами залежності виявлено:

- Пил – новоутворення молочної залози, лейкоз, гіпертонічна хвороба серця;
- Сірководень – новоутворення губи та ротової порожнини, рак кісток та сполучної тканини, сечостатева система;
- Бенз/а/пірен – лейкози, гіпертонічна та ішемічна хвороба серця.

За результатами дослідження проведено моделювання стану захворювання населення в залежності від концентрації забруднюючих речовин та отримані прогнозні моделі залежності. Данні показники розрахунків можна використати при плануванні антропогенної діяльності в межах міської території. Тобто при запровадженні певних виробничих процесів, що несуть засобом забруднення атмосферного повітря, можна спрогнозувати екологічний ризик щодо роботи данного підприємства.

Список літератури

1. Сердюк А.М. Навколишнє середовище і здоров'я населення України//Довкілля та здоров'я. - 1998. - №4 (7). - С. 2-6.
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2009 рік / Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області. Дніпропетровськ, - 2010. – 200 с.
3. Звіти про хворих на злоякісні новоутворення 2009 -2013 рік. Департамент охорони здоров'я (відділ статистики) м. Дніпродзержинськ

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 15.02.2015*

УДК 504.3.054:622.012.3

© О.В. Зберовський, О.М. Савотченко

ТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ВІД ПИЛОГАЗОВОЇ ХМАРИ ПРИ МАСОВИХ ВИБУХАХ У КАР'ЄРАХ

Розглянуто класифікація технічних рішень з боротьби з пилогазовими викидами при масових вибухах у кар'єрах. Запропоновано технічний комплекс засобів для захисту довкілля від пилогазової хмари при масових вибухах у кар'єрах з використанням конверсійної військової техніки. Спосіб включає локалізацію епіцентру пилогазової хмари за температурним та динамічним факторами у момент його зародження і формування, що підвищує екологічну безпеку при вибухових роботах у кар'єрах.

Рассмотрена классификация технических решений по борьбе с пылегазовыми выбросами при массовых взрывах в карьерах. Предложен технический комплекс для защиты окружающей среды от пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах с использованием конверсионной военной техники. Способ включает локализацию эпицентра пылегазового облака по температурному и динамическому фактору в момент его зарождения и формирования, что повышает экологическую безопасность при взрывных работах в карьерах.

We consider the classification of technical solutions for dust control gas emission during mass explosion in quarries. A range of technical means to protect the environment from the powder-gas cloud during mass explosion in quarries using conversion of military technology. The method includes the location of the epicenter of the powder-gas cloud on the temperature and dynamic factors at the time of its inception and formation, which increases the environmental safety when blasting in quarries.

Вступ. Атмосферне повітря є одним з основних життєво необхідних компонентів довкілля. У гірничопромислових регіонах, де ведеться розробка корисних копалин відкритим способом, в повітряний басейн потрапляють пил, сірчаний ангідрид, окис вуглецю, сірководень, оксиди азоту та інші сполуки, котрі негативно впливають на навколишнє природне середовище та людину. Забруднення довкілля при відкритій розробці корисних копалин відбувається практично при усіх основних виробничих процесах.

У переважній більшості кар'єрів підготовка гірничих порід для виїмки відбувається буро-вибуховим способом. Масові вибухи на кар'єрах є періодичними джерелами надходження в атмосферу великої кількості пилу та вибухових газів, які утворюють пилогазову хмару (ПГХ), котра підіймається на висоту до 800 м, розповсюджується та осідає на земну поверхню, у тому числі в житлових районах і на сільськогосподарських угіддях, що створює відчутні негативні ефекти в радіусі до 20 км від кар'єру. Наприклад, концентрація пилу в повітрі при масових вибухах 600-800 т вибухової речовини досягає 1200-2800 ГДК на відстані 1 км від кар'єру і до 90 ГДК на видаленні 10 км [1]. Тому розробка способу захисту довкілля при масових вибухах у кар'єрах є важливою і актуальною науково-практичною задачею, яка відноситься до переліку пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2020 року (п. 4 розділу «Рациональне природокористування»).

Формулювання мети дослідження. Розробити спосіб захисту довкілля від пилогазової хмари при масових вибухах у кар'єрах з використанням конверсійної військової техніки.

Викладення основного матеріалу дослідження. Відомі на теперішній час технічні рішення боротьби з пилогазовими викидами при масових вибухах у кар'єрах у той чи іншій мірі дозволяють зменшити кількість шкідливих викидів у повітря, однак повністю проблему захисту довкілля не вирішують. Їх можна умовно розділити та класифікувати як пасивні та активні.

Пасивні способи захисту навколишнього середовища при вибухах у кар'єрах можна представити у вигляді трьох основних груп:

перша група - способи попередження, до яких відносяться: управління дією вибуху, застосування малогазових типів вибухової речовини (ВР), підвищення міцності забійки свердловин, зниження маси заряду ВР, зниження величини перебуру у свердловині, зниження числа свердловин на вибуховому блоці, зменшення діаметру свердловин та інші;

друга група - способи подавлення ПГХ, до яких відносяться: використання гідравлічної та гідрогелевої забійки, зрошення водою підривного блоку, покриття підривних блоків піною, використання водоповітряних струменів після вибуху та інші;

третья група - способи утилізації ПГХ, до яких відносяться: пилоуловлювання, дегазація вибухових блоків, використання пилосбиральної техніки та інші.

Способи активного пилогазоподавлення включають вплив на епіцентр пилогазової хмари у період її зародження та формування над підірваним блоком з метою нейтралізації та подавлення його динамічного та теплового потенціалів. При цьому для впливу на епіцентр пилогазової хмари запропоновано використовувати такі технічні засоби як зустрічний вибух, гідропостріл, пневмогідровикид, а також енергію ежекційних потоків повітря в зоні підривного блоку для введення теплопилогазоподавляючих агентів у епіцентр ПГХ [1].

Слід відзначити, що ПГХ формується в атмосфері кар'єра під впливом температурного фактору (час дії 1 хвилина) і динамічного фактору (час дії 1 секунда) у вигляді послідовності трьох основних етапів:

1 етап - процес зародження ПГХ (інтервал часу 0-560 мс);

2 етап - процес формування ПГХ (інтервал часу 560-5000 мс);

3 етап - процес поширення ПГХ в атмосфері кар'єра (інтервал часу 5-30 с).

Швидкість поширення ПГХ на 1 етапі досягає 200 м/с і більше, температура в епіцентрі ПГХ до 600°C .

Для ефективного пілогозаподавлення ПГХ нами запропоновано комплексний вплив на епіцентр хмари як пасивними так і активними способами. В основу технічного рішення боротьби з пілогозовими викидами при масових вибухах у кар'єрах покладено ідею використання технічного комплексу з конверсійних військових установок ТМС-65 у тому числі модернізованих установок з броньованим захистом. Процес пілогозаподавлення ПГХ включає нанесення піни на поверхню вибухового блока до масового вибуху, подавлення теплового епіцентру ПГХ хладогеном у період її зародження та формування над підірваним блоком та створення пароводогазоповітряної завіси в атмосфері на шляху руху ПГХ із застосуванням реактивних двигунів.

Запропоноване технічне рішення реалізується з використанням броньованої установки яка захищає її та обслуговуючий персонал від ушкодження лідерними осколками вибуху, дає можливість її розміщення на відстані 15 – 30 м від вибухового блоку в кар'єрі, що дозволяє локалізувати епіцентр ПГХ за температурним фактором у момент його формування при вибуху та зменшити дію динамічного фактору вибуху, що в цілому знижує висоту підйому ПГХ у кар'єрі та запобігає забрудненню навколишнього середовища.

Загальний вигляд установки ТМС-65 показано на рисунку 1.



Рис. 1. Загальний вигляд установки ТМС-65

Броньовану установку розміщують на робочій площадці вищерозміщеного уступу над вибуховим блоком в кар'єрі (рисунок 2), так, щоб сопла реактивних двигунів були направлені у зону очікуваного епіцентру зародження пілогозової хмари при вибуху, а конверсійні установки ТМС-65 за межами кар'єру на відстані до 1 км.

Перед вибухом броньована установка оброблює поверхню вибухового блоку піною, що утворюється у піногенераторіустановки. Це дозволяє уловлювати дрібнодисперсні частинки пилу та нейтралізувати вибухові гази, що виходять з тріщин підірваного масиву після вибуху. Хімічну піну утворюють у результаті взаємодії піногенераторних порошків, наприклад, марок ПГП та ПГП-Р

з водою. Повітряно-механічну піну утворюють шляхом подачі стисненого повітря у розчин для піноутворення, наприклад, в екологічно безпечний водний розчин 4...6%-го піноутворювача ПО-6ТС.

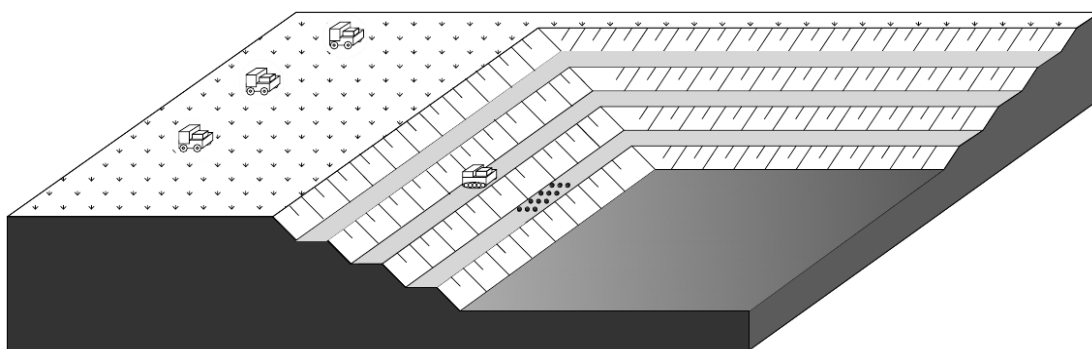


Рис. 2. Схема розміщення установок для пилогазоподавлення в кар'єрі

У період зародження ПГХ (0-560 мс) виконується викид капсул з хладогеном в її епіцентр, що дозволяє знизити температуру в епіцентрі ПГХ з 600°C до температури атмосферного повітря. Капсули виконують з полімеру і заправляють рідким азотом. При використанні рідкого азоту можна отримати три переваги: зниження температурного фактору, що зменшує висоту підйому ПГХ; отримання конденсату, що додатково впливає на пилогазоподавлення; витіснення кисню, що не дає догорання вибуховій речовині, яка неповністю здетонувала.

Після розльоту лідерних осколків гірничої маси ведуть активне прицільне подавлення ПГХ на стадії зародження та формування безпосередньо у зоні вибуху з допомогою реактивних двигунів броньованої установки, який, дозволяє здійснювати локалізацію епіцентру ПГХ за температурним та динамічним факторами, пилоподавлення та нейтралізацію шкідливих газів по усій площині підривного блоку. На рисунку 3 показана схема розміщення установок для пилогазоподавлення в кар'єрі на стадії зародження та формування ПГХ.

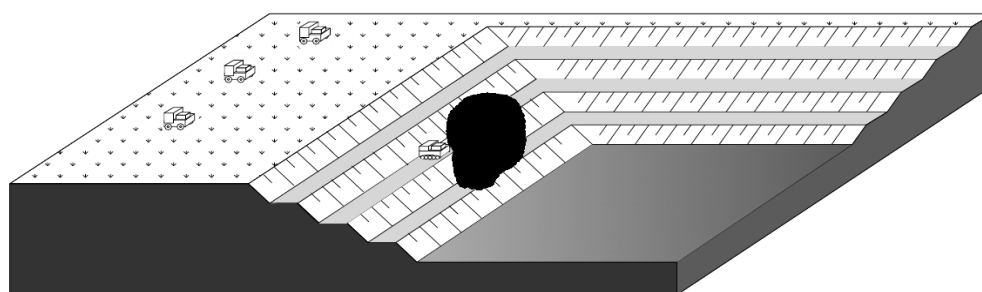


Рис. 3. Схема роботи установок при пилогазоподавленні епіцентру ПГХ в кар'єрі на стадії його зародження та формування

Високодинамічні реактивні пароводогазоповітряні струмені (швидкість 500-600 м/с, дальнобійність - 120-250 м, максимальний діаметр струменя - 60-120м)

прицільно направляють в епіцентр ПГХ та здійснюють його подавлення і нейтралізацію у період його зародження і формування (0-5000 мс).

Під час поширення ПГХ у атмосфері кар'єру (5-30 с) та виходу за його межі, технічний комплекс установок ТМС-65, що розташовані на навітряному борту кар'єру, утворюють пароводогазоповітряну завісу (рисунок 4) по всьому фронту факелу розповсюдження ПГХ. Установки можуть працювати також у режимі переслідування ПГХ.

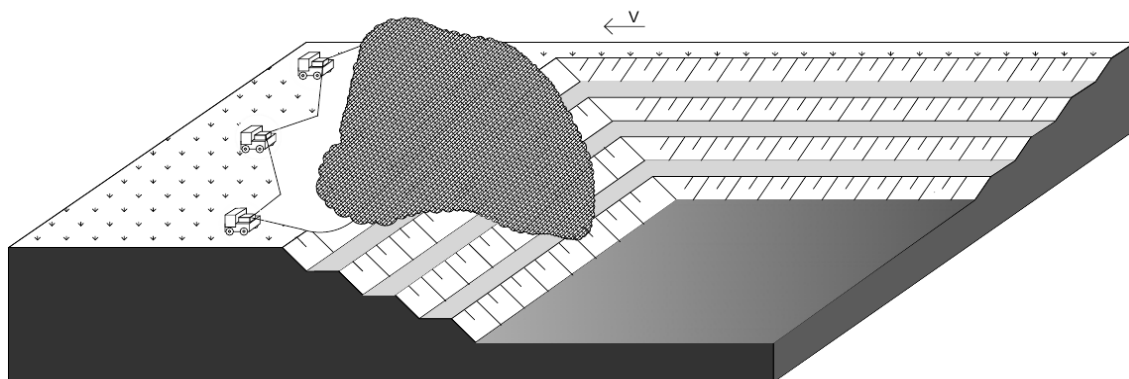


Рис. 4. Схема роботи установок ТМС-65 під час поширення ПГХ у атмосфері кар'єру та виходу за його межі

Використання даного способу захисту довкілля від пилогазової хмари при масових вибухах у кар'єрах дозволяє здійснювати локалізацію епіцентру ПГХ за температурним та динамічним факторами у момент його зародження і формування та утворювати пароводогазоповітряну завісу по всьому фронту факелу розповсюдження ПГХ, що забезпечує ефективну нейтралізацію шкідливого впливу ПГХ на довкілля та підвищує екологічну безпеку при вибухових роботах у кар'єрах.

Висновки. У роботі наведено спосіб захисту довкілля від пилогазової хмари при масових вибухах у кар'єрах, що дозволяє здійснювати локалізацію епіцентру ПГХ за температурним та динамічним факторами у момент його зародження, формування і поширення у атмосфері, що забезпечує ефективну нейтралізацію шкідливого впливу пилогазових викидів на довкілля.

Розглянуто класифікація технічних рішень боротьби з пилогазовими викидами при масових вибухах у кар'єрах.

Запропоновано технічний комплекс засобів для захисту довкілля від пилогазової хмари при масових вибухах у кар'єрах з використанням конверсійної військової техніки.

Список літератури

1. Зберовский А.В. Охрана атмосферы в экосистеме «карьер-окружающая среда-человек».- Дн-вск: РИО АП ДКТ, 1997. – 136 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.
Надійшла до редакції 15.04.2015*

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ

Приведены результаты исследований, направленных на повышение надежности аппаратуры газового контроля. Показано, что повысить быстродействие средств контроля возможно при одновременном использовании в анализаторах метана двух датчиков. Основной датчик должен быть высокостабильным, но относительно инерционным, например термokatалитический датчик, а вспомогательный - малоинерционный оптический или ультразвуковой. Приведена схема аппаратуры газового контроля с использованием двух датчиков метана и обоснованы их основные параметры.

Наведено результати досліджень, спрямованих на підвищення надійності апаратури газового контролю. Показано, що підвищити швидкість засобів контролю можливо при одночасному використанні в аналізаторах метану двох датчиків. Основний датчик має бути високостабільним, але відносно інерційним, наприклад термokatалітичний датчик, а допоміжний – малоінерційний оптичний або ультразвуковий. Наведено схему апаратури газового контролю з використанням двох датчиків метану й обґрунтовані їх основні параметри.

The results of researches, directed on the increase reliability apparatus gas control are resulted. It is shown that to promote the fast-acting of controls possibly at the simultaneous use in the analyzers of methane two sensors. A basic sensor must be highly stable, but relatively inertia, for example thermo-catalytic sensor, and auxiliary - little inertia optical or ultrasonic. The chart of apparatus gas control is resulted with the use two sensors methane and grounded them basic parameters.

Введение. Среди всех видов аварий особую опасность представляют взрывы метано-воздушных смесей и угольной пыли. Они приводят к групповым несчастным случаям со смертельным исходом, большим разрушениям горных выработок, оборудования и оснащения. Одним из наиболее опасных явлений, приводящим к образованию взрывоопасных газовых смесей, являются внезапные выбросы угля, породы и газа. При выбросах содержание метана в горной выработке за относительно короткий промежуток времени может достигать 100 %. Скорость нарастания содержания метана в выработке при этом иногда составляет 5 %/с [1].

Постановка проблемы. Для предотвращения взрывов метана и удушья рабочих при газодинамических явлениях особое значение имеет контроль содержания метана в рудничной атмосфере. В условиях шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным газодинамическим явлениям, анализаторы метана, предназначенные для использования в качестве средств газового контроля и отключения электроэнергии, согласно [2], должны обеспечивать время срабатывания защиты по объемной доле метана не более 0,8 с. Кроме того, для таких анализаторов дополнительно вводится требование ко времени срабатывания по скорости нарастания объемной доли метана, которое при скорости 0,5 %/с не должно превышать 2 с [2].

Анализ последних исследований и публикаций. К настоящему времени как в Украине, так и за рубежом накоплен значительный опыт разработки и эксплуатации средств автоматического газового контроля [3,4]. Но, несмотря на это, существующая быстродействующая аппаратура для шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным газодинамическим явлениям, не в полной мере соответствует требованиям [2].

Практически все анализаторы метана, используемые в системах автоматического газового контроля, основаны на относительно инерционном термokatалитическом методе измерения [3,4]. Уменьшение постоянной времени термokatалитических датчиков и использование дополнительных информационных признаков позволило в некоторой степени повысить быстродействие аппаратуры газового контроля, но окончательно данный вопрос не решен.

Анализ существующих способов контроля содержания метана, выполненный в [3,4], показал, что наибольшее быстродействие средств газового контроля может быть обеспечено при применении оптического абсорбционного и ультразвукового способов.

К недостаткам этих методов относится существенное влияние на результаты измерения температуры, давления, влажности, наличия углекислого газа и других газовых примесей. Однако основным фактором, который сдерживает применение этих способов измерения, является высокая запыленность рудничного воздуха в месте установки анализаторов.

Целью настоящей публикации является поиск решений, направленных на повышение быстродействия систем автоматического газового контроля.

Основные результаты исследования.

Очевидно, что наивысшее быстродействие оптического или ультразвукового датчика может быть обеспечено при установке источников и приемников излучения непосредственно в анализируемом газовом потоке. Однако в этом случае на источник и приемник излучения интенсивно осаждаются пыль, что приводит к значительным погрешностям измерения и в конечном итоге к нарушению работоспособности анализаторов. Учитывая то, что датчики быстродействующей аппаратуры газового контроля устанавливаются в местах интенсивного пылеотложения (призобойное пространство подготовительных выработок и места сопряжения очистных и подготовительных выработок), где концентрация пыли может достигать 500 мг/м^3 и более, процесс накопления пыли на незащищенных элементах может протекать весьма интенсивно, что практически исключает применение незащищенных от осаждения пыли чувствительных элементов.

Необходимость защиты источников и приемников излучения от загрязнения ведет к увеличению инерционности измерителей и усложнению их конструкции. Обычно в измерительных приборах, работающих в запыленной среде, источник и приемник излучения защищают при помощи нескольких цилиндрических или конических диафрагм, между которыми образуются карманы для

осаждения пыли [5]. Количество диафрагм и расстояние между ними обычно подбирают из условия отсутствия конвективного переноса запыленной анализируемой среды в карман с оптическим элементом. Наличие элементов защиты, с одной стороны, увеличивает постоянную времени датчиков, а с другой – усложняет процесс их периодического обслуживания. Все это обуславливает то, что до настоящего времени не удалось создать надежные, быстродействующие средства газового контроля с использованием оптического и ультразвукового методов измерения.

Альтернативным решением вопроса может быть создание анализаторов метана, в которых одновременно используются два датчика: основной – термокаталитический и вспомогательный малоинерционный – оптический или ультразвуковой.

Структурная схема одного из вариантов аппаратуры газового контроля с использованием двух датчиков метана приведена на рис. 1.

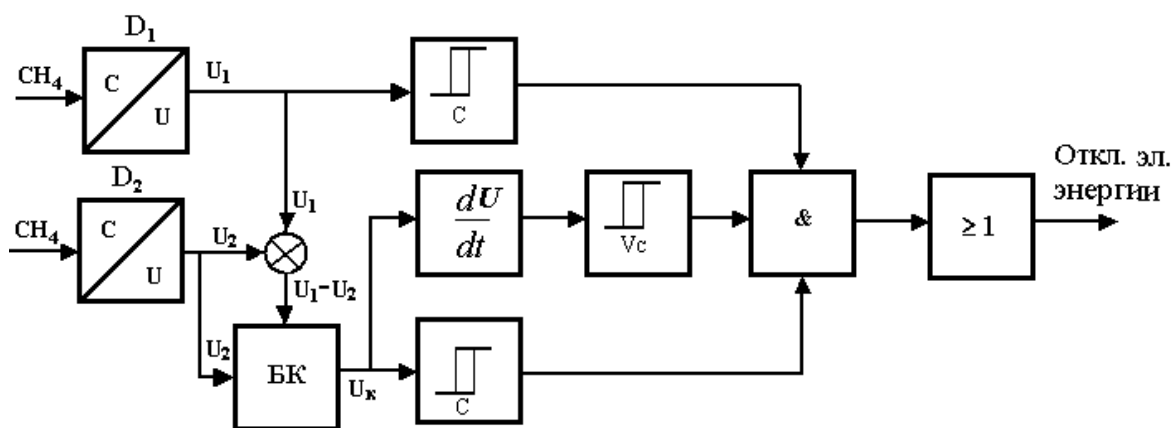


Рис. 1. Структурная схема быстродействующей аппаратуры газового контроля с малоинерционным датчиком

В данном случае высокостабильный но относительно инерционный термокаталитический датчик D_1 является основным, выходной сигнал которого используется для формирования сигнала телеизмерения, сигнала на отключение электроэнергии и корректировки выходного сигнала малоинерционного датчика D_2 . Датчик D_2 обеспечивает выдачу сигнала на отключение электроэнергии при достижении недопустимой концентрации метана и при недопустимой скорости изменения концентрации метана.

Отличительной особенностью аппаратуры, приведенной на рис. 1, является наличие корректирующего блока БК, который в зависимости от знака и величины напряжения рассогласования $\Delta U = U_1 - U_2$ с заданной постоянной времени осуществляет коррекцию выходного напряжения малоинерционного датчика D_2 .

В установившемся режиме работы при постоянной концентрации метана и отсутствии иных факторов, влияющих на величину выходного напряжения датчи-

ка D_2 , величина U_k практически равна напряжению U_1 . При медленном изменении величины напряжения U_2 , вызванного накоплением пыли на оптических элементах, изменением температуры, давления, относительной влажности, временным изменением параметров источника излучения и приемника в результате корректировки величину выходного напряжения датчика D_2 , величина U_k постоянно приводится в соответствие со значением выходного напряжения высокостабильного термокаталитического датчика D_1 . В случае быстрого изменения величины напряжения U_2 до недопустимого значения концентрации или с недопустимой скоростью, вызванного, например, газодинамическим явлением, вследствие инерционности процесса коррекции, выходное напряжение на выходе блока коррекции U_k практически повторяет изменения U_2 , что приводит к появлению сигнала на выходе пороговых устройств и срабатыванию системы защиты.

Для надежной работы рассмотренной быстродействующей аппаратуры газового контроля с малоинерционным датчиком важное значение имеет правильный выбор скорости коррекции выходного сигнала малоинерционного датчика D_2 . С одной стороны эта скорость должна позволять практически не снижать чувствительность аппаратуры при возникновении газодинамических явлений, а с другой – своевременно обрабатывать возможные изменения выходного сигнала вследствие воздействия неконтролируемых факторов.

С позиции обеспечения быстродействия анализаторов метана скорость коррекции необходимо выбирать на порядок меньше порога срабатывания по скорости нарастания объемной доли метана [6], что составляет 0,05 %/с.

Процессы изменения температуры, давления, относительной влажности, параметров источника излучения и протекают весьма медленно и не являются в данном случае лимитирующими. Поэтому, с позиции отработки возможных изменений выходного сигнала быстродействующего датчика вследствие воздействия неконтролируемых факторов, требуемое значение скорости коррекции в первую очередь определяется влиянием на выходной сигнал датчика пыли. Для оценки требуемого значения скорости коррекции рассмотрим оптический адсорбционный датчик с узкополосным источником излучения с длиной волны соответствующей максимуму поглощения метана.

Длины волн максимального поглощения, характерными для метана, являются 3,31 и 7,7 мкм. Связь между интенсивностью падающего потока излучения J и количеством энергии J_n , поглощенной бесконечно тонким слоем dx анализируемого газа в спектральном интервале $d\nu$ в соответствии с законом Бугера [7] имеет вид

$$J_n = -KJdx d\nu, \quad (1)$$

где ν – волновое число ($\nu = 1/\lambda$, λ – длина волны в мкм); K – коэффициент поглощения.

При постоянной длине волны излучения, толщине слоя смеси x с концен-

трацией метана C решение уравнения (1) имеет вид [7]

$$J_n = J_0(1 - \exp(-ACx)), \quad (2)$$

где A – коэффициент поглощения при длине волны λ , не зависящий от концентрации газа, характерный для молекулы поглощающего газа.

При контроле дозривных концентраций метана и расстоянии между источником и приемником излучения до нескольких дециметров выражение (2) может быть представлено в виде линейной зависимости

$$J_n = ACxJ_0.$$

Относительное значение поглощенной энергии в этом случае составляет

$$J_n / J_0 = ACx.$$

С учетом величины коэффициента поглощения для длин волн максимального поглощения 3,31 и 7,7 мкм [7] относительное значение поглощенной энергии при измерительной базе датчика 0,1 м доходит до 0,01% CH_4 .

Концентрация пыли в призабойном пространстве подготовительных выработок и в местах сопряжения лавы с подготовительной выработкой, где возможна установка быстродействующих анализаторов метана, согласно [8], может достигать 1000 мг/м^3 , а скорость ее изменения доходит до $100 \text{ мг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$. При анализе процесса поглощения оптического излучения пылью обычно исходят из известной зависимости ослабления света отдельной частицей пыли. Она базируется на классическом выражении, описывающем рассеивание света на частицах пыли [9], и представляет собой оптическое сечение частички

$$S_p = 2S_d - S_\theta = \frac{\pi \cdot d^2}{4} [2 - \varphi(z)],$$

где S_d – геометрическое сечение частички, м^2 ; S_θ – сечение, пропорциональное свету, рассеянному частичкой в область малых углов в границах угловой апертуры фотоприемника, которая составляет 2θ ; d – диаметр частички, м; $\varphi(z)$ – безразмерная функция рассеивания света на сферической частичке; $z = \rho \cdot \theta = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \theta$ – параметр дифракции; θ – угол наблюдения света, рассеиваемого относительно направления светового пучка, рад; λ – длина волны света, падающего на частичку, м.

Функция рассеивания света на сферической частичке сложным образом зависит от размера частички, длины волны излучения и угла наблюдения света, рассеиваемого относительно направления светового пучка [9]

$$\varphi(z) = 1 - I_0^2(z) - I_1^2(z),$$

где I_0, I_1 – шаровые функции Бесселя нулевого и первого порядка.

При малых углах наблюдения, характерных для адсорбционных датчиков, в случае, когда размеры частичек меньше или сопоставимы с длиной волны света, оптическое сечение частички практически определяется ее геометрическим сечением. Поэтому при разработке измерителей запыленности, основанных на оптическом абсорбционном методе, величину светового потока, поглощенного пылью, упрощенно принимают пропорциональной суммарной площади сечения частиц пыли, находящихся в измерительном объеме.

Взвешенная в воздухе пыль всегда является полидисперсной, причем дисперсный состав пыли в значительной мере зависит от расстояния до источника пылеобразования. В местах установки датчиков быстродействующих анализаторов метана в воздухе содержится значительное количество крупных частичек пыли с размерами до 60 мкм. Среднемедианный диаметр пыли в таких местах доходит до 10 мкм и более.

Расчеты показывают, что при концентрации угольной пыли 1000 мг/м³ со среднемедианным диаметром частичек пыли 10 мкм и измерительной базе датчика 0,1 м относительное значение поглощенной энергии J_n/J_0 составляет около 0,01. Таким образом, при максимально возможной запыленности рудничной атмосферы относительное значение поглощенной энергии практически соответствует поглощению излучения при объемном содержании метана 1%. В таком случае при скорости изменения концентрации пыли 100 мг/(м³·с) изменение выходного сигнала малоинерционного оптического анализатора может доходить до 0,1 %/с.

Учитывая возможную скорость изменения выходного сигнала малоинерционного оптического анализатора вызванную изменением концентрации пыли, скорость коррекции, выбранную нами с позиции обеспечения быстродействия анализаторов метана, следует несколько увеличить и принять ее 0,1 %/с.

При применении малоинерционного датчика метана, основанного на ультразвуковом методе измерения, на его выходной сигнал существенное влияние оказывают температура, давление, влажность, углекислый газ и другие газовые примеси. Наличие высокой концентрации пыли практически не влияет на скорость распространения звуковой волны. Поэтому при работе в сильно запыленной среде в этом случае необходимо только осуществлять периодическую очистку источников и приемников излучения от загрязнения.

Температура, атмосферное давление и влажность в месте установки газоанализаторов являются весьма медленно изменяющимися параметрами. Поэтому возможная величина скорости изменения выходного сигнала малоинерционного ультразвукового датчика, вызванная изменением указанных параметров, существенно меньше, чем у оптического адсорбционного датчика. В этом случае значение величины скорости коррекции выходного сигнала малоинерционного датчика целесообразно принять исходя из условия обеспечения быстродействия анализаторов метана.

Отличительной особенностью малоинерционного ультразвукового датчика является то, что при попадании в открытый измерительный объем посторонних предметов, например разлетающихся при внезапном выбросе кусков угля и породы, информационный сигнал изменяется в сторону снижения концентрации метана. В то же время в аналогичной ситуации в оптическом датчике информационный сигнал изменяется в сторону увеличения концентрации метана. При таком характере изменения выходного сигнала в случае попадания кусков угля и породы в измерительный объем ультразвукового датчика возможны случаи несрабатывания защиты. Ввиду этого при установке малоинерционных датчиков в зоне, где возможно воздействие на них продуктов выброса предпочтение должно отдаваться оптическим абсорбционным датчикам, поскольку наличие посторонних предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

Выводы. Повысить быстродействие и надежность аппаратуры газового контроля возможно при одновременном использовании в анализаторах метана двух датчиков, причем основным должен быть высокостабильный, но относительно инерционный термokatалитический датчик, а вспомогательный - малоинерционный оптический или ультразвуковой. При этом выходной сигнал основного датчика используется для формирования сигнала телеизмерения, сигнала на отключение электроэнергии и корректировки выходного сигнала малоинерционного датчика, а вспомогательный датчик обеспечивает выдачу сигнала на отключение электроэнергии при достижении недопустимой концентрации метана и при недопустимой скорости изменения концентрации метана. Учитывая возможную скорость изменения выходного сигнала малоинерционного датчика вызванную влиянием неконтролируемых параметров, скорость коррекции его выходного сигнала целесообразно принять 0,1 %/с.

При установке малоинерционных датчиков в зоне, где возможно воздействие на них продуктов выброса, предпочтение должно отдаваться оптическим абсорбционным датчикам, поскольку наличие посторонних предметов в их измерительном объеме однозначно приводит к срабатыванию системы защитного отключения.

Список литературы

1. Брюханов А.М. Научно-технические основы расследования и предотвращения аварий на угольных шахтах / А.М. Брюханов. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – 347 с.
2. ГОСТ-24032-80. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования, методы испытания: – М.: Госстандарт, 1980. – 34 с.
3. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы / Е.Ф. Карпов, И.Э. Биренберг, Б.И. Басовский – М.: Недра, 1984. – 285 с.
4. Голинько В.И. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт / В.И. Голинько, А.К. Котляров, В.В. Белоножко – Днепропетровск: Наука и образование, 2004. – 207 с.
5. Голинько В.И. Совершенствование методов и техники пылевого контроля / В.И. Голинько, В.Е. Колесник // Науковий вісник НГА України. –1998.– № 1. – С. 45-49.

6. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах: В 2 т. – К.: Держнаглядохоронпраці, 2003. – Т.1. – 480 с.; Т.2. – 416 с.
7. Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение / П.И. Бреслер. – Л.: Энергия, 1980. – 342 с.
8. Кирич Б.Ф. Борьба с пылевыведением в шахтах / Б.Ф. Кирич, В.П. Журавлев, Л.И. Рыжих – М.: Недра, 1983. – 213 с.
9. Шифрин К.С. Коэффициент рассеяния света на больших частицах / К.С. Шифрин // Известия АН СССР. – Серия геофизическая и географическая, 1950. – №1, 14. – С. 64-69.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 17.10.2014*

УДК 622.8:331.4:614.8

© Н.Н. Налисько

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ СОПРЯЖЕНИЯ ВЫРАБОТОК

Обоснована методика численного эксперимента определения коэффициента затухания ударной воздушной волны в сопряжениях каналов. По результатам численного эксперимента показана динамика ударно-волновой картины в области сопряжения выработок. Однозначно установлены значения коэффициента затухания в зависимости от давления во фронте ударной волны.

Обґрунтована методика чисельного експерименту визначення коефіцієнта загасання ударної повітряної хвилі в сполученнях каналів. За результатами чисельного експерименту показана динаміка ударно-хвильової картини у межах сполучення виробок. Однозначно встановлені значення коефіцієнта загасання залежно від тиску у фронті ударної хвилі.

The technique of numerical experiment determining the damping factor of the shock wave in the air interfaces of channels. According to the results of the numerical experiment shows the evolution of the shock-wave pattern in the coupling openings. Definitely set the value of attenuation factor depending on the pressure in the shock front.

Вступление. Основные поражающие факторы газовых взрывов в выработках шахтах и рудников (протяженных подземных сооружениях) являются тепловое воздействие и ударная воздушная волна (УВВ). Последняя распространяется по сети выработок на значительные расстояния и представляет основную опасность для персонала и горноспасателей, выполняющих работы по ликвидации аварий. Поэтому проблема установления достоверных параметров распространения ударных воздушных волн в конкретных условиях весьма актуальна.

Одной из задач определения параметров распространения ударной воздушной волны является установление степени ослабления ударной волны при её прохождении через сопряжения выработок, где может происходить изменение

направления распространения, изменение сечения выработки, ответвления части потока. Ослабления ударной волны (изменение амплитуды, скорости, время действия положительной фазы τ_+ , импульса) в большинстве исследований рассматривают как уменьшение избыточного давления во фронте волны. Степень уменьшения амплитуды волны выражается в виде коэффициента затухания (ослабления):

$$k_3 = \Delta P_2 / \Delta P_1, \quad (1)$$

где k_3 – коэффициент затухания; ΔP_1 , ΔP_2 – избыточное давление во фронте ударной волны до и после сопряжения выработок.

Для условий угольных шахт степень ослабления ударной волны на сопряжениях, в виде коэффициента затухания, исследовалась в Донецком и Карагандинском отделении ВНИИГД [1]. По результатам исследований, на основе шахтных экспериментов, были установлены эмпирические коэффициенты для некоторых видов сопряжений выработок. Для условий массовых взрывов при отбойке руды, результаты исследований распространения ударной волны в выработках рудников отражены в работах Гурина А.А., Малый П.С., Савенко С.К. Полученная методика выбора или расчета коэффициента затухания, основанная на эмпирических выражениях, используется в руководящих документах при расчете защитных подземных сооружений гражданской обороны [2].

Аналитические исследования в этом вопросе в последнее время были представлены в работах Донецкого НИИГД "Респиратор" [3] и Института угля и углехимии Сибирского отделения РАН совместно с ОАО "Сибирская угольная энергетическая компания" [4]. В результате этих исследований были получены расчетные коэффициенты затухания или эмпирические формулы расчета относительного давления для 13 типичных случаев сопряжения выработок.

Несмотря на значительный объем исследований, вопрос о степени ослабления ударной воздушной волны на сопряжениях выработок окончательно не решен, т.к. наблюдается значительные расхождения в величинах этих коэффициентов и закономерностях их изменений для различных условий. Например, для сопряжения двух выработок под прямым углом (Г-образный поворот) и одинаковых сечениях до и после сопряжения коэффициенты затухания составят: по экспериментальным данным [4] – 0,67; расчет [4] – 0,8; расчет [3] – 0,82-0,99. Аналогично для У-образного сопряжения при переходе УВВ в ответвление под острым углом: 0,42/0,40/0,61-0,66; для тупого угла: 0,3/0,28/0,53-0,7; крестообразное сопряжение, поворот под прямым углом: 0,16/0,2/0,42-0,50. В работе [3] проанализированы соотношения коэффициентов для 177 вариантов параметров 13-ти типов сопряжений. В некоторых случаях сходимость была удовлетворительной, но в большинстве случаев расхождения существенны.

Кроме этого, в руководящих документах по расчету защитных укрытий гражданской обороны [2] учитывается то, что при прохождении некоторых видов сопряжений, в относительно слабых УВВ амплитуда волны может увеличи-

ваться. Там же учитывается влияние на степень ослабления величина избыточного давления во фронте волны. Оба этих факта не отражены в нормативных документах для угольных шахт несмотря на то, что физически это единый процесс.

Цель работы. Исследование поведения фронта ударной воздушной волны при его распространении через сопряжение выработок, установление закономерностей изменения амплитуды волны на основании численного эксперимента в CFD модели газового потока в канале.

Изложение основного материала исследований. В настоящее время, наиболее перспективным методом изучения газодинамических процессов является математическое моделирование путем численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений газовой динамики. На основании этих методов разработаны эффективные CFD модели, позволяющие детально изучить физические процессы.

В работе, процесс распространения фронта ударной воздушной волны через сопряжение выработок рассмотрен на примере опытного участка Г-образного поворота выработки под прямым углом, с соотношением сечений первой и второй ветви равным единице. Выработка прямоугольного сечения размером 1х1 м, длина выработки до сопряжения 5 м – ветвь 1, после сопряжения 20 м – ветвь 2 (рис. 1). Ударная воздушная волна в ветви 1 генерируется источником мгновенного объемного взрыва в тупиковой части выработки длиной 1 м.

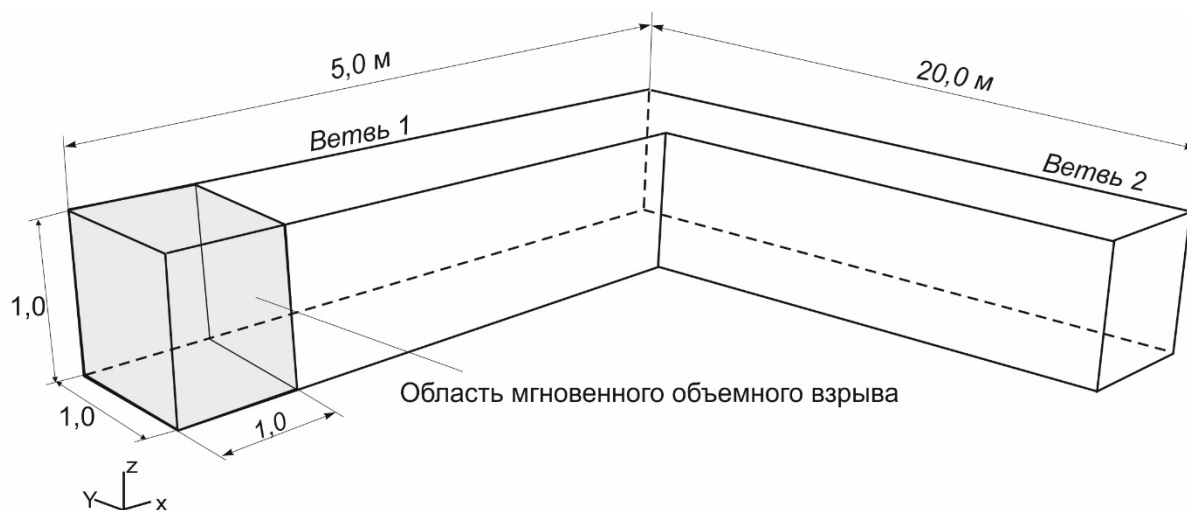


Рис. 1. Схема опытного участка сопряжения горных выработок

Для решения задачи используется система математического моделирования движения жидкости и газа FlowVision 2.5.4 [5]. В программном комплексе численная реализация задачи производится методом конечных объемов – методом интегрирования систем дифференциальных уравнений в частных производных. В качестве последних используется уравнения соответствующей модели

турбулентного внутреннего течения полностью сжимаемой среды, а именно:

– уравнение Навье-Стокса

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + \Delta(\rho V \otimes V) = -\nabla P + [(\mu + \mu_1)(\nabla V + (\nabla V)^T)] + S; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho V) = 0; \quad (3)$$

где $S = (\rho - \rho_{\text{нуд}})g + \rho B + R$;

– уравнение состояния

$$P_{\text{abs}} = \frac{\rho R_0 T_{\text{abs}}}{M}; \quad (4)$$

– уравнение сохранения энергии

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla(\rho V h) = \nabla \left(\left(\frac{\lambda}{c_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \nabla h \right) + Q; \quad (5)$$

где ∇ – оператор Гамильтона, Δ – оператор Лапласа, t – время, ν – коэффициент кинематической вязкости, ρ – плотность, P – давление, $\vec{v} = (v^1 \dots v^n)$ – векторное поле скоростей, c_p – удельная теплоемкость, λ – молекулярная теплопроводность, M – молекулярный вес, μ_t – турбулентная динамическая вязкость, Pr_t – турбулентное число Прандтля, R_0 – универсальная газовая постоянная, Sc – число Шмидта, Sc_t – турбулентное число Шмидта, Q – теплота, μ – молекулярная динамическая вязкость.

Неизвестные P и \vec{v} являются функциями времени t и координаты x , $x \in \Omega$, где $\Omega \subset R^n$, $n=2, 3$ – трехмерная область, в которой движется газ.

Уравнения (2)–(5) замыкаются уравнениями стандартной k - ϵ модели турбулентности.

Математическая постановка задачи следующая (рис. 2). Рассматривается течение полностью сжимаемой жидкости в прямоугольном канале постоянного сечения. Геометрия канала в плоскости XU имеет поворот под углом 90 град. Стенки канала абсолютно жесткие. Начальные условия: давление газа в канале $P_0=0,1$ МПа, скорость газа $v=0$ м/с, физические характеристики газа соответствуют атмосферному воздуху.

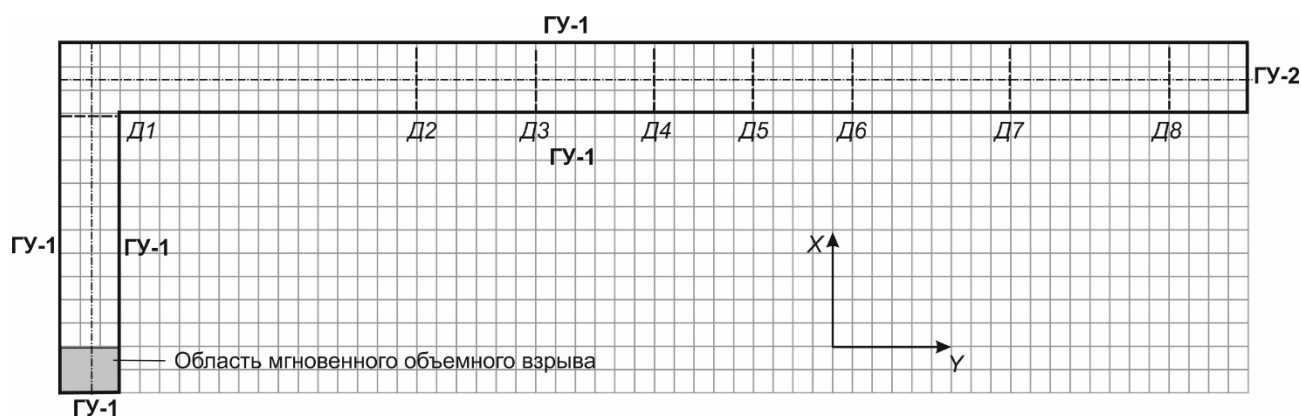


Рис. 2. Схема математической постановки задачи: ГУ-1– граничные условия стенки, ГУ-2– граничные условия свободный выход, Д1...Д8 – датчики

давления, регистрирующие давление на поперечной оси выработки

Источник объемного мгновенного взрыва расположен в тупиковой части ветви 1, на расстоянии 3 м от сопряжения. Расстояние устанавливалось из условия формирования устойчивого фронта ударной волны и минимизации размера расчетной области.

Для исследования процесса в системе FlowVision 2.5.4 был разработан вариант решения задачи (рис. 2). Контроль параметров распространения УВВ по каналу производился в 10 слоях (плоскостных сечениях): два слоя – вдоль продольных осей ветви 1, 2 и восемь поперечных слоев – датчики 1...8 (рис. 2). В этих слоях производилось построение графика и регистрация давлений в каждый шаг (итерация) по времени. Численное интегрирование уравнений массопереноса производился с помощью неявной разностной схемы расщепления.

На рис. 3 показаны этапы численного эксперимента – распространение ударной воздушной волны: а) вхождение ударной волны в сопряжение, б) переход прямой волны во вторую выработку, в) возникновение отраженной волны от стенки ветви 2 и формирование на её основе дополнительного фронта ударной волны в канале 2.

В случае небольших избыточных давлений отраженная на сопряжении волна может усиливать фронт, прошедший за сопряжение.

Как видно из эксперимента процесс имеет сильно выраженный ударно-волновой характер. При этом в ветви 2 возникает сложная волновая картина, связанная косым отражением падающих и отраженных УВВ. По этой причине, за сопряжением, максимум амплитуды во фронте ударной волны, возникает поочередно у левой и правой стенки (рис. 4).

С течением времени, распространяясь по выработке фронт выравнивается. Такое выравнивание может происходить на достаточно больших расстояниях. Например, для условий эксперимента и давления во фронте при входе в сопряжение (входное давление) 0,5 МПа расстояние составляет не менее 10 м, для 1 МПа не менее 20 м (рис. 5).

В ранее проведенных шахтных экспериментах (А.М. Чеховских, И.А. Пономарев, Н.Д. Зрелый), по результатам которых определяли коэффициент затекания (1), ΔP_1 и ΔP_2 измеряли за 2-3 м до сопряжения и через 3-4 м после сопряжения.

Как видно из численного эксперимента такой подход не совсем верно отражает степень влияния непосредственно сопряжения на уменьшение амплитуды и это происходит по нескольким причинам: 1) в зависимости от расстояния между точками измерения ΔP_1 и ΔP_2 коэффициент затухания будет меняться из-за изменения пути пройденного волной (изменяется объем вовлекаемого в движение воздушных масс); 2) на уменьшение амплитуды оказывает влияние шероховатость стенок выработки, поэтому при увеличении расстояния между точками замера или величины шероховатости стенок коэффициент затекания в большей степени будет состоять из влияния самой шероховатости, что не допустимо

по определению коэффициента; 3) сложная ударно-волновая картина за сопряжением выработок сильно влияет на точность измерения ΔP_2 особенно, как видно из численного эксперимента, вблизи поворота.

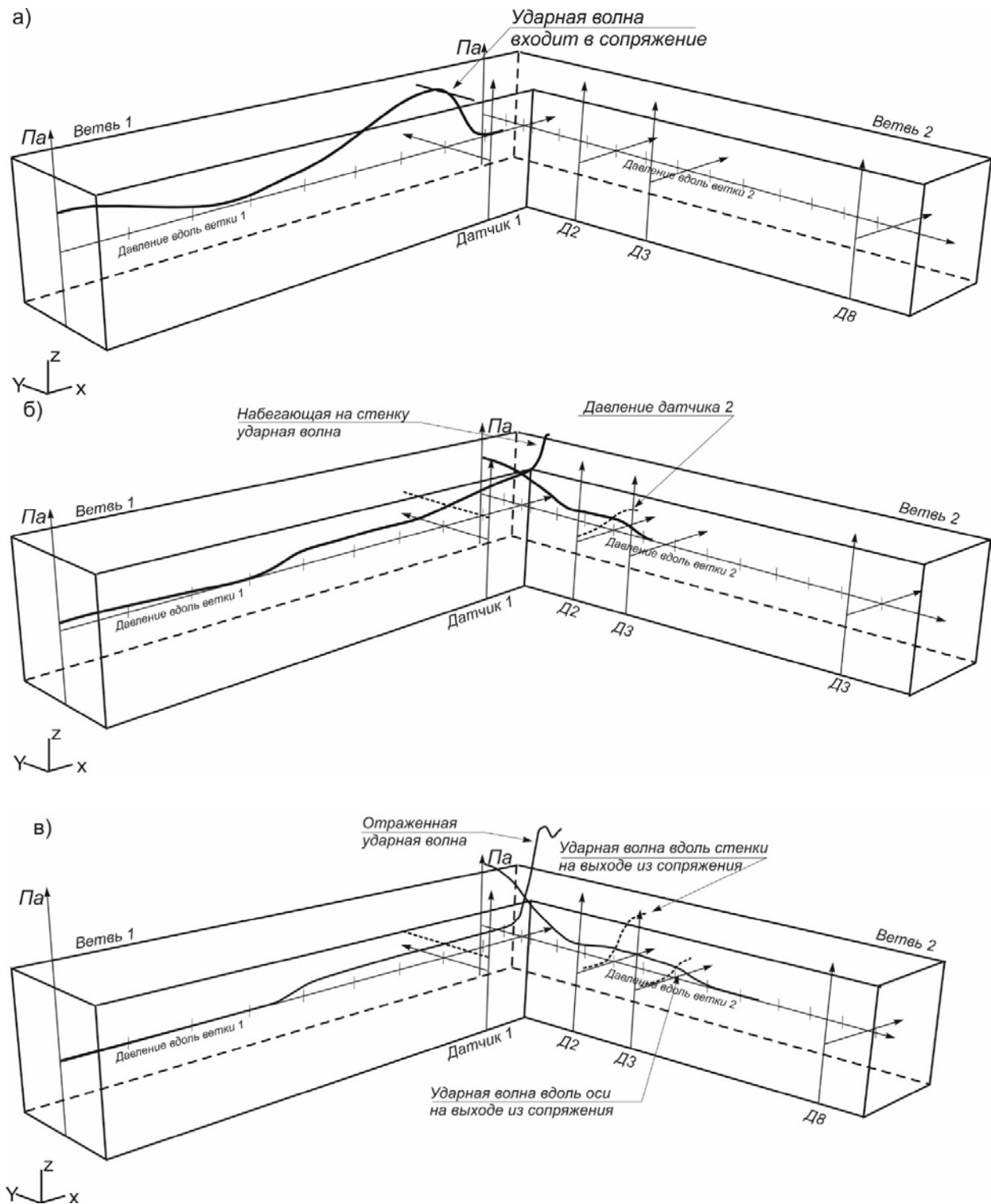


Рис. 3. Распространение ударной воздушной волны в виде продольных и поперечных двумерных графиков в различные моменты времени: а) 6 мс, б) 10 мс, в) 15 мс (датчики Д4..Д7 не показаны)

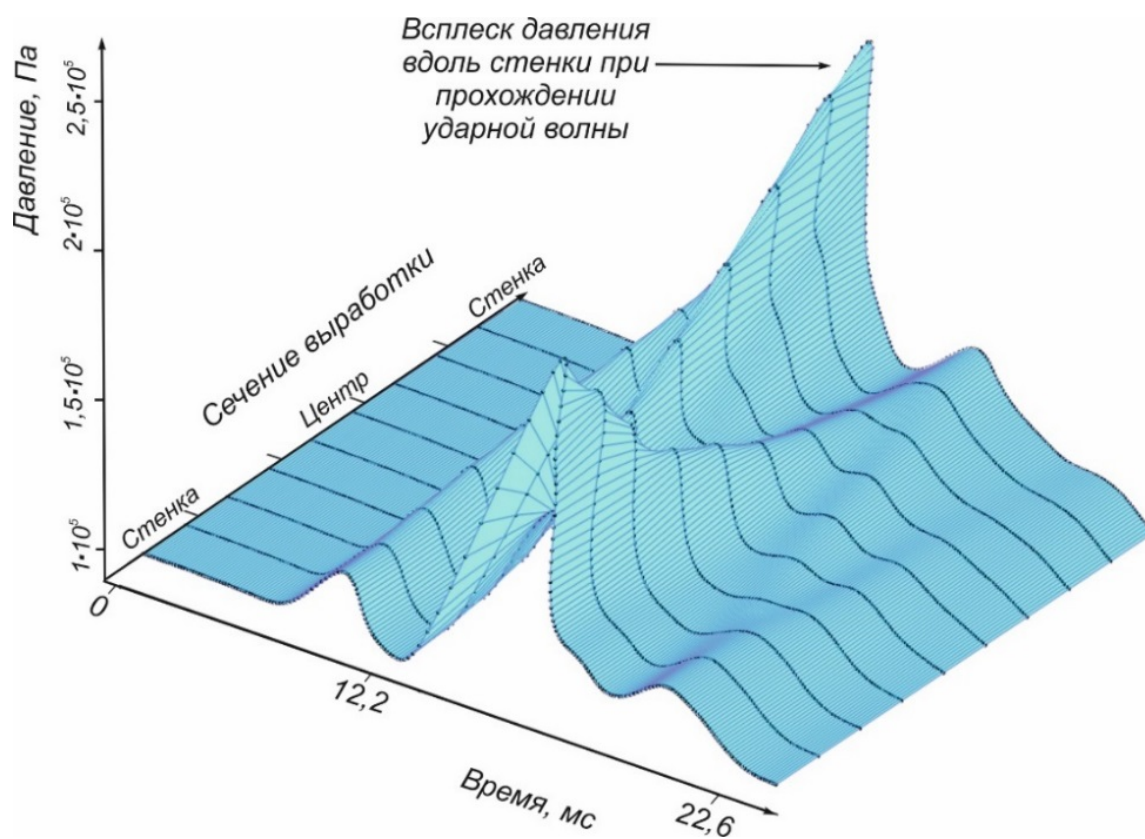


Рис. 4. Динамика поля избыточного давления в виде поверхности в сечении датчика Д2

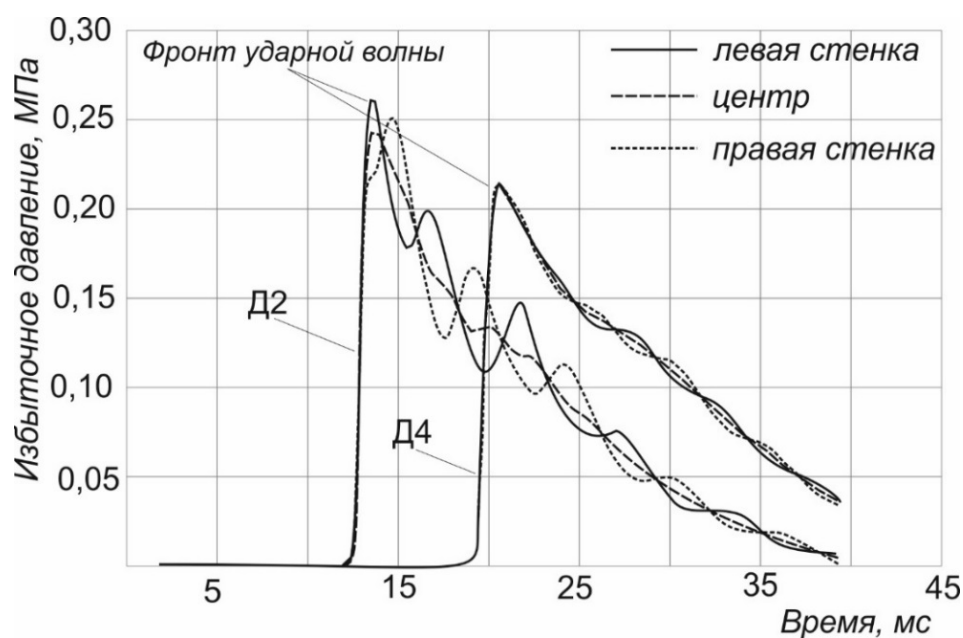


Рис. 5. Динамика выравнивания фронта ударной волны: избыточное давление за сопряжением выработок в сечении датчика Д2 и Д4

Датчики давления по своим физическим размерам в сравнении с поперечными размерами фронта УВВ являются точкой и зафиксировать максимум амплитуды, который распространяется в этой области под переменным углом к оси выработки весьма сложно. Перенос датчика в зону выработки, где фронт волны выравнивается до плоского (по оценкам на 10-20 м), невозможно т.к. по первым двум причинам влияние непосредственно сопряжения на ослабления волны станет меньшим чем влияние других факторов.

Все вместе эти причины вносят погрешность в определение коэффициента затухания, и поэтому однозначно определить его в этих условия невозможно, можно только в диапазоне. Вероятно, эти причины привели к существенным разбросам значений k_3 в ранее проведенных исследованиях.

В связи с этим возникает вопрос: как же определить коэффициент затекания что бы избежать влияния посторонних факторов? Первое предположение, которое возникает при рассмотрении этого вопроса, установить точки измерения входного и выходного давления на геометрической границе входа и выхода в сопряжение. Однако такой подход не работает в случае смежных границ т.к. течение газового потока является непрерывным и возникновение избыточного давления на границе входа сразу вызывает практически такие же изменения на выходе (рис. 6а, 6б). В случае сопряжения без ответвлений, граница входа и выхода вообще совпадает (рис. 6в).

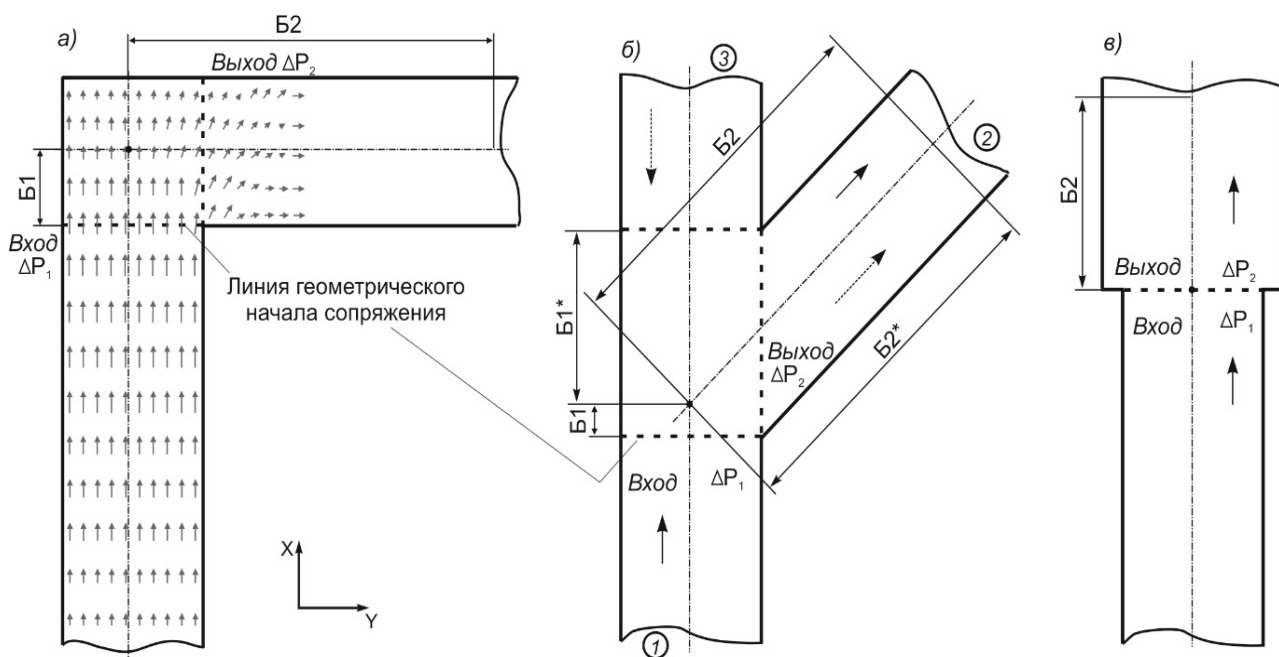


Рис. 6. Течение газового потока на смежных геометрических границах входа в сопряжение выработок и выхода из него: а) поворот 90° ; б) Y-образное сопряжение, показано два варианта направлений потока 1→2 и 3→2; в) прямое сопряжение без ответвлений

С целью нивелирования влияния факторов, не связанных с прохождением УВВ через сопряжения выработок, в работе предлагается следующая методика численного эксперимента. Основная идея методики — это определение отношения величины амплитуды УВВ после прохождения сопряжения, к величине амплитуды в параллельном эксперименте, где УВВ проходит такой же путь на линейном участке выработки, в идентичных условиях, но без сопряжения, т.е. без изменения направления, сечения, ответвлений и др. факторов характерных для сопряжения (рис. 7). Идентичные условия в параллельном опыте подразумевают условия выработки за сопряжением (ветви 2). Таким образом будет выделено чистое влияния сопряжения на ослабления амплитуды.

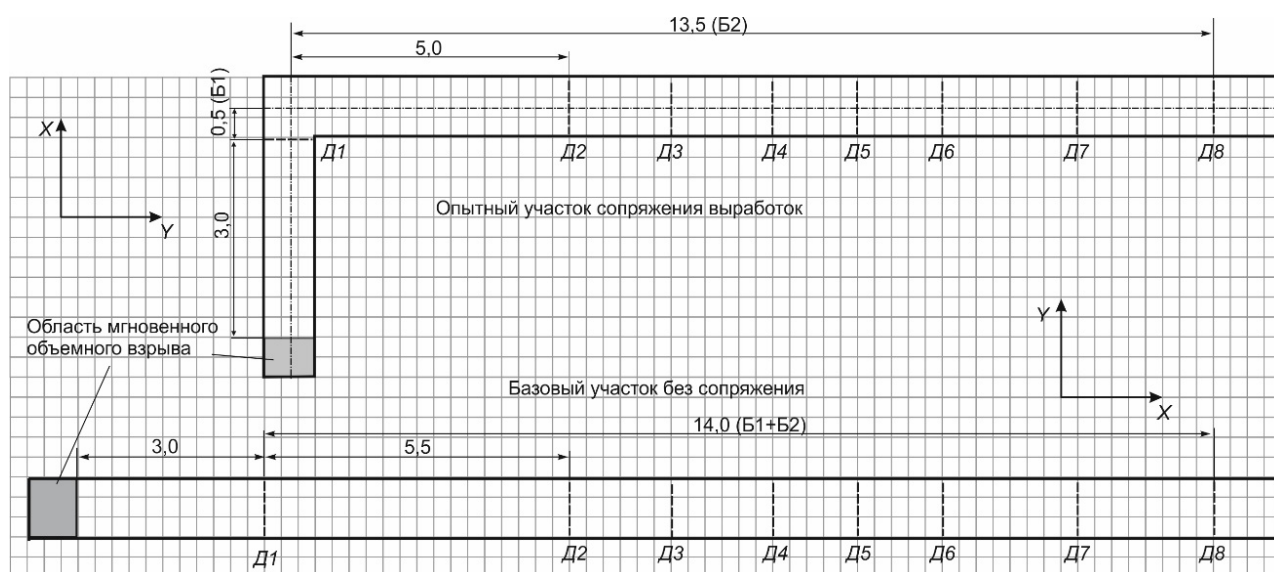


Рис. 7. Схема проведения параллельного эксперимента для установления степени влияния сопряжения на ослабления ударной воздушной волны

Коэффициент ослабления в этом случае определяется из соотношения:

$$k_{\text{зат.}} = \Delta P_2^{\text{опыт}} / \Delta P_2^{\text{база}}, \quad (2)$$

где $\Delta P_2^{\text{опыт}}$ – избыточное давление во фронте ударной волны после прохождения через сопряжения выработок; $\Delta P_2^{\text{база}}$ – избыточное давление во фронте в параллельном эксперименте (ударная волна распространяется в аналогичных условиях, но без сопряжения).

Для реализации этой методики введены следующие понятия (рис. 6): линия входа ударной волны – это линия геометрического начала сопряжения, база – это длина пути, пройденная УВВ в границах сопряжения и после него на некоторое расстояние. Базовое расстояние состоит из двух частей (измеряется по осям выработок): расстояния от геометрического начала сопряжения до точки пересечения осей выработок (B1, B1*) и расстояния от точки пересечения осей

выработок до границы базового участка (Б2, Б2*). Это же расстояние устанавливаются в параллельном численном эксперименте (рис. 7). На участке Б2 производится регистрация амплитуды УВВ при помощи нескольких датчиков. Датчик – это точка в которой регистрируется распределения параметра в поперечной плоскости, в каждый момент времени эксперимента. В связи со сложной волновой картиной и дискретном течении численного эксперимента во времени, на участке Б2 располагается несколько датчиков на трех разных расстояниях (Д2–Д8). Это позволяет зарегистрировать пространственно-временное поле давления в выработке, затем путем статистической и графической обработки выделить фронт УВВ и амплитуду избыточного давления на этом участке (рис. 4, 5).

Датчик Д1 служит для регистрации входного давления во фронте УВВ ($\Delta P_{вх}$). В параллельных экспериментах значение $\Delta P_{вх}$ устанавливается одинаковым. Так же устанавливаются идентичными условия в выработке до сопряжения. Это дает возможность производить сравнения результатов экспериментов.

Таким образом, по приведенной методике было выполнено несколько серий численных экспериментов для входящего значения избыточного давления в ударной волне $\Delta P_{вх} = 0,093; 0,185; 0,527; 0,784; 1,14$ МПа (значения зафиксированы датчиком Д1). В этих сериях была произведена регистрация избыточного давления во фронте УВВ для эксперимента на опытном участке и в параллельном базовом эксперименте. На основании этого, для каждого опыта и датчика был определен коэффициент затухания (2). Данные сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты серии численных экспериментов с избыточным давлением во фронте УВВ $\Delta P_{вх} = 0,784$ МПа

Датчик	База, м	Выходное макс. давление после сопряжения, Па	Выходное макс. давление на прямолинейном участке (база), Па	k_3	Размах амплитуды давления в поперечном сечении выработки
Д2	5,5	361352	454530	0,795	0,84
Д3	7,5	310564	392621	0,791	0,93
Д4	9,5	275509	347864	0,792	0,98
Д5	10,5	263035	332534	0,791	0,99
Д6	11,5	250364	312955	0,800	1,00
Д7	13,0	212302	258904	0,820	1,00
Д8	14,0	199465	242658	0,822	1,00
	Среднее			0,801	

Флуктуации значений k_3 по данным различных датчиков (табл. 1) вызваны дискретностью численного счета (рис. 8). Величина погрешности, вызванная

этим флуктуациями, была оценена в дополнительных экспериментах, где на одной точке регистрации устанавливалась серия датчиков с шагом 0,01 м: один в соответствующей точке и по три датчика до и после точки регистрации, всего 7 датчиков. В обычных экспериментах эти флуктуации нивелируются путем определения среднего значения k_3 . Погрешность расчета не превышает 1%

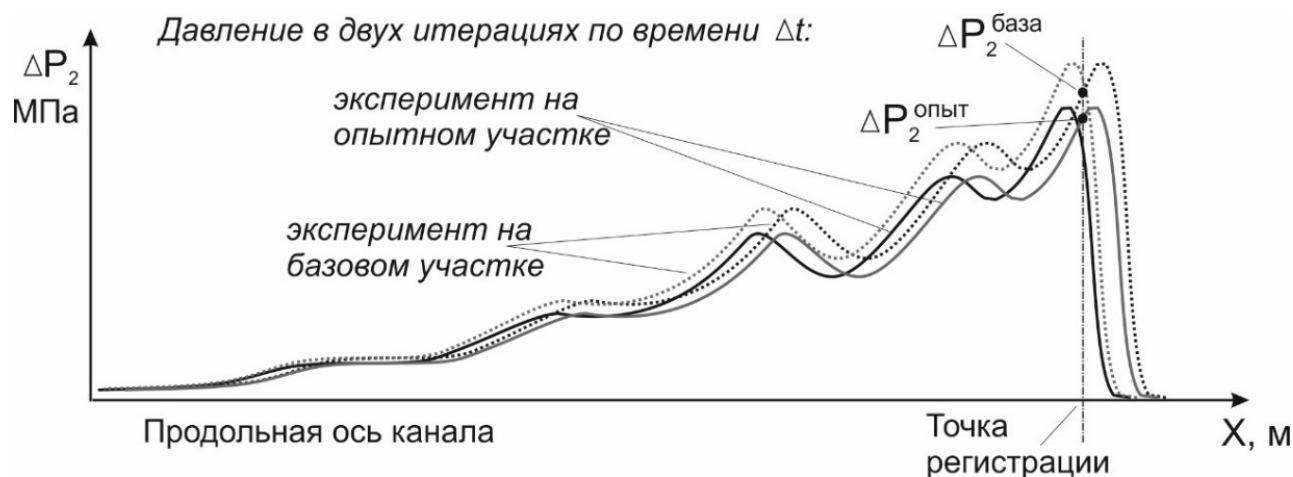


Рис. 8. Схема возникновения флуктуация в численном эксперименте

В табл. 1 величина размаха амплитуды УВВ показывает соотношения минимального ее значения к максимальному в поперечном сечении выработки, что характеризует степень выравнивания фронта относительно ее оси. При значении 1,0 фронт становится плоским.

Значения коэффициента затухания в остальных сериях численного эксперимента представлены в табл. 2. Для сравнения, в табл. приведены k_3 по данным предыдущих исследований.

Таблица 2

Результаты серии численных экспериментов для сопряжения каналов одинакового сечения, под углом 90^0

Входное давление, $\Delta P_{вх}$ МПа	k_3	Значения k_3 по данным ранее проведенных исследований		
		[1, 3]	[4]–эксперимент	[4]–расчет
0,093	0,96	0,82–0,99	0,67	0,80
0,185	0,95			
0,527	0,87			
0,784	0,81			
1,140	0,74			
2,030	0,65			

Как видно из табл. 2 предложенная методика однозначно определяет степень ослабления УВВ в местах сопряжения выработок и выявляет зависимость коэффициента затухания от величины избыточного давления во фронте волны. Причем с уменьшением избыточного давления степень ослабления волны уменьшается. Это подтверждается проведением параллельного численного эксперимента – течение потока газа без волновых возмущений.

Для возможности использования полученных результатов в условиях произвольных значений $\Delta P_{вх}$ найдена функциональная зависимость $k_3 = f(\Delta P_{вх})$ (достоверность аппроксимации $R^2=0,997$):

$$k_3 = 0,052\Delta P_{вх}^2 - 0,276\Delta P_{вх} + 0,994$$

Выводы. Разработана методика численного эксперимента определения коэффициента затухания УВВ по падению избыточного давления, при ее распространении через сопряжения каналов. Методика позволяет выделить влияние только сопряжения и нивелировать влияние других факторов на степень ослабления волны. По результатам численного эксперимента показана динамика ударно-волновой картины в области сопряжения выработок. Однозначно установлены значения k_3 в зависимости от давления во фронте ударной волны.

Автор выражает благодарность д.т.н., проф. Поздееву С.В. за предоставленное, для исследований, лицензионное АРМ FlowVision 2.5.4 на базе Академии пожарной безопасности им. Героев Чернобыля МЧС Украины.

Список літератури

1. Греков С.П. Расчет коэффициентов затухания воздушных ударных волн в горных выработках шахт/ С.П. Греков, И.Н. Зинченко// Горноспасательное дело.– 2012.– Вып. 49.– С. 10-14;
2. СНиП 2.01.54-84 Защитные сооружения гражданской обороны в подземных горных выработках/ Минземстрой России — М.: ГУП ЦПП, 1998. — 20 с.
3. Агеев В.Г. Расчет параметров воздушных ударных волн в сети горных выработок/ В.Г. Агеев // Горноспасательное дело.– 2014.– Вып. 51.– С. 7-15;
4. Палеев Д.Ю. Ударные волны при взрывах в угольных шахтах. Библиотека горного инженера. Т. 6. Промышленная безопасность [Текст] / Д.Ю. Палеев, В.Н. Костеренко, И.М. Васенин.– М.: Издательство «Горное дело»; ООО «Киммерийский центр», 2011.– 312 с.
5. Аксенов А.А. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision [Текст]/ А.А. Аксенов, В.И. Похилко, А.А. Дядькин, А. Сельвачев. – Москва: ООО “ТЕСИС”, 2007. – 265 с;

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Соболевим В.В.
Надійшла до редакції 27.11.2014*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

У статті пропонується методика визначення основних параметрів вентиляційної системи при описі характеристики вентилятора місцевого провітрювання поліномами першого і другого ступеня.

В статье предлагается методика определения основных параметров вентиляционной системы при описании характеристики вентилятора местного проветривания полиномами первой и второй степени.

In the article the method of determination basic parameters of a vent system is offered at description of description ventilators of local ventilation of the first and second degree polynomials.

Состояние вопроса. Для обеспечения подачи воздуха в подготовительный забой тупиковой выработки применяется вентиляционная система местного проветривания, основными составляющими которой являются вентилятор местного проветривания (ВМП) и вентиляционный трубопровод. Основными расчетными технологическими параметрами при выборе оборудования являются расход воздуха, диаметр и длина трубопровода. При этом проектирование систем вентиляции тупиковой выработки должно осуществляться согласно [1]. Однако данное руководство не учитывает экономические показатели вентиляционных систем местного проветривания, что приводит к необходимости проведения аналитических исследований для определения основных параметров вентиляционной системы.

Целью данной работы является разработка методики определения параметров вентиляционных систем местного проветривания с учетом технико-экономических показателей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

- определить коэффициент утечек воздуха гибкого трубопровода в зависимости от его длины;
- описать характеристику ВМП полиномами первой и второй степени;
- разработать математическую модель вентиляционной системы тупиковой выработки с учетом работы ВМП и затрат на обслуживание системы вентиляции местного проветривания.

При нагнетательном способе проветривания тупиковой выработки напорная депрессия трубопровода определяется формулой [2]

$$h_{mp} = R_{mp} Q_в Q_{zn} + v_{cp}^2 \rho / 2,$$

где $R_{тр}$ – аэродинамическое сопротивление трубопровода, $\frac{H \cdot c^2}{m^8}$; $Q_в$ – подача

ВМП; Q_{zn} – расход воздуха в призабойном пространстве тупиковой выработки, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_3 – расход воздуха, поступающего в призабойное пространство выработки, $\text{м}^3/\text{с}$; v_{cp} – средняя скорость движения воздуха на выходе из трубопровода, $\text{м}/\text{с}$; ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Аэродинамическое сопротивление трения круглого трубопровода [1] определяется по формуле

$$R_{mp} = 6,48\alpha l_{mp} / d_{mp},$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления трения, $\frac{H \cdot c^2}{\text{м}^4}$; l_{tp} – длина трубопровода (участка трубопровода), м; d_{tp} – диаметр трубопровода, м.

Зависимость между $Q_в$ и Q_3 определяется выражением

$$Q_в = Q_{zn} K_{yt},$$

где k_{yt} – коэффициент утечек воздуха.

Коэффициент утечек воздуха гибкого трубопровода типа М, используя материалы Руководства [1], можно описать уравнением

$$K_{yt} = 1,04 + 0,0005l_{mp} \quad (1)$$

Депрессия определяется

$$h_{mp} = 6,48 \frac{\alpha l_{mp}}{d_{mp}^5 (1,04 + 0,0005l_{mp})} Q_{zn}^2 + \frac{8\rho Q_{zn}^2}{\pi^2 d_{mp}^4}.$$

Характеристика ВМП описывается уравнением

$$h_в = a - bK_{yt}^2 Q_{zn}^2, \text{ даПа}$$

где a, b – коэффициенты формулы, описывающей характеристику ВМП.

Математическая модель вентиляционной системы местного проветривания

$$6,48 \frac{\alpha l_{mp}}{d_{mp}^5} (1,04 + 0,0005l_{mp}) Q_{zn}^2 + \frac{8\rho Q_{zn}^2}{\pi^2 d_{mp}^4} = a - b(1,04 + 0,0005l_{mp})^2 Q_{zn}^2. \quad (2)$$

Характеристика ВМП ВМЦ-6 при угле наклона лопаток направляющего аппарата $\theta = 30^\circ$ описывается формулой

$$h_в = 750 - 9,375Q_в^2, \text{ даПа}$$

При известных длине и диаметре трубопровода при работе ВМЦ-6, расход воздуха, поступающего в призабойное пространство тупиковой выработки определяется при решении уравнения (2).

При $l_{tp} = 500$ м, $Q_{zn} = 6,4$ $\text{м}^3/\text{с}$, $d_{tp} = 0,8$ м.

Длину трубопровода, на конец которого ВМП может подать заданный расход воздуха, а также диаметр при заданных других параметров также определяются при решении уравнения (2).

При работе ВМП ВМЦ-6 диаметре трубопровода 0,8 м в призабойное про-

странство расход воздуха $6 \text{ м}^3/\text{с}$ будет поступать при длине трубопровода $l_{\text{тр}} = 0,75 \text{ м}$

Критерием оптимального диаметра трубопровода может быть минимальная стоимость электроэнергии, затрачиваемой на продвижение воздуха по трубопроводу в сумме с затратами на расходы, связанные с амортизацией и ремонтом трубопровода за рассматриваемый период времени.

Стоимость электроэнергии, затрачиваемой на проветривание тупиковой выработки, определяется по формуле [3]

$$c_{\text{эл}} = \frac{Q_{\text{в}} h_{\text{в}}}{1000 \eta_{\text{в}}} Tc$$

где $Q_{\text{в}}$ – дебит вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$; $h_{\text{в}}$ – депрессия трубопровода, Па; $\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора; T – число часов работы вентиляторов за рассматриваемый период; c – стоимость 1 кВт·ч, потребляемой электроэнергии.

Стоимость 1 м прорезиненного трубопровода при диаметре 0,4; 0,6; 0,8 м.

$$c_{\text{мп}} = a_0 + a_1 d_{\text{мп}} + a_2 d_{\text{мп}}^2.$$

Стоимость амортизации и ремонта трубопровода

$$\left(a_0 + a_1 d_{\text{мп}} + a_2 d_{\text{мп}}^2 \right) \frac{l_{\text{мп}} r}{100},$$

где r – % от стоимости трубопровода затрат на амортизацию и ремонт.

При определении оптимального диаметра решается уравнение

$$\frac{d(c_{\text{эл}} + c_{\text{мп}})}{dd_{\text{мп}}} = \left(\left(\frac{6,48 l_{\text{мп}} Q_{\text{зн}}^3 (1,04 + 0,0005 l_{\text{мп}})^2}{d_{\text{мп}}^5} \right) + \frac{9,86 \rho Q_{\text{зн}}^3 (1,04 + 0,000 l_{\text{мп}})}{d_{\text{мп}}^4} \right) \frac{Tc}{1000 \eta} + \frac{(a_0 + a_1 d_{\text{мп}} + a_2 d_{\text{мп}}^2)}{100} = 0$$

или критическое значение диаметра определяется при решении уравнения

$$\frac{A_1}{d_{\text{мп}}^6} + \frac{A_2}{d_{\text{мп}}^5} + A_3 d_{\text{мп}} + A_4 = 0,$$

где $A_1 = -\left(32,4 l_{\text{мп}} Q_{\text{зн}}^3 K_{\text{ум}}^2 \right) \frac{Tc}{1000 \eta}$; $A_2 = -\left(39,44 \rho Q_{\text{зн}}^3 K_{\text{ум}} \right) \frac{Tc}{1000 \eta}$,

$$A_3 = \frac{2a_2 l_{\text{мп}} r}{100}; A_4 = \frac{a_1 l_{\text{мп}} r}{100}.$$

Найденное значение диаметра при решении уравнения обеспечит минимальное значение функции $d(d_{\text{тр}})$, так как вторая производная $f''(d_{\text{тр}}) > 0$.

Характеристика ряда осевых вентиляторов описывается уравнением

$$h_{\text{в}} = b_0 - b_1 Q_{\text{в}}.$$

Характеристика ВМП ВМ-5 при угле наклона лопаток 0° колеса вентилятора описывается уравнением

$$h_{\text{в}} = 627 - 120 Q_{\text{в}}.$$

Математическая модель вентиляционной системы местного проветривания в этом случае будет в виде

$$\frac{6,48\alpha l_{mp}}{d_{mp}^5} K_{ym} Q_{zn}^2 + \frac{8\rho Q_{zn}^2}{\pi^2 d_{mp}^4} = b_0 - b_1 K_{ym} Q_{zn}. \quad (3)$$

Решение уравнения (3) позволяет определить один из параметров (Q_{zn} , $l_{тр}$, $d_{тр}$) при известных двух других.

Если используется ВМП, ВМ-5 и коэффициент утечек воздуха определяется уравнением (1), то при $l_{тр} = 200$ м и $d_{тр} = 0,8$ м $Q_{zn} = 4,12$ м³/с.

При использовании того же вентилятора по трубопроводу с диаметром 0,8 м расход воздуха на конец трубопровода $Q_{zn} = 3$ м³/с можно подать при длине трубопровода $l_{тр} = 887,27$ м.

При использовании того же вентилятора расход воздуха $Q_{zn} = 3,5$ м³/с на длину $l_{тр} = 500$ м можно подать по трубопроводу с диаметром $d_{тр} = 0,48$ м.

При работе на трубопровод ВМП – ВМ-5 при угле наклона лопаток рабочего колеса вентилятора оптимальная величина диаметра трубопровода определится при решении уравнения

$$\frac{d(c_{эл} + c_{mp})}{dd_{mp}} = \left(\left(\frac{6,48l_{mp} Q_{zn}^2 K_{ym}^2}{d_{mp}^5} \right) + \frac{9,88\rho Q_{zn}^3 K_{ym}}{d_{mp}^4} \right) \frac{TC}{1000\eta} + \frac{(a_0 + a_1 d_{mp} + a_2 d_{mp}^2) l_{mp} r}{100} = 0.$$

Критическое значение диаметра трубопровода будет и критическим, так как $f''(d_{тр}) > 0$.

Вывод. Предлагаются методики определения основных параметров вентиляционной системы при описании характеристики ВМП полиномами первой и второй степени.

Используются статистические материалы описания депрессии гибкого трубопровода для получения аналитического описания характеристики вентилятора необходимого для аналитических исследований вентиляционной системы местного проветривания.

Материалы могут использоваться при вентиляционных расчетах проектными организациями и на действующих шахтах.

Список литературы

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – М.: Недра, 1975.
2. Рудничная вентиляция: Справочник / Под ред. К.З. Ушакова. – М.: «Недра», 1988. – 440 с.
3. Ушаков К. З., Бурчаков А. С., Пучков Л. А., Медведев И. И. Аэрология горных предприятий. М.: – Недра, 1987. – 421 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 27.11.2014

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА АЭРОИОННОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИЯХ

Рассмотрен пакет программ для расчета аэроионного режима в помещениях на базе численных моделей. Модели основываются на применении фундаментальных уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса.

Розглянуто пакет програм для розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях на базі двовірних чисельних моделей. Моделі ґрунтуються на застосуванні фундаментальних рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу.

A new code to simulate the dynamics of ion dispersion in rooms is described. This code uses numerical integration of fluid dynamics, electrostatic and mass transfer equations.

Постановка проблемы. В настоящее время значительное внимание привлекает проблема обеспечения необходимых параметров микроклимата в рабочих помещениях. Увеличилось число научных исследований посвященных проблеме обеспечения оптимального аэроионного режима в помещениях и рабочих зонах [1,2-4]. Однако, при проведении таких исследований определился круг нерешенных задач и, в частности, эта проблема разработки эффективных методов расчета аэроионного режима. Суть данной проблемы заключается в том, что проектировщику нужны методы расчета поля концентрации аэроионов в помещении с учетом таких факторов как размещение мебели, оборудования, режима вентиляции и т.д. С другой стороны для проектировщика крайне важно получать расчетные данные о распределении аэроионов в помещении, в рабочих зонах очень быстро, при использовании компьютеров малой и средней мощности. Таким образом, создание таких методов расчета является актуальной задачей в области охраны труда, экологической безопасности.

Анализ публикаций. В настоящее время в Украине накоплен определенный опыт по разработке методов расчета аэроионного режима в помещениях. Для такого расчета используются аналитические модели [2-4]. Как известно, данные модели позволяют прогнозировать концентрацию аэроионов без применения компьютеров и быстро получать необходимые прогнозные данные. Это создает удобство для инженеров. Однако, с другой стороны аналитические модели не могут учесть наличие мебели, оборудования в помещении и т.д. Другим направлением является разработка численных моделей и в первую очередь CFD моделей [1]. Эти модели имеют более широкий рабочий диапазон и позволяют учесть комплекс физических факторов, влияющих на формирование концентрационного поля аэроионов в помещениях, рабочих зонах.

Целью данной работы является описание проблемно-ориентированного пакета прикладных программ, разработанного для прогноза аэроионного режима в помещениях и в рабочих зонах на базе CFD моделей. Данный пакет позво-

ляет учесть важные физические факторы такие как: режим вентилирования помещения, наличие мебели, положение ионизатора и т.д.

Уравнения модели. Основой разработанного пакета программ является комплекс математических моделей, описывающих перенос аэроионов в помещении под действием ряда физических факторов. Ниже рассматриваются эти уравнения. Для учета процесса конвективного и диффузионного переноса отрицательных аэроионов используется уравнение [1]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u + bE)C}{\partial x} + \frac{\partial(v + bE)C}{\partial y} = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \alpha CB - CD + \\ & + \sum Q_c(t) \delta(x - x_c) \delta(y - y_c), \end{aligned} \quad (1)$$

где C, B, D – концентрация отрицательных, положительных аэроионов и частиц пыли соответственно; u, v – компоненты вектора скорости движения воздушного потока в помещении; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты диффузии; t – время; α – скорость рекомбинации ионов, имеющих различную полярность; β – скорость рекомбинации ионов с частицами пыли; Q_{Ci} – интенсивность эмиссии отрицательных ионов (ионизатора) в соответствующих точках с координатами x_c, y_c ; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – дельта-функция Дирака; b – коэффициент мобильности ионов; E – напряженность электрического поля.

Здесь ось Y направлена вертикально вверх.

Для моделирования миграции ионов в электрическом поле E используется уравнение [1]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = \frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (2)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость; q_e – плотность объемного заряда.

От уравнения (2) можно перейти к скалярному потенциалу, если учесть такую зависимость

$$E_x = -\frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial \phi}{\partial y}. \quad (3)$$

Тогда получим уравнение Пуассона следующего вида [1]

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (4)$$

где $q_e = -eC(x, y)$, $C(x, y)$ – концентрация отрицательных аэроионов; ϕ – скалярный потенциал; e – элементарный заряд. На базе данного уравнения

осуществляется моделирование электрического поля.

Процесс распространения положительных ионов и пыли в помещении рассчитывается на базе уравнений переноса вида (1):

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial uB}{\partial x} + \frac{\partial vB}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial B}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial B}{\partial y} \right) - \quad (5)$$

$$- \alpha CB - \beta BD + \sum Q_B(t) \delta(x - x_B) \delta(y - y_B),$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial D}{\partial y} \right) + \quad (6)$$

$$+ \sum Q_{Di}(t) \delta(x - x_D) \delta(y - y_D).$$

Обозначение физических параметров в этих уравнениях совпадает с аналогичными обозначениями, приведенными для уравнения (1).

Процесс аэродинамики рассчитывается на базе модели потенциального течения. Моделирующим уравнением, в этом случае, будет уравнение Лапласа для потенциала скорости (7)

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (7)$$

где P – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости воздушной среды связаны с потенциалом скорости следующими зависимостями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (8)$$

Постановка краевых условий для рассмотренных уравнений приведена в [1,5].

Численное решение моделирующих уравнений. Функционирующей платформой разработанного пакета программ являются численные модели, построенные путем аппроксимации производных, входящих в рассмотренные выше дифференциальные уравнения. Численное интегрирование уравнений переноса проводится с помощью неявных разностных схем [5] и путем применения метода Либмана для решения задачи аэродинамики и электростатики. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке. Формирование вида расчетной области проводится с помощью маркеров [5].

Описание проблемно-ориентированного пакета. Пакет программ, осуществляющий численное моделирование рассеивания отрицательных, положительных аэроионов и пыли в помещении, рабочей зоне реализован на алгоритмическом языке FORTRAN. Этот пакет состоит из подпрограмм типа SUBROUTINE. Ниже приведены данные программы:

1. TSH33 – расчет переноса отрицательных аэроионов в помещении;
2. TSH57 – расчет переноса положительных аэроионов в помещении;
3. TSH67 – расчет переноса пыли в помещении;
4. TSH77 – расчет электрического поля;

5. TSH87 – расчет поля потенциала скорости;
6. TSH98 – расчет компонентов вектора скорости;
7. TSH21 – представление результатов моделирования в виде матрицы;
8. TS.dat – файл ввода данных, необходимых для проведения вычислительного эксперимента. Это следующие данные:

- размеры комнаты;
- координаты расположения аэроионизатора в помещении;
- концентрация ионов, пыли в воздухе, который поступает в помещение;
- режим эмиссии ионов;
- расположение мебели и других объектов в помещении;
- положение рецептора (органов дыхания);
- положение экранов в помещении;
- режим воздухообмена.

Функциональные особенности пакета программ:

1. Возможность расчета полей концентрации отрицательных, положительных ионов и пыли как в помещении, так и в рабочих зонах.
2. Возможность прогнозирования концентрационного режима ионов и пыли в зоне расположения органов дыхания человека.
3. Возможность учета различных режимов искусственной аэроионизации воздуха.
4. Возможность учета различных режимов вентиляции помещения.
5. Быстрота расчета (2-3 мин).

На представленном ниже рисунке показан пример вывода на печать результатов вычислительного эксперимента в виде матрицы.

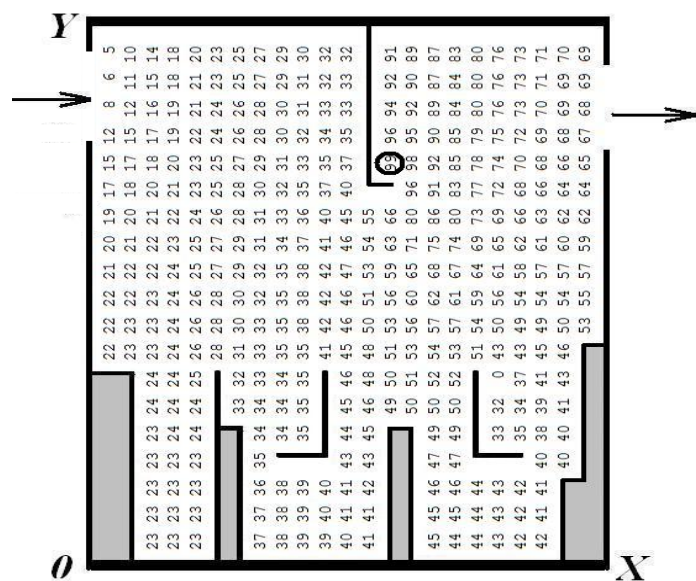


Рис. 1. Концентрация отрицательных аэроионов в помещении
На данном рисунке показано поле отрицательных ионов внутри помеще-

ния. Результаты моделирования приведены в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации ионов в помещении C_{\max} . Вывод на печать чисел осуществлен по формату «целое число», т.е. дробная часть числа не выдается на печать. Отметим, что такой формат печати означает, что если в какой – либо точке концентрация ионов составляет, например, величину 14,28%, то на печать будет выведено число «14». Положение ионизатора показано на рисунке в виде «кружка». Ионизатор располагается на подставке вблизи потолка. Стрелками показано положение отверстий приточно-вытяжной вентиляции.

Представленный рисунок также иллюстрирует степень детализации объектов внутри помещения при прогнозе аэроионного режима. Как видно из данного рисунка пользователь может ввести в численную модель форму и положение столов, стульев, шкафов и т.д.

В заключение отметим, что разработанный пакет программ позволяет моделировать два вида искусственной ионизации помещения: установку в помещении ионизаторов или подача в помещение уже ионизированного воздуха.

Выводы. Рассмотрен новый проблемно-ориентированный пакет программ для анализа и прогноза аэроионного режима в помещениях, рабочих зонах. Основу пакета составляет численное интегрирование уравнений массопереноса, аэродинамики и электростатики. Пакет программ дает возможность оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов в помещении и в рабочих зонах. Дальнейшее развитие пакета следует проводить в направлении создания блоков, обеспечивающих 3-D прогноз аэроионного режима в помещениях.

Список литературы

1. Noakes C.J, Sleight P.A, Beggs C. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms// Proseedings of the 10th International Conference on Air Distribution in Rooms. – Roomvert 2007, 13 -15 June 2007, Helsinki.
2. Запорожец О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник НАУ. – 2011. – №2. – С.120–124.
3. Бахрушин В. Е. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнахина, Д. В. Вертинский, А. Ю. Евсюков // Складні системи та процеси. – 2002. – №1. – С.30–36.
4. Толкунов И. А. Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И. А. Толкунов, И. И. Попов, В. В. Барбашин // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – Випуск 11. – С.137-145.
5. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 136 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 17.02.2015*

УДК 614.89

© В.Ю. Фрундін, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, Д.І. Радчук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИПИЛОВИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ УМОВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

В статті досліджено зміну коефіцієнту проникнення запилених фільтрів в умовах гірничих підприємств.

В статье исследовано изменение коэффициента проникновения запыленных фильтров в условиях горных предприятий.

In the article the variation of penetration dust filters in conditions mining enterprises.

Вступ. Умови праці на вугільних підприємствах здебільшого визначаються пиловим фактором, тобто залежать від вмісту пилу в повітрі робочої зони, типу його утворення та пиловідкладення поблизу джерел пилу. При цьому властивості пилу обумовлюють вибір відповідних заходів для боротьби з ним.

Діючими нормативними документами з охорони праці встановлюється санітарно-гігієнічні норми, а при неможливості їх забезпечення – рівні пилового навантаження працюючих. Також для захисту гірників передбачено видачу засобів індивідуального захисту органів дихання. Вибір останніх регламентований декількома стандартами ДНАОП 0.00-1.04-07 та ДСТУ EN 529:2006. Вважається, що при правильному виборі фільтрувального респіратора він надійно захищає людину від захворювання на пневмоконіози і пилові бронхіти. Незважаючи на те, що використання індивідуальних засобів захисту є обов'язковим, кількість хворих на пилову етіологію з кожним роком збільшується. Тому, дослідження ефективності використання протипилових фільтрувальних респіраторів у виробничих умовах є досить актуальними.

Виділення невирішеної проблеми. Значної популярності для виготовлення фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання набули поліпропіленові матеріали, які характеризуються незначним початковим опором диханню, легкі у виготовленні та використанні, мають велику механічну міцність. Однак, їх захисні властивості значно залежать від наявності електростатичного заряду. Проведені дослідження показують, що при лінійних швидкостях фільтрування до 0,006 м/с ефективність електростатичного механізму уловлювання аерозольних частинок сягає 80 % від сумарної дії усіх механізмів [1]. Однак, він є нестабільним, а поведінка може бути непередбачувана, особливо під дією підвищеної температури та вологості повітря [2, 3]. Враховуючи, що гірничі виробки вугільних шахт характеризуються несприятливими кліматичними умовами, особливо високою вологістю повітря, виникає досить актуальна задача у дослідженні її впливу на

захисну ефективність фільтрів з поліпропіленових матеріалів для визначення терміну захисної дії.

Аналіз досліджень і публікацій. Публікації щодо оцінки впливу вологості повітря на ефективність уловлювання аерозолі електретними фільтрами значно різняться одна від одної. У деяких роботах показано погіршення захисних властивостей, яке пов'язане зі зменшенням величин зарядів частинок і волокон, що потрапляють в такі умови [2]. В інших, навпаки, спростовують наведений висновок. Наприклад, деякі автори [3] стверджують, що вологість повітря майже не впливає на коефіцієнт проникнення аерозольних частинок діаметром до 100 нм. Експерименти проводились при відносній вологості від 40 до 92 %. Однак, існують дослідження котрі показують, що при збільшенні вологості, уловлювання крупних частинок покращується, пояснюючи цей ефект зростанням капілярних сил, які збільшують їх прилипання до волокон матеріалу [4]. Є висновок, що у фільтрів, з нанесеним зарядом у полі коронного заряду, дійсно погіршуються захисні показники, тому що в такому разі електрони на поверхні волокна легко видаляються молекулами води. Інша річ електретні фільтри, які отримані методом електро-спінінгу, коли утворюється спеціальне покриття більш стійке до вологи [5]. А роботах [6, 7] була зроблена спроба розв'язати завдання зі збільшення терміну служби електрета за рахунок уведення в структуру фільтра різних композиційних добавок. Однак, у наведених дослідженнях не має чіткої відповіді стосовно здатності електретних фільтрів забезпечити достатню захисну ефективність протягом однієї робочої зміни в умовах підвищеної вологості.

Формулювання мети роботи. Дослідження взаємозв'язку між коефіцієнтом проникнення фільтрів поліпропіленових матеріалів та величиною електростатичного заряду на їх волокнах в умовах підвищеної вологості повітря для визначення терміну захисної дії респіраторів.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження були використанні три різні марки фільтрів до багаторазових респіраторів, які відповідали другому класу захисту за ДСТУ EN 143:2002 (підтверджувалось сертифікатами якості). Їх виготовили з поліпропіленового фільтрувального матеріалу із середнім діаметром волокон 2,5 мкм, товщиною фільтрувального шару 4 мм та поверхневою щільністю: перший – 55 г/м² (тип А); другий – 45 г/м² (тип Б); третій – 40 г/м² (тип В). Для зменшення похибки випробувань захисної ефективності респіраторів було попередньо визначено опір повітряному потоку фільтрів, щоб відібрати для експериментів тільки з однаковими показниками.

У лабораторних умовах визначали:

- коефіцієнт проникнення фільтрів, який представляє відношення концентрації аерозолі «до» і «після» респіратора під час запилення за формулою [3]

$$K_n = \frac{C_1}{C_2} \cdot 100, \% \quad (1)$$

де C_1, C_2 – концентрація аерозолу в підмасковому просторі респіратора і у випробувальній камері, $\text{мг}/\text{м}^3$ відповідно;

- величину поверхневого заряду на поверхні фільтра за формулою

$$\sigma_{\text{эф}} = \varepsilon\varepsilon_2 V_e / S, \text{ Кл}/\text{м}^2 \quad (2)$$

де ε – діелектрична проникненість повітря, ε_2 – діелектрична проникненість матеріалу електрета; V_e – потенціал поверхні електрета, В; S – площа вимірювального електрода, м^2 ;

- перепад тиску на фільтрах при витраті повітря $95 \text{ дм}^3/\text{хв}$ за формулою

$$R = (n_i - n_0) K_1, \quad (3),$$

де n_i – відлік опору фільтрів за мікроманометром, Па; n_0 – початковий опір вимірювальної системи, Па; K_1 – поправковий коефіцієнт на температуру і атмосферний тиск..

Випробування проводились для визначення впливу відносної вологості і запиленості повітря на коефіцієнт проникнення та перепад тиску фільтрів у лабораторних умовах. Рівні відносної вологості були від 60% до 98%, а концентрація пилу в камері складала $250 - 300 \text{ мг}/\text{м}^3$. Кожне випробування продовжували до тих пір, поки перепад тиску на фільтрі не досягав 100 Па. Під час запилення через рівні проміжки часу (кожні 30 хв.) визначався коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем хлорид натрію, що має дисперсний склад від 0,2 мкм до 2 мкм. Перед початком і закінченням випробувань фільтр зважували, щоб визначити повну масу води і пилу на ньому. Також після закінчення досліджень фільтр залишали підсохнути при кімнатних умовах, протягом 24 годин. Після висихання його знову зважували, щоб отримати масу пилу, що осіла.

Запилення проводили на спеціальному стенді (рис. 1), що дає змогу імітувати реальний робочий процес з наявністю пилу в повітрі робочої зони. Продування запиленого повітря через фільтр проводили з витратою повітря $30 \text{ дм}^3/\text{хв}$.

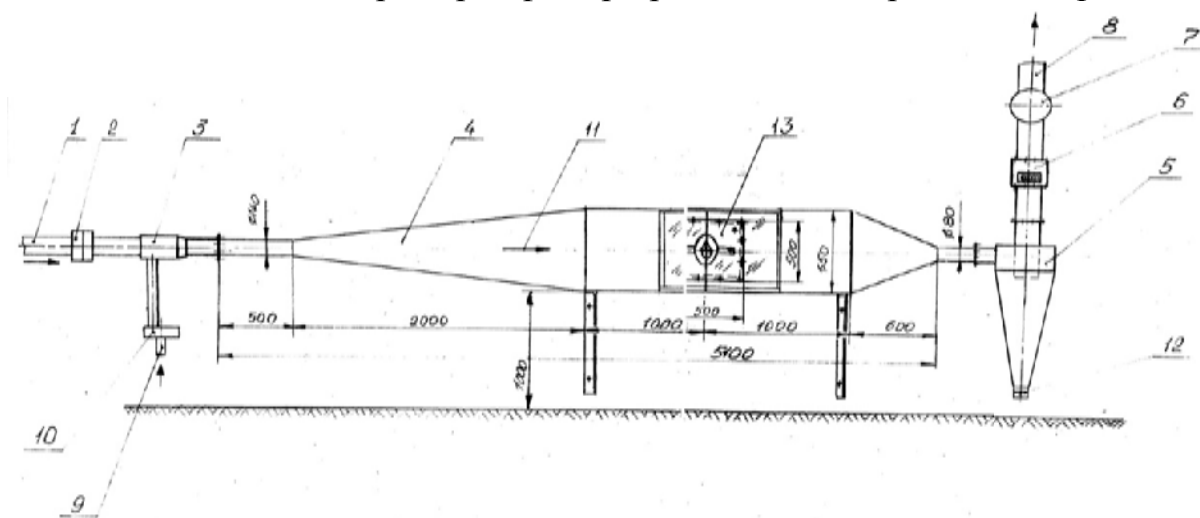


Рис. 1. Загальний вигляд випробувального стенду: 1, 9 – подача стисненого повітря; 2 – попередній фільтр очищення стисненого повітря; 3 – ежектор; 4 –

дифузор; 5 – циклон; 6 – витратомір; 7 – витяжний вентилятор; 8 – вихідний патрубок; 10 – генератор пилю; 11 – розподільувач пилю; 12 – заслінка; 13 – випробувальна камера

Стенд працює наступним чином. Пил, за допомогою ежектора, подають з генератора у випробувальну камеру. Дифузор в конструкції випробувальної камери забезпечує рівномірне розподілення пилю та повітряного потоку в камері, забезпечуючи його ламінарність.

Фільтр встановлюють на придатний адаптер у випробувальній камері. Концентрацію пилю вимірювали за допомогою пробовідбірника з фільтром АФА, який розміщували біля випробовуваного зразка. Концентрацію пилю визначали за формулою

$$C = \frac{10^3(m_2 - m_1)}{Qt}$$

де m_1 - маса фільтра АФА, мг; m_2 - маса фільтра АФА з пилом після відбору проби, мг; Q - витрата повітря, $\text{дм}^3/\text{хв.}$; t - час відбору проби повітря, хв.

Для розрахунку величини електростатичного заряду, експериментально визначали потенціал на поверхні фільтрів. Установка складається із двох блоків (вимірювального та індикації) (рис. 2). Вона дозволяє виміряти ефективну напругу на поверхні електрета до 1000 В. Принцип її дії заснований на використанні в якості нуль-індикатора електронно-променевого вобулятора, з відображенням компенсаційної напруги на цифровому вольтметрі. Перед початком випробувань фільтр розгортали та розміщували на ньому вимірювальний електрод на внутрішній його поверхні. Для відтворюваності експерименту місця розташування електроду позначали (рис. 3). Потім фільтр знову складали за допомогою матриці (рис. 4), і, вже після запилення, знову розгортали та визначали поверхневий потенціал на тих самих місцях.

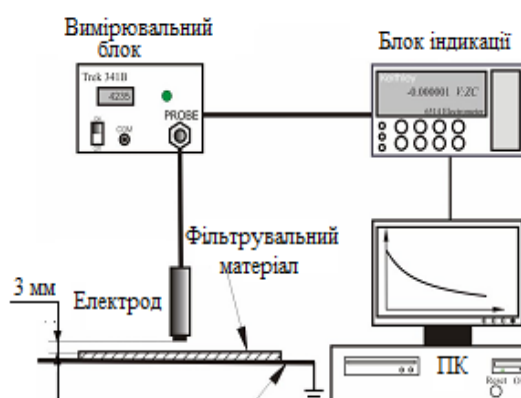


Рис. 2. Схема установки з вимірювання електростатичного потенціалу на поверхні фільтрувального матеріалу

Виробничі дослідження фільтрів проводили на шахтах Західного Донбасу. В експерименті приймали участь гірники наступних професій: машиніст, помічник машиніста, гірник. Їм видавалися респіратори типу РПА з фільтрами, які попередньо пройшли лабораторну перевірку. Відмітимо, що півмаски підбирались відповідно до розміру обличчя. Додаткових тренувань для навчання працівників, які приймають участь у дослідженнях, правильній експлуатації ЗІЗОД, крім тих, що передбачені програмою первинного інструктажу проведено не було. Тривалість експериментів становила 4 години. Під час вимірювань на кожному робочому місці контролювались вологість та температура повітря за допомогою аспірації МВ-4 і визначалась концентрація пилу за допомогою вимірювача запиленості ІЗША. Після проведення експерименту, фільтри акуратно вкладали в індивідуальні пакети для подальшого вимірювання їх ваги з пилом та визначення поверхневого електростатичного заряду і коефіцієнту проникнення у лабораторії.



Рис. 3. Точки розташування електроду для заміру електростатичного заряду на поверхні фільтрувального матеріалу



Рис. 4. Матриці для формування гофрованих фільтрів з конусних заготовок для респірації

Результати. У табл. 1 наведені результати вимірювань коефіцієнта проникнення, поверхневого потенціалу, маси та перепаду тиску фільтрів перед проведеними випробуваннями з їх запилення на відповідність їх вимогам ДСТУ EN 143.

Таблиця 1

Середні значення коефіцієнта проникнення фільтрів у лабораторних умовах

Позначення фільтра	Маса фільтра, г	Опір диханню, Па при витраті повітря 30 дм ³ /хв	Величина поверхневого потенціалу, В	Коефіцієнт проникнення за хлоридом натрію, %
Тип А	6,45	27	455	0,226
Тип Б	6,25	23	415	0,511
Тип В	6,55	17	376	0,806

В таблицях 2, 3 наведені результати експериментальних досліджень залежності перепаду тиску і коефіцієнта проникнення фільтрів проведених у лабораторії при різних умовах випробувань, які моделюють атмосферу гірничих виробок (відмічені на рисунку 5а за номерами від 1 до 5).

Таблиця 2

Середні значення коефіцієнта проникнення і перепаду тиску фільтрів при різних умовах випробувань через 30 хв

Позначення фільтра	Умови випробувань, які характеризуються температурою у випробувальній камері, t, °С, вологістю, φ %, наявністю запилення, С ₂ , мг/м ₃				
	23 °С, 60 %	23 °С, 60 %, 200 мг/м ³	28 °С, 95 %	28 °С, 95 % 200 мг/м ³	37 °С, 95 % 200 мг/м ³
Тип А	0,25/27	1,2/55	4,3/29	6,2/55	8,6/61
Тип Б	0,5/23	3,8/45	5,5/25	9,1/46	13,2/52
Тип В	0,8/17	5,2/37	7,1/22	12,3/39	15,3/44

Примітка: у чисельнику наведено коефіцієнт проникнення у знаменнику перепад тиску.

Аналіз отриманих даних показав, що висока вологість повітря у взаємодії з вугільним пилом за певних умов може значно погіршити якість фільтрів. Бачимо, що всього через 30 хв їх експлуатаційні властивості значно погіршуються. Схожі результати були отримані у роботі. Однак, однозначно сказати, що перевірені фільтри не забезпечать належний захист у виробничих умовах не можна. Необхідні додаткові дослідження і, в першу чергу, пояснення, чому вологість повітря з пилом впливає на фільтрувальні властивості.

Якщо уважно вивчити отримані результати, видно, що у випадку зміни тільки кліматичних умов опір диханню майже не зростає (умови випробувань 1 і 3), при цьому коефіцієнт проникнення збільшився майже у десять раз. Таке погіршення фільтрувальних властивостей при постійній швидкості фільтрування і однаковому дисперсному складі частинок, можна пояснити саме зменшенням дії електростатичного механізму уловлювання частинок через стікання заряду. На рис. 6 наведено залежність коефіцієнта проникнення фільтрів від величини електростатичного заряду. Бачимо, що фільтри із зарядом меншим 2,5 нК/см² не будуть відповідати вимогам ДСТУ EN 143:2002. До факторів, які погіршують коефіцієнт проникнення, можна віднести збільшення температури повітря та вологості, а також осідання заряджених пилових частинок. Дослідження показують, що фільтрувальний поліпропіленовий матеріал з щільністю упакування меншим за 45 г/м² при існуючій системі

заряджання є не ефективними у виготовленні фільтрів, тому в подальших дослідженнях були використані тільки фільтри типу А.

Дійсно, результати експериментальних досліджень з визначення впливу вологості повітря на величину електричного потенціалу фільтрів підтверджують вище згадане твердження. У середньому процес стікання може складати від кількох днів до декількох місяців. Дослідження показують, що зменшення заряду на фільтрах з поліпропіленового матеріалу у звичайних умовах відбувається протягом одного-двох місяців, а потім він значний час тримається на одному рівні. В той же час, при збільшенні вологості повітря до 95 % процес стікання заряду з волокон дещо прискорюється (рис. 7). Рахується, що коли молекули води заповняють певну долю поверхні електрету утвориться електропровідний канал, який різко зменшить величину поверхневого потенціалу.

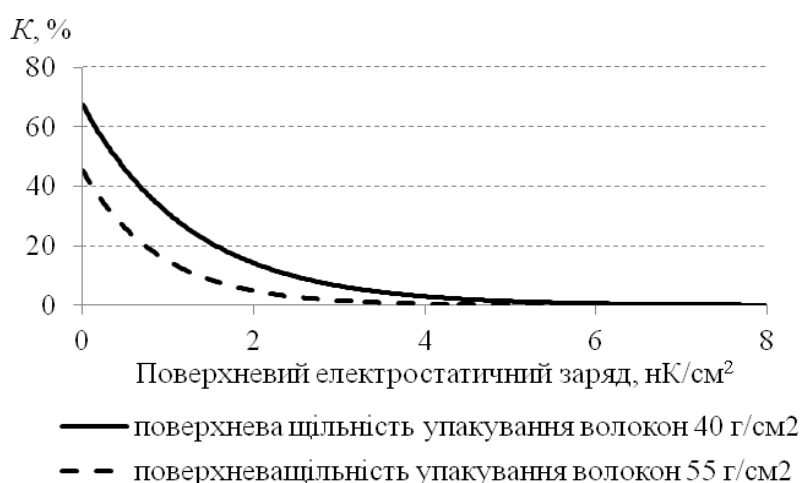


Рис. 6. Криві залежності коефіцієнта проникнення поліпропіленових фільтрів з різною щільністю упаковки волокон від величини поверхневого електростатичного заряду

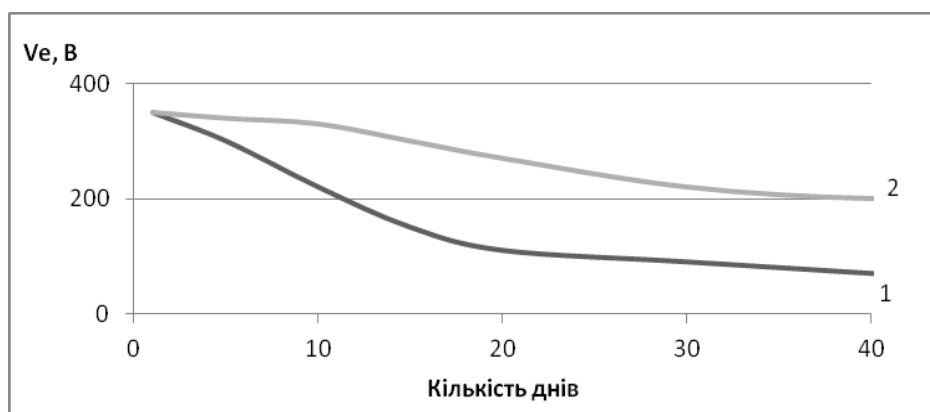


Рис. 7. Криві стікання електростатичного заряду при вологості повітря 95 % і температурі 26 °C (1) та відповідно 60 % і 23 °C (2) на поліпропіленових фільтрах

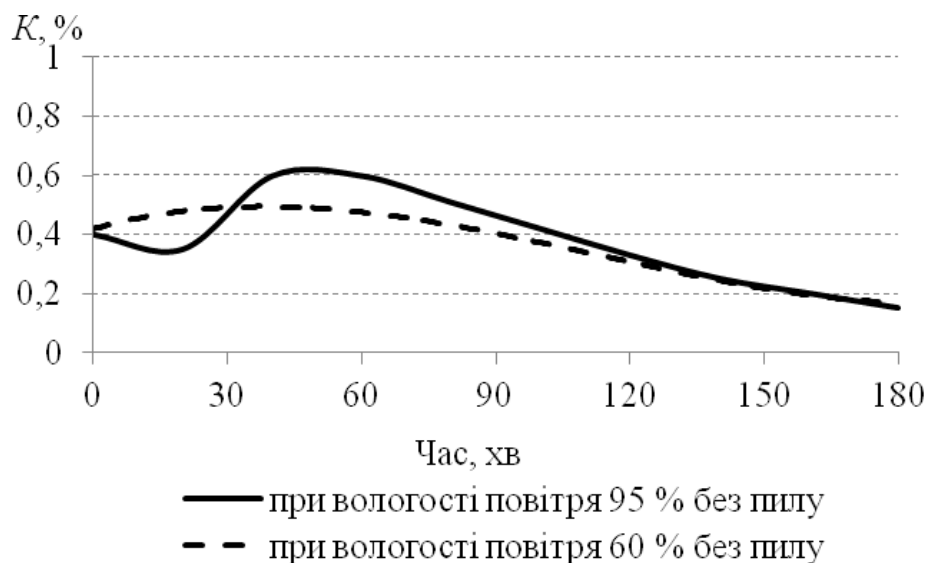


Рис. 8. Криві, які характеризують зміну коефіцієнта проникнення фільтрів за тест-аерозолем хлориду натрію в часі

Однак, цей процес через різні причини може значно затягнутися в часі і тим самим, на певному проміжку експлуатації фільтрів, можна отримати стабільний результат й при високій вологості повітря (рис. 8). Зокрема, на початковому етапі при низьких швидкостях фільтрування фіксується покращення захисних властивостей через виділення аерозольних частинок води на волокнах і зменшення пористості.

Майже до таких самих наслідків призведе і накопичення на волокнах фільтра вугільного пилового осаду. Це підтверджує зміна коефіцієнта проникнення фільтра при його запыленні (рис. 9). Відмітимо, також, що з часом захисна ефективність фільтрів буде покращуватись. Цьому сприяє і накопичення аерозолію і вологи, що зменшить пористість фільтрувального шару.

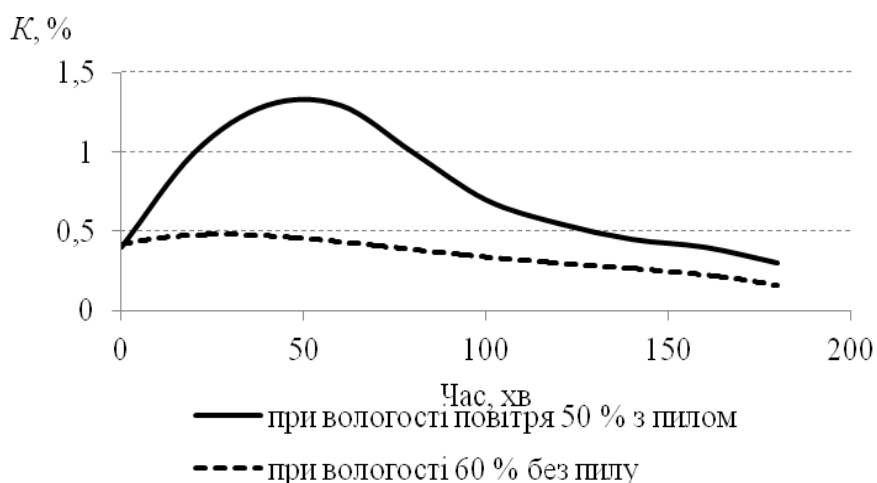


Рис. 9. Криві, які характеризують зміну коефіцієнта проникнення фільтрів за тест-аерозолем хлориду натрію в часі

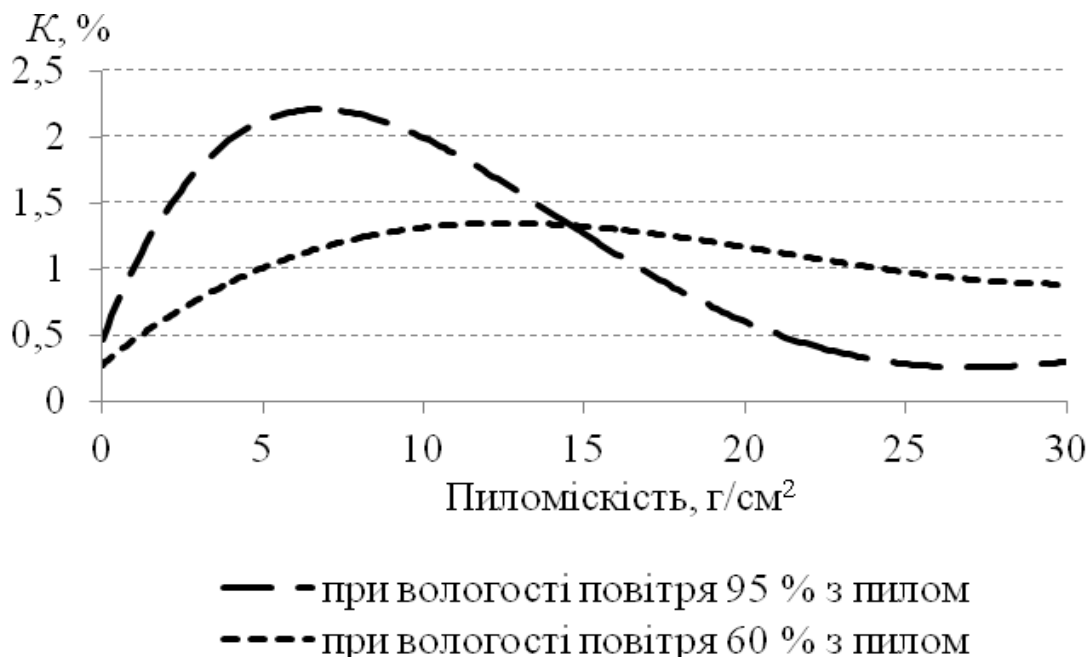


Рис. 10. Залежність зміни коефіцієнта проникнення фільтрів за тест-аерозолем хлориду натрію від пиломісності

Якщо порівняти залежність коефіцієнта проникнення фільтрів за тест-аерозолем хлориду натрію від кількості накопиченого пилу з кривими зміни перепаду тиску при осіданні пилу, то можна стверджувати, що покращення захисних властивостей відбудеться тільки після того, як закінчиться об'ємна фаза накопичення пилу (рис. 10, 11). Вона характеризується нелінійністю, що пояснюється осіданням частинок пилу в фільтрувальному шарі. При цьому збільшення вологості повітря якраз зменшує тривання цієї фази (рис.11).

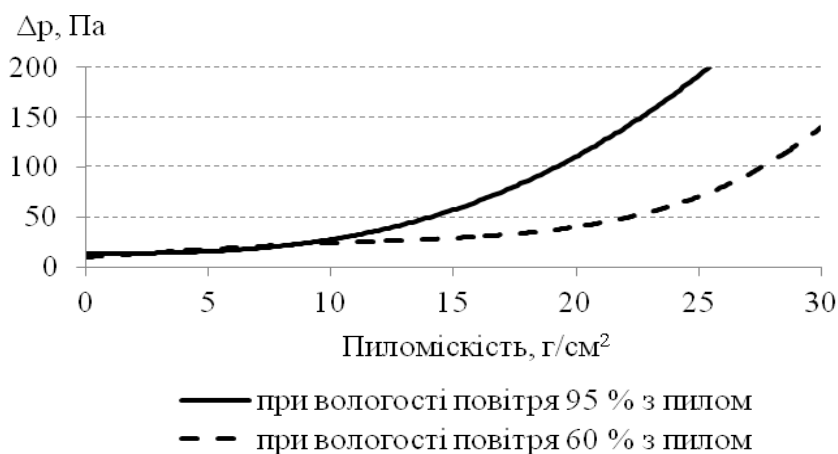


Рис. 11. Криві залежності перепаду тиску від пиломісності при різній вологості повітря отримані при швидкості фільтрування $30 \text{ дм}^3/\text{хв}$

Зменшити величину коефіцієнта проникнення респіраторів на початковому етапі роботи можна за рахунок розміщення перед фільтрувальною коробкою попереднього фільтра із спеціального гідрофільного матеріалу з низькою щільністю упакування волокон, наприклад СММС (рис. 12). Перевірка показала, що більша частина вологи і крупно дисперсна фракція пилу осідає саме на ньому, про що свідчить різке збільшення його маси по відношенню до основного фільтра (табл. 4). Це дозволяє не тільки покращити ресурс респілятора, а й зменшити стікання електростатичного заряду на фільтрах, тим самим підвищити захисні властивості півмасок в цілому (рис. 13). Тобто використання таких додаткових попередніх фільтрів дозволить підвищити термін експлуатації респіраторів.

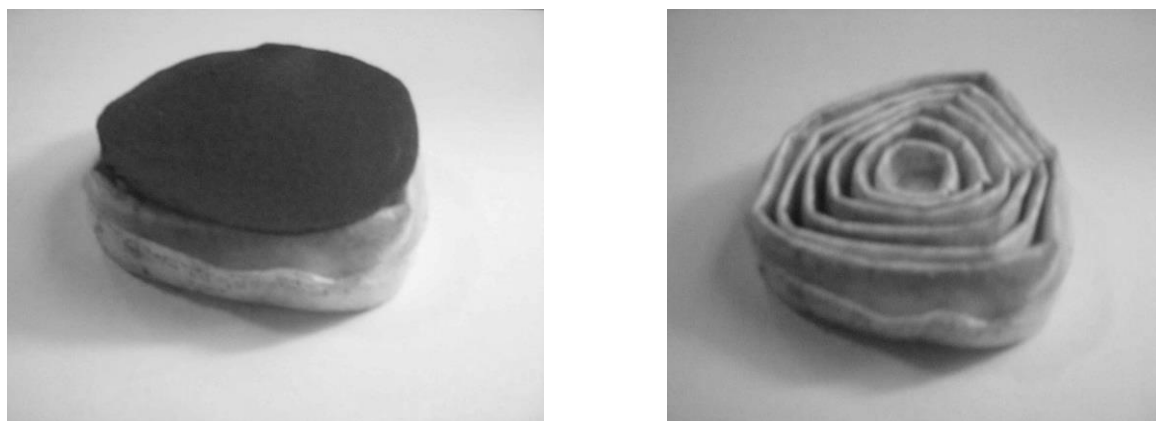


Рис. 12. Попередній фільтр, який встановлюється на фільтрувальну коробку респілятора

Таблиця 4

Середні значення коефіцієнта проникнення фільтра з установленим попереднім фільтром

Показники	Умови випробувань, які характеризуються температурою у випробувальній камері, t, °С, вологістю, φ %, наявністю запилення, С ₂ , мг/м ³		
	23 °С, 60 %, 200 мг/м ³	28 °С, 95 % 200 мг/м ³	37 °С, 95 % 200 мг/м ³
Початкова маса основного фільтра, г	6,33	6,27	6,24
Початкова маса попереднього фільтра, г	1,51	1,43	1,62
Загальний коефіцієнт проникнення, %	0,35	1,12	3,63
Маса основного фільтра з пилом і вологою, г	6,58	6,48	6,49
Маса попереднього фільтра з пилом і вологою, г	1,86	2,01	2,04

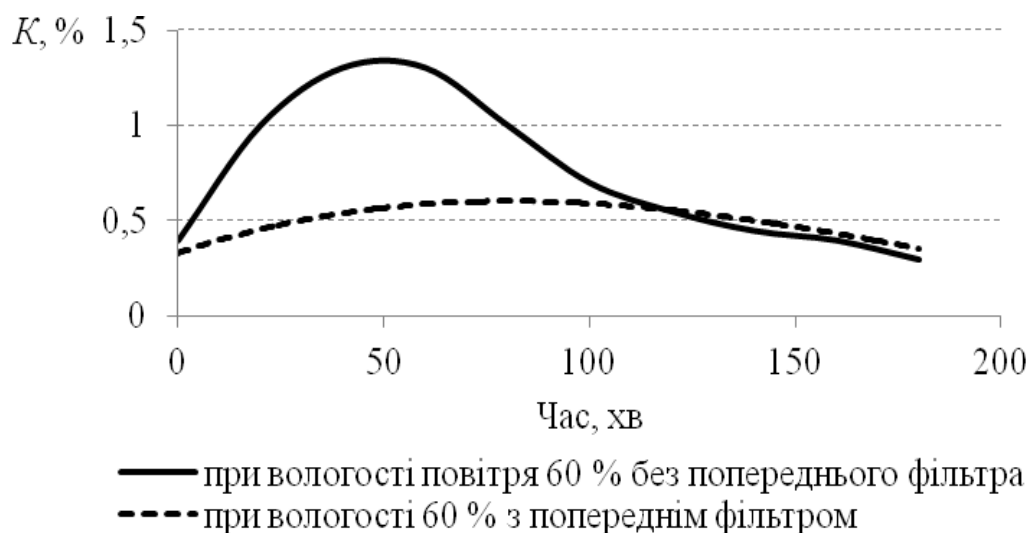


Рис. 13. Криві, які характеризують зміну коефіцієнта проникнення фільтрів за тест-аерозолем хлориду натрію в часі при запиленні

Перевірка фільтрів у виробничих умовах, протягом однієї зміни, показала, що саме збільшення концентрації пилу у повітрі робочої зони у поєднанні з високою вологістю і витратою повітря у кінцевому результаті призводить до підвищення захисних показників фільтрів (табл. 5).

Аналіз отриманих даних показав, що збільшення коефіцієнта проникнення тест-аерозолію фільтрів не є критичним. Навіть у найгіршому випадку вони будуть забезпечувати достатній рівень захисту.

Таблиця 5

Значення параметрів фільтрів після перевірки у виробничих умовах

Показники групи фільтрів, які були на гірниках	Концентрація пилу, мг/м ³	Маса осілого пилу на фільтрі, г	Перепад тиску, після запилення, Па	Коефіцієнт проникнення, K, %
Машиніст комбайну	320±6,4	0,92±0,24	65±1,6	0,78±0,05
Помічник машиніста	175 ±5,1	0,52±0,31	52±1,3	3,85 ± 0,11
Гірник	53 ± 3,4	0,09±0,16	45±1,4	5,7±0,31

Висновки. У результаті проведених досліджень було встановлено наступне. Респіратори з поліпропіленовими фільтрами забезпечують достатньо ефективний захист працівників протягом робочої зміни (з коефіцієнтом проникнення, що не перевищує 6,0 % та перепадом тиску до 70 Па). Однак,

захисні властивості поліпропіленових фільтрів не є постійною величиною і залежать від умов експлуатації; так, в умовах підвищеної вологості і температури їх показники з часом погіршуються за рахунок зменшення величини поверхневого електростатичного заряду. Встановлено, що коефіцієнт проникнення запилених фільтрів зі збільшенням вологості при фазі об'ємного фільтрування погіршується, тоді як при досягненні фази поверхневого накопичення пилового осаду покращується, за рахунок зменшення пористості поверхні фільтра. Доведено, що збільшення концентрації пилу в повітрі робочої зони за наявності вологості повітря і високої швидкості фільтрування на початковій фазі навпаки сприяє покращенню захисних показників, такий ефект зумовлений відсутністю фази об'ємного фільтрування. Показано, що розташування на фільтрувальній коробці попереднього фільтра із спеціального гідрофільного матеріалу з низькою щільністю упакування волокон, збільшує ресурс основного фільтра, за рахунок зменшення стікання поверхневого потенціалу і пилового навантаження.

Проведені дослідження вимагають подальшого уточнення залежності коефіцієнта проникнення від поверхневого електростатичного заряду.

Список літератури

1. Басманов П.И. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справ. рук-во / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейников, М.Е. Трубицына. – С.Пб.: ГИПП «Искусство России», 2002. – 399 с.
2. Kuzmin Yu.I., Pshchelko N.S., Sokolova I.M., Zakrzhevskiy V.I. The percolation behaviour of electret at presence of water condensation. In: Proc. of the 8th Int. Symp. on Electrets, Ed. by J. Lewiner, D. Morisseau, C. Alqui'е, ESPCI, IEEE. 1994, Paris, France. P. 124-129.
3. Romay, F.J. Experimental study of electrostatic capture mechanisms in commercial electret filters, *Aerosol Science and Technology*, Vol. 28 (1998) Nr 3, pp. 224-234.
4. Ackley, M.W., Degradation of electrostatic filters at elevated temperature and humidity, *Filtration and Separation*, Vol. 22 (1992) Nr 4, pp. 239-242.
5. Moyer, E. S. & Stevens, G. A., Worst Case aerosol testing parameters: II. Efficiency dependence of commercial respirator filters on humidity pretreatment. *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 50 (1989), pp. 265-270.
6. Chen C.C., M. Lehtimaki and K. Willeke: Aerosol penetration through filtering facepieces and cartridges. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 53: 566–574 (1992)
7. Schmidt, F.; Breidenbach, A.; Däuber, E.; Ergebnisse der RLT-Filterprüfung nach EN 779 im Vergleich zu Messungen an Filtern aus dem Betrieb; *Chem. Ing. Techn.*; 84, No. 6, 808-812 (2012)

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 17.02.2015*

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИРОДООХОРОННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ВУГЛЕДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Розглянуто особливості впливу вугільного підприємства на екологічний стан об'єктів навколишнього середовища. Визначено джерела виникнення екологічних ризиків у вугільній галузі. Обґрунтовано шляхи удосконалення системи управління екологічним станом навколишнього середовища на територіях вуглевидобувних регіонів.

Рассмотрены особенности влияния угольного предприятия на экологическое состояние объектов окружающей среды. Определены источники возникновения экологических рисков в угольной отрасли. Обоснованы пути усовершенствования системы управления экологическим состоянием окружающей среды на территориях угледобывающих регионов.

The peculiarities of coal enterprise influence on the ecological state of environmental objects are considered. The sources of ecological risks in coal industry are determined. The ways of improvement of control system for environment ecological state on the territories of coal mining regions are also substantiated.

Вступ. Вугільна галузь – важлива складова паливно-енергетичного комплексу, від ефективності й стабільності функціонування якої залежить подальший сталий розвиток та енергетична безпека держави. Діяльність вугледобувних підприємств призвела до високих рівнів деградації довкілля, забруднення атмосфери, ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також утворення значних обсягів відходів. Видобуток вугілля негативно впливає на якість об'єктів навколишнього середовища і, відповідно, погіршує умови проживання населення у вугледобувних регіонах [1, 2].

Гірничодобувні підприємства є природно-техногенними системами (ПТС), що мають обмежений період оптимального функціонування [3]. Весь процес функціонування системи «гірниче підприємство – навколишнє середовище» можна умовно розділити на наступні стадії: проектування та реалізація проекту, оптимальне функціонування гірничого підприємства, припинення діяльності, ліквідація та постліквідаційний період [4, 5].

На даний момент вугільна галузь практично не має багатофункціональної системи природоохоронних заходів та моніторингу, які б відповідали сучасним вимогам. Відсутність або низька ефективність наявного природоохоронного обладнання та устаткування не забезпечує зменшення негативного впливу шахт на навколишнє середовище. Слід відмітити, що на більшості вугільних шахт немає необхідних приладів контролю та кваліфікованих фахівців, які здатні ефективно оцінювати рівні забруднення навколишнього середовища [6, 7].

Дослідженню екологічних ризиків, що виникають на різних етапах функціонування гірничих підприємств, присвячено роботи О.М. Адаменка, А.В. Бардася, В.І. Бузила, С.В. Гошовського, Г.І. Рудька, П.І. Копача, О.А. Улицького, І.Ф. Ярембаша, Л.Є. Шкици та ін. Відсутність стратегії екологічно без-

печного освоєння родовищ корисних копалин, а також недостатнє вивчення віддалених наслідків функціонування гірничих підприємств призвело до формування кризової екологічної ситуації у більшості вугледобувних регіонів.

Діяльність шахт обумовлює виникнення комплексу явищ і процесів, негативних в техногенному та екологічному аспектах. Ці явища та їх наслідки на даний час є маловивченими, важко прогнозованими і майже некерованими. Комплекс заходів з вивчення, прогнозу та попередження несприятливих змін стану навколишнього середовища, а також прискорення реабілітації окремих його компонентів, порушених за багаторічний період функціонування шахт, повинен здійснюватися постійно і системно. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки теоретичних основ системи управління екологічною безпекою для навколишнього середовища та людини на територіях функціонування гірничих підприємств [4-6].

Метою роботи є аналіз екологічних ризиків, що виникають на різних етапах функціонування вугледобувних підприємств, також розробка шляхів їх мінімізації.

Викладення матеріалу та результати досліджень. В результаті багаторічного функціонування гірничих підприємств сформоване значне техногенне навантаження у вугледобувних регіонах. Для дослідження характеру та рівнів впливу на навколишнє середовище вугільних шахт сформовані наступні групи чинників:

- *вплив на гідрогеологічне середовище* – процес розробки вугільного родовища супроводжується постійним відкачуванням шахтних вод і утворенням внаслідок цього депресійних воронок, які порушують в гірському масиві і водонесних горизонтах природну динаміку підземних вод, їх якість, істотно змінюють режим ґрунтових вод;

- *вплив на геологічне середовище* – ведення гірничих робіт при видобутку вугілля впливає на стан та стійкість товщі вуглепородного масиву (зсув окремих блоків, просідання та деформація земної поверхні тощо);

- *вплив на стан атмосферного повітря* – основними джерелами забруднення атмосферного повітря є породні відвали, димові труби котельень, склади вугілля, вентиляторні установки, об'єкти технологічного комплексу;

- *вплив на водні об'єкти* – відкачувані шахтні води, у складі яких окремі інгредієнти перевищують допустимі норми;

- *утворення відходів* – найбільшими за обсягами накопичення, є шахтна порода, заскладована в породних відвалах, а також відходи збагачення вугілля. Крім того, значними джерелами утворення відходів є котельні, де в результаті спалювання вугілля утворюються золошлаки;

- *джерела фізичного впливу* – вентиляторні установки (джерела шуму), підстанції, трансформатори, лінії електропередач (джерела електромагнітного випромінювання);

- *негативний вплив на земельні ресурси* полягає у: відчуженні земель сільськогосподарського призначення під шахтні об'єкти, в т.ч. для розміщення породних відвалів; деформаціях земної поверхні в межах гірничих відводів шахт;

забрудненні ґрунтів газоподібними, рідкими та твердими речовинами (побічними продуктами вуглевидобутку).

Крім того, діяльність шахт може активізувати наступні негативні зміни:

- підтоплення і заболочування територій внаслідок підняття рівня підземних вод, засолення та деградацію ґрунтів;
- зміна модулів річкового стоку, поява нових і відновлення старих (зниклих) джерел з водою підвищеної мінералізації;
- техногенний вплив на стан земної поверхні, природні об'єкти тощо;
- зміна інженерно-геологічних умов (зсуви, провали, обвали та ін.);
- можливі зміни сейсмостійкості гірського масиву;
- утворення значних об'ємів побічних продуктів вуглевидобутку, які негативно впливають на стан довкілля та погіршують умови проживання для населення гірничодобувних регіонів.

Узагальнена схема еколого-економічних наслідків видобутку вугілля приведена на рис. 1.



Рис. 1. Узагальнена схема впливу вугільних підприємств на навколишнє природне середовище

Для характеристики поточного стану виробництва необхідно розробити кількісно-якісні критерії, що будуть визначати еколого-економічну доцільність функціонування вугільних підприємств (шахт) – від проектування до моменту ліквідації. Важливе значення мають параметри, які характеризують джерела утворення побічних продуктів вуглевидобутку (породу, шахтну воду, шлами збагачувальних фабрик), наявність та стан шахтної інфраструктури, котелень, шахтних стволів, горіння териконів, деформацію земної поверхні тощо.

При розробці та реалізації природоохоронних заходів необхідно враховувати те, що на вугільних підприємствах накопичується певна інформація про поточний стан довкілля, хоча, в більшості випадків, системи моніторингу на цих підприємствах відсутні. Саме тому необхідно формувати інформаційну базу з результатами дослідження змін у навколишньому середовищі, в тому числі, отриманих завдяки функціонуванню постів спостереження на територіях, прилеглих до шахт.

За даними матеріалів обстеження, картографічним та землепорядним планами вугледобувних районів були визначені зони впливу на навколишнє середовище гірничих підприємств, що знаходяться на різних етапах життєвого циклу (функціонування та ліквідація) з реалізацією певних природоохоронних заходів та без них.

В результаті узагальнення інформації про наявний у вказаному напрямку досвід, в основу принципів положень визначення періодичності виконання природоохоронних робіт і можливого коректування їх параметрів передбачається врахувати наступне:

- періодичність виконання природоохоронних заходів може об'єктивно відображати поточну ситуацію за умов урахування ступеня екологічного ризику диференційованого впливу окремих об'єктів навколишнього середовища на екологічну ситуацію в вугледобувному регіоні, при цьому ступінь екологічного ризику, з точки зору використання його для встановлення періодичності виконання природоохоронних заходів, є критеріальним чинником, який визначається на основі колегіального прийняття рішення всіх зацікавлених учасників процесу;

- для кожної конкретної екологічної проблеми (впливу окремих об'єктів на навколишнє середовище) враховується її можливий негативний вплив на здоров'я населення, розмір передбачуваного збитку, можливих витрат і часу на усунення загрози (можливі й інші додаткові критерії). При цьому встановлюється кількісна (бальна) оцінка ступеня впливу окремих об'єктів (0 – вплив відсутній; 1 – мінімальний або опосередкований вплив; 2 – періодичний безпосередній або опосередкований вплив; 3 – безперервний безпосередній вплив);

- всі об'єкти впливу на навколишнє середовище, за винятком малозначних (зварювальні пости, автотранспорт і деякі інші), оцінюються аналогічно;

- відомості по кожному об'єкту впливу повинні бути як можна більш повними. Усі вони формуються у окрему матрицю, яка включає оціночні критерії і чинники, що впливають на їх кількісну характеристику;

- матриці можуть бути представлені до рейтингової оцінки тільки у випадку, коли по кожній з них буде видано чисельний (за чотирибальною системою) висновок усіх зацікавлених організацій – замовників проектів (ДП, ВО, самостійних шахт), регіональних екологічних організацій, органів місцевої виконавчої влади, громадськості, виробничих організацій, які виконують певні роботи на шахтах;

- загальна кількість балів по кожному об'єкту впливу відповідає сукупному екологічному ризику. Кількісна оцінка дозволить встановити рейтинг розробки та реалізації спеціальних заходів щодо зниження негативного впливу конкретного об'єкту на навколишнє середовище;

- прийняте експертне рішення щодо встановлення ступеня екологічного ризику кожного об'єкта є обґрунтованим аргументом для розробки проектними організаціями не тільки параметрів технічних рішень, що забезпечують екологічну безпеку, а й планування їх виконання в часі.

В зв'язку з тим, що вугільна галузь включає сотні різнопланових вугільних підприємств, ускладнюється проведення екологічних спостережень та методів обробки екологічної інформації старими традиційними способами (практично вручну з паперових форм статистичної звітності), бо є надмірно довгочасним і не сприяє отриманню оперативної інформації. Проте питання екологізації вугільної галузі не можуть бути вирішені без інформації про екологічну ситуацію на кожному гірничому підприємстві (шахті) і, як наслідок, у галузі в цілому.

Для дослідження ефективності використання природоохоронних заходів для мінімізації негативних наслідків функціонування вугледобувних підприємств виконано експертну оцінку, яка передбачає визначення впливу шахт на повітря, водне середовище, ґрунт та ін. В якості природоохоронних заходів пропонується використання технологій, спрямованих на мінімізацію обсягів побічних продуктів вуглевидобутку, а саме, використання породи для виготовлення матеріалів для закладки виробленого простору вугільних шахт [8]. Результати експертної екологічної оцінки наслідків функціонування вугільних підприємств за умови застосування певних природоохоронних технологій приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Експертна оцінка ефективності застосування природоохоронних заходів на вугледобувних підприємствах

Види впливу	Об'єкти впливу/ ефективність застосування природоохоронних заходів																			
	Атмосфера				Гідросфера				Літосфера				Ґрунти				Біота			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Зниження стійкості та міцності гірських порід	0	0	0	0	2	1	2	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Деформація масиву гірських порід	0	0	0	0	3	1	2	1	3	1	2	1	3	1	2	1	3	2	2	2
Просідання земної поверхні	0	0	0	0	3	1	2	1	3	1	2	1	3	1	2	1	3	2	2	2

Продовж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Водоносичення масиву гірських порід	0	0	0	0	3	2	3	2	3	1	3	2	2	1	2	1	2	1	2	2
Порушення гідрологічного режиму	0	0	0	0	3	2	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	2	2	2	2
Виснаження водоносних горизонтів	0	0	0	0	3	2	3	2	2	1	2	2	3	1	2	2	2	1	2	2
Забруднення поверхневих водних об'єктів	0	0	0	0	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
Міграція забруднюючих речовин	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1
Змішування шахтних вод з питними водами підземних горизонтів	0	0	0	0	3	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2
Підтоплення та заболочування земель	0	0	0	0	3	1	2	1	3	1	2	1	3	1	2	1	3	2	2	2
Відведення земель під породні відвали	1	1	0	1	1	1	0	1	3	2	1	1	3	2	1	1	2	2	1	1
Відведення земель під відстійники шахтних вод	0	0	0	0	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
Забруднення довкілля продуктами горіння та пиління відвалів	3	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	2	2	1	1
Деформації і руйнування будівель та об'єктів інфраструктури	1	1	1	1	2	1	1	1	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
Утворення вибухонебезпечних метаноповітряних сумішей	3	2	3	2	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1	2	2	3	2	3	2

Продовж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Виділення шахтних газів на земну поверхню	3	2	3	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Погіршення стану об'єктів довкілля у вугледобувних регіонах	3	2	1	2	3	2	2	2	3	1	2	2	1	1	0	1	3	2	1	2

Примітка: I – без застосування природоохоронних заходів; II – проведення закладки виробленого простору; III – розбирання та рекультивація породного відвалу; IV – застосування закладки виробленого простору з розбиранням породного відвалу

Результати експертної оцінки ефективності застосування природоохоронних заходів на вугледобувних підприємствах за сумарними показниками видів впливу на об'єкти довкілля приведені на рис. 1.

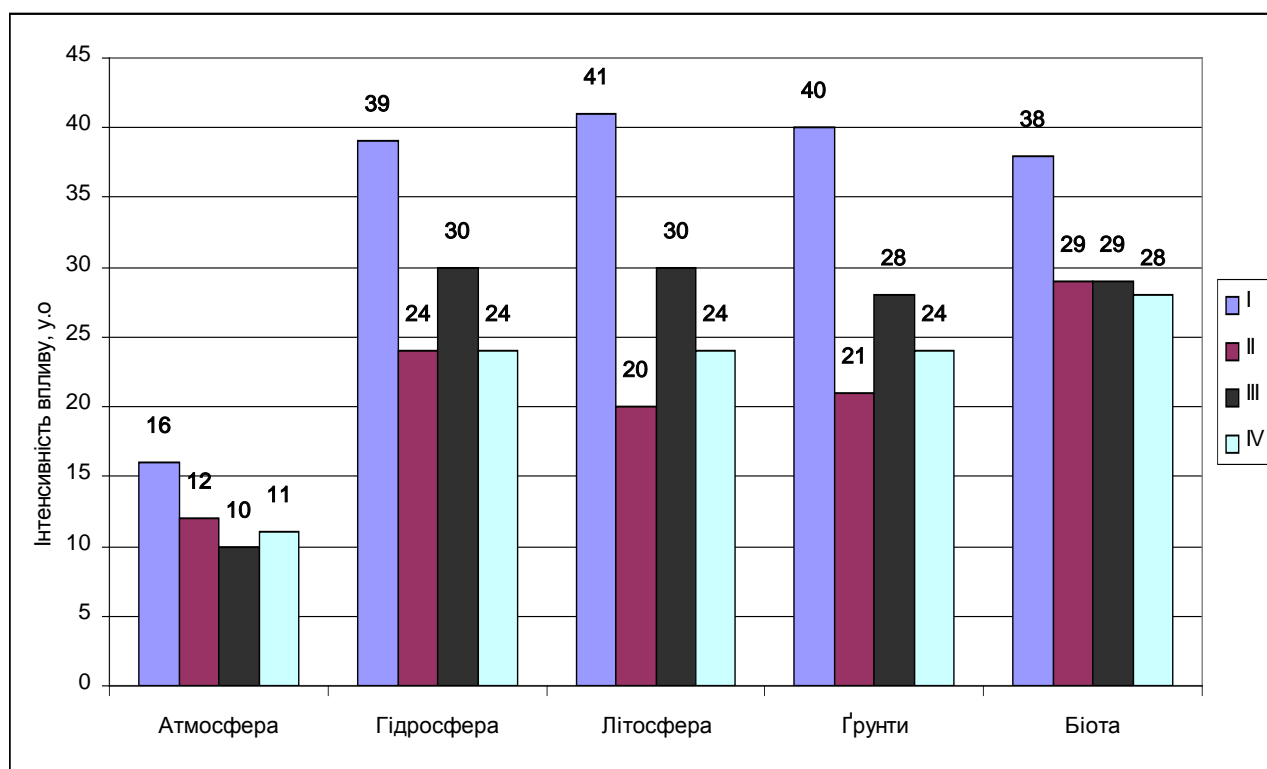


Рис. 1. Результати комплексної експертної оцінки змін екологічних наслідків функціонування вугільної шахти при різних комбінаціях застосовуваних природоохоронних заходів: I – без застосування природоохоронних заходів; II – проведення закладки виробленого простору; III – розбирання та рекультивація породного відвалу; IV – застосування закладки виробленого простору з розбиранням породного відвалу

Аналіз даних табл. 1 та рис. 1 виявив, що для подолання наслідків впливу побічних продуктів вуглевидобутку на навколишнє середовище доцільним є застосування технології закладки виробленого простору вугільних шахт з одночасним розбиранням породних відвалів. При цьому буде спостерігатися поступове зменшення негативних впливів підприємства практично на всі компоненти навколишнього середовища. Завчасне впровадження природоохоронних технологій дозволить зменшити негативні наслідки функціонування гірничого підприємства і особливо у посліквідаційному періоді.

Використання відходів вуглевидобутку для виготовлення сумішей для закладки виробленого простору вугільних шахт дозволить зменшити забруднення породними відвалами сільськогосподарських територій та накопичення небезпечних забруднюючих речовин у продуктах харчування. Крім того, буде попереджено просідання та деформацію земної поверхні і її наступне заболочування та вилучення з господарського використання.

Впровадження природоохоронних технологій повинно забезпечувати мінімізацію негативного впливу гірничих підприємств на найбільш чутливих реципієнтів серед місцевого населення – дітей, осіб похилого віку, хворих людей, вагітні жінки. Саме тому головною метою використовуваних заходів повинно бути забезпечення комфортних умов для проживання населення, а також забезпечення сталого розвитку вугледобувних регіонів.

Результати проведеної комплексної оцінки екологічного стану об'єктів довкілля на території вугледобувного підприємства є теоретичною та практичною основою для вирішення прикладних задач, таких як планування екологічно обґрунтованого рівня техногенного навантаження, розробки схем розвитку та розміщення технологічних ділянок, а також розробки відповідних природоохоронних заходів.

Висновки. Для підвищення ефективності управління природоохоронною діяльністю вугільного підприємства необхідно забезпечити:

- проведення ефективного моніторингу за параметрами стану довкілля;
- застосування системи експертних оцінок для об'єктивного аналізу екологічної небезпеки технологічних процесів видобутку вугілля;
- проведення ранжування підприємств за рівнями екологічної небезпеки та визначення відносної пріоритетності заходів з реабілітації;
- розроблення рекомендації з покращення екологічного стану об'єктів довкілля в зоні впливу підприємства;
- використання результатів експертної оцінки ефективності природоохоронних заходів для коригування комплексу заходів з покращення екологічного стану територій вугледобувних регіонів.

Реалізація природоохоронних заходів повинна забезпечити мінімізацію екологічних ризиків, пов'язаних з відповідними об'єктами довкілля до прийняттого рівня.

Список літератури

1. Вагонова О.Г. Управління ресурсним потенціалом вугільних шахт: моногр. / О.Г. Вагонова, Ю.С. Папіж. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 178 с.
2. Попович И.Н. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Украины / И.Н. Попович // Уголь Украины. – № 10. – 2013. – С. 3-6
3. Рудько Г.І., Гошовський С.В. Екологічна безпека техноприродних геосистем (наукові і методичні основи): Наукова монографія / За редакцією Г.І. Рудька – К.: ЗАТ «Нічлава». 2006. – 464 с.
4. Копач П.І. Врахування циклічності технологічних, економічних та природно-екологічних процесів при прогнозуванні в системі моніторингу навколишнього середовища гірничодобувних регіонів / П.І. Копач, Н.В. Горобець, Т.Т. Данько // Екологія і природокористування. – 2010. – Вип. 13. – С. 177-188.
5. Шкіца Л.Є. Екологічна безпека гірничопромислових комплексів Західного регіону України : дис... д-ра техн. наук: 21.06.01 / Івано-Франківський національний технічний ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2006. – 378 с.
6. Гідрогеологічні та геомеханічні фактори екологічної безпеки навколишнього середовища в умовах реформування вугільної галузі. Монографія. / Улицький О.А., Єрмаков В.М., Бузило В.І., Павличенко А.В. Під заг. ред. Улицького О.А. – Дніпропетровськ: Літограф, 2014. – 200 с.
7. Копач П.І. Основні положення методології створення системи моніторингу навколишнього природного середовища гірничодобувних регіонів / П.І. Копач, Н.В. Горобець, Т.Г. Данько, Л.В. Бондаренко // Екологія і природокористування : Зб. наук. праць ІППЕ НАН України. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 12. – С. 181-187.
8. Бардась А.В. Економічні межі доцільності розміщення породи у виробках, що погашаються / А.В. Бардась // Економічний вісник Національного гірничого університету. – 2009. – № 4. – С. 75-83.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 16.02.2015*

УДК 622.578.684

© В. О. Зберовський

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ШВИДКОСТІ РУХУ АВТОСАМОСКИДУ У КАР'ЄРІ ЗА ЕКОЛОГІЧНИМ ФАКТОРОМ

Запропоновано метод розрахунку максимально можливої середньої технічної експлуатаційної швидкості руху автосамоскида у кар'єрі за екологічним фактором, при якому забезпечується мінімальні витрати палива і викиди вихлопних газів.

Предложен метод расчета максимально возможной средней эксплуатационной скорости движения автосамосвала в карьере по экологическому фактору, при котором обеспечиваются минимальные затраты топлива и выбросы выхлопных газов.

A method for calculating the maximum possible average cruising speed dump movement by environmental factors career, which provides a minimum fuel consumption and exhaust emissions.

Вступ. Великовантажні кар'єрні автомобілі працюють в дуже важких природних умовах, мають значні розміри, підвищені паливно-енергетичні показники і є інтенсивними пересувними джерелами забруднення атмосферного повітря вихлопними газами.

В роботі [1] було показано, що при русі по різних ділянках кар'єрних автодоріг водії автосамоскидів для збільшення продуктивності прагнуть підвищити швидкість руху, що призводить до підвищення витрат палива і збільшення викидів шкідливих газів в атмосферу. Також було запропоновано швидкість руху кар'єрних автосамоскидів нормувати по екологічному фактору, при якому забезпечується мінімальний викид вихлопних газів і витрата палива, дотримується максимально можлива середня технічна експлуатаційна швидкість руху автосамоскидів в заданих умовах, виключаються перевищення допустимих за правилами техніки безпеки швидкостей руху автосамоскидів в кар'єрах.

В даний час через недостатність інформації про швидкісну або тягову характеристику двигуна, значну невизначеність в відомостях про поточний стан кар'єрних доріг, дій водіїв на трасі, технічного стану автомобіля і від недостатньо суворого обґрунтування норм витрат палива в теорії розрахунку кар'єрного автотранспорту існує значний об'єктивний розкид розрахункової продуктивності та споживання палива. Тому розрахунок швидкості руху автосамоскиду у кар'єрі за екологічним фактором, що дозволяє оптимізувати витрати палива та знизити викиди вихлопних газів у атмосферу, є актуальною науковою задачею.

Формулювання мети дослідження. У даній роботі на основі аналізу теорії автомобіля запропоновано метод розрахунку максимально можливої середньої технічної експлуатаційної швидкості руху автосамоскида у кар'єрі за екологічним фактором, при якому забезпечується мінімальні витрати палива і викиди вихлопних газів.

Виклад основного матеріалу досліджень. Аналіз математичних моделей руху автомобіля, представлених в літературних джерелах [2, 3], показав принципovu можливість їх застосування до визначення розрахунковим шляхом оптимальних режимів, що забезпечують максимальну продуктивність і паливну економічність кар'єрного автотранспорту, проте підтримка цих режимів в реальних умовах експлуатації транспорту на кар'єрах, можливо тільки з використанням сучасних систем диспетчеризації на базі ГІС і GPS -технологій.

У класичній теорії автомобіля, як відомо, в якості основної паспортної характеристики двигуна автомобіля, що визначає його енергетичні можливості використовується його так звана "зовнішня швидкісна характеристика", тобто залежність його ефективної потужності N_e , а також ефективного моменту від частоти обертання n (кутовій швидкості) двигуна. До числа паспортних характеристик двигуна належить також величина питомої витрати палива, яка зазвичай вимірюється в г/кВт·год і є основною паливно-енергетичною характеристикою автотранспорту.

У даній роботі розрахунки раціональних параметрів кар'єрного автотранс-

порту виконувалися на прикладі самоскида БелАЗ-7548 (оснащеного двигуном марки ЯМЗ-240НМ2).

Для можливості розрахункового визначення оптимальних режимів руху кар'єрного автотранспорту по ділянках кар'єрних трас з мінімально можливими паливно-енергетичними витратами окрім вказаних технічних характеристик $N_e(\omega)$ і q_e , які відповідають повному навантаженню двигуна при повній подачі палива Q_0 , необхідно мати так звані "часткові швидкісні характеристики" двигуна при неповній частковій подачі палива.

Величина повної подачі палива в двигун Q_0 за одиницю часу пов'язана з ефективною потужністю Ne формулою

$$Q_0^{(\omega)} = q_e(\omega)Ne(\omega). \quad (1)$$

При неповній подачі палива потужнісна характеристика двигуна $N(a, \omega)$ пропорційна подачі палива $Q(a, \omega)$.

$$N(\alpha, \omega) = \frac{Q(\alpha, \omega)}{q(\alpha, \omega)}. \quad (2)$$

Параметр α зручно вибирати так, щоб неповну подачу можна було виразити в долях (чи відсотках) від повної подачі Q_0 , т.е.

$$Q(\alpha) = \alpha Q_0 \quad \alpha \leq 1. \quad (3)$$

$$N(\alpha, \omega) = \frac{\alpha \cdot Q_0(\alpha, \omega)}{q(\alpha, \omega)} = \frac{\alpha \cdot q_e(\omega)Ne(\omega)}{q(\alpha, \omega)}.$$

Якщо залежність $q(a, \omega)$ в паспортних даних відсутня, то в першому наближенні можна прийняти правдоподібну гіпотезу про те, що питома витрата палива на один кВт ч залишається одним і тим же, незалежно від повноти палива, що подається α , тобто .

$$q(\alpha, \omega) = q_e(\omega). \quad (4)$$

В цьому випадку, потужність двигуна при неповній подачі палива, що характеризується чинником α , буде пропорційною цьому чиннику

$$N(\alpha, \omega) = \alpha Ne(\omega). \quad (5)$$

Для визначення режимів руху кар'єрного автотранспорту згідно класичної теорії автомобіля використовують управління його плоского руху уздовж дороги

$$m_M \delta_{ep} \frac{dv}{dt} = P_T - P_e - P_o, \quad (6)$$

де m_M - маса автомобіля; δ_{ep} - коефіцієнт приведеної маси, що враховує інерцію деталей автомобіля, що обертаються; P_T - сила тяги; P_e - сила опору повітря; P_o - загальна сила опору дороги.

При розрахунку режимів гальмування до правої частини рівняння (6) слід додати силу гальмування.

Сила опору повітря рівна

$$P_{\epsilon} = c_x \rho_{\epsilon} \frac{v^2}{2} S, \quad (7)$$

де c_x - коефіцієнт сили опору автомобіля; ρ_{ϵ} - щільність повітря; S - характерна площа автомобіля "У світлу".

Оцінки показують, що при швидкостях руху $v=10$ м/с величиною сили опору повітря можна нехтувати в порівнянні з величиною сили опору повітря можна нехтувати в порівнянні з величиною сили опору дороги .

Сила опору дороги складається з двох складових: сили опору підйому і сили опору коченню P_k :

$$P_{\partial} = P_k + P_n. \quad (8)$$

Сила опору підйому визначається ухилом дороги $P_n = G_M i$,

де G_M - вага автомобіля; i - ухил дороги

$$i = \operatorname{tg} \alpha_d \cong \alpha_d.$$

Сила опору коченню, якщо не враховувати впливу динамічних навантажень за рахунок прискореного або уповільненого руху і вважати, що коефіцієнт опору коченню f однаковий для усіх коліс автомобіля, рівна

$$P_k = f G_M.$$

Коефіцієнт опору коченню f визначається по довідковій літературі і не залежить від типу і стану дороги, а також від метеорологічних умов.

Таким чином, загальний опір дороги P_{∂} рівний

$$P_{\partial} = (f + i) G_M \equiv \psi G_M, \quad (9)$$

де $\psi = f + i$ - коефіцієнт опору дороги.

Сила тяги P_{Tj} (на ведучих колесах) на j -ой ступеню коробки передач визначається по формулі

$$P_{Tj} = \frac{M_{Tj}}{r_k} = \frac{M_e \cdot u_{jmp} \cdot \eta_{mp}}{r_k} = \frac{N_e \cdot u_{jmp} \cdot \eta_{mp}}{\omega r_k}, \quad (10)$$

де $M_{Tj} = M_e \cdot u_{jmp} \cdot \eta_{mp}$ - тяговий момент, прикладений до провідних коліс автомобіля; u_{jmp} - передавальне число трансмісії (залежить від ступеня передачі j ; $j=1$ - перша передача, $j=2$ - друга передача і так далі), r_k - радіус шини автомобіля; η_{mp} - коефіцієнт корисної дії трансмісії

Величина $N_e \cdot \eta_{mp}$ є корисною потужністю, що витрачається на рух автомобіля N_n .

При русі без тієї, що пробуксувала і юза кутова швидкість обертання колеса ω_{kj} дорівнює:

$$\omega_{kj} = \frac{\omega}{u_{jmp}},$$

а швидкість руху автомобіля

$$v_j = \omega_{kj} r_k = \frac{\omega_g r_k}{u_{j mp}}, \quad (11)$$

де v – швидкість автомобіля; r_k – радіус колеса.

Формула (10) спільно з (11) визначає залежність сили тяги автомобіля від швидкості його руху v на кожному зі східців коробки передач $j=1, 2, \dots$ при повній подачі палива до двигуна:

$$P_{Tj}(v_j) = \frac{Ne(v_j) \eta_{mp}}{v_j}, \quad (2.12)$$

де $Ne(v_j) = Ne \frac{v_j u_{j mp}}{r_k}$.

Тягові характеристики автосамоскида БелАЗ-7548, розраховані по формулах (2) і (3), приведені на рис. 1.

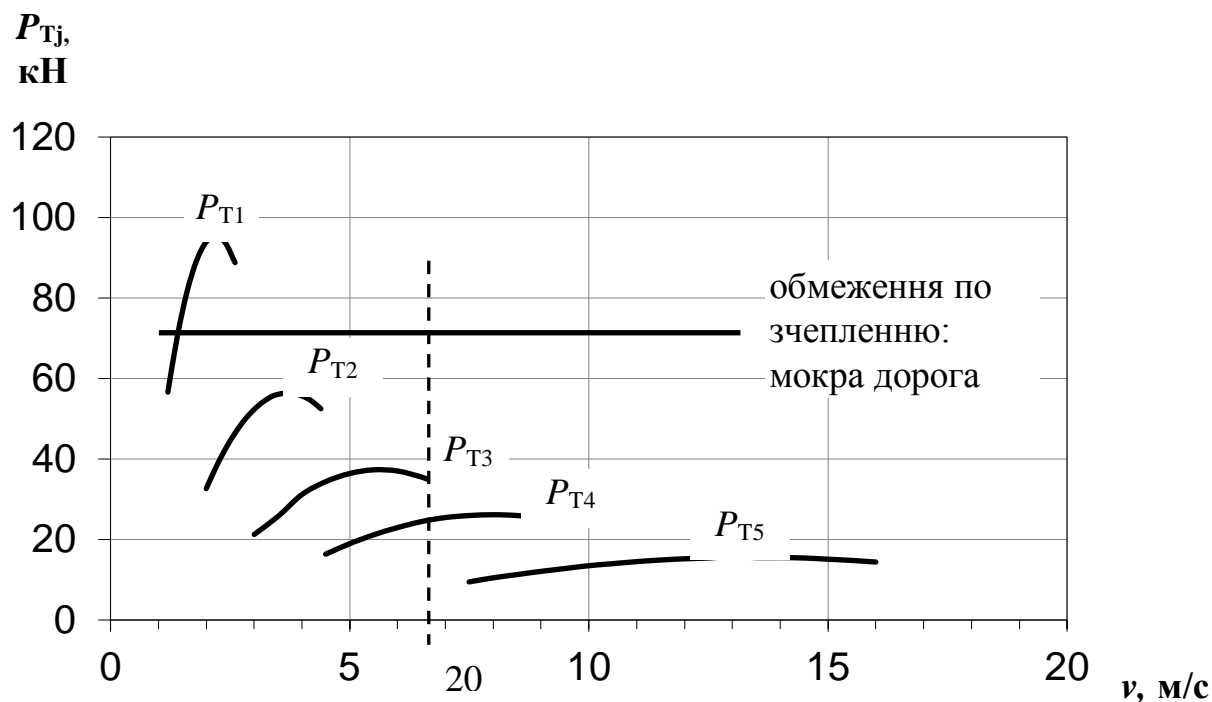


Рис. 1. Тягова характеристика автосамоскида БелАЗ-7548

Відмітимо деякі особливості тягових характеристик самоскида і колісного навантажувача. Як видно з рис. 1 на кожному з п'яти східців коробки передач є свій робочий діапазон швидкостей руху $v_{j \min} \leq v \leq v_{j \max}$, причому робочі діапазони двох сусідніх східців частково перекриваються. Для кожного ступеня j залежність $P_{Tj}(v)$ усередині робочого діапазону ($v_{j \min}$, $v_{j \max}$) має максимум. Характеристика $P_{T1}(v)$ для першого ступеня різко знижується зі зменшенням швидкості.

Максимальна сила тяги самоскида, яка розвивається на першому ступені $j=1$ коробки передач, складає 96 кН (при швидкостях $v \sim 2,0 \dots 2,3$ м/с).

При неповній подачі палива тягове зусилля автотранспорту $P_{Tj}(\alpha, v)$ визначається по формулі

$$P_{Tj}(\alpha, v_j) = \frac{N(\alpha, v_j) \eta_{mp}}{v_j}, \quad (13)$$

де $N(\alpha, v_j)$ – потужність двигуна при неповній подачі палива

$Q = \alpha Q_0$, перерахована залежно від швидкості руху v_j на цьому ступені передачі j згідно з формулою (11). У припущенні, що $q(\alpha, \omega) = q_e(\omega)$, згідно (5) матимемо

$$P_{Tj}(\alpha, v_j) = \alpha \frac{N_e(v_j) \eta_{mp}}{v_j} = \alpha P_{Tj}(v_j), \quad (14)$$

тобто в цьому припущенні сила тяги при неповній подачі палива

$P_{Tj}(\alpha, v_j)$ на кожному ступені коробки передач j зменшується прямо пропорційно коефіцієнту неповноти подачі α в порівнянні зі значенням сили тяги $P_{Tj}(v_j)$ при повній подачі палива.

Величину питомої витрати палива при неповній подачі його в двигун $q(\alpha, \omega)$, користуючись формулою (11), можна також виразити залежно від швидкості руху автотранспорту. На j -го ступеня коробки передач

$$q_j(\alpha, v_j) = q\left(\alpha, \frac{v_j u_{jmp}}{r_k}\right). \quad (15)$$

У припущенні (4) матимемо

$$q_j(\alpha, v_j) = q\left(\frac{v_j u_{jmp}}{r_k}\right) = q_{ej}(v_j). \quad (16)$$

Введемо поняття питомої путньої витрати палива на одиницю шляху q_n ,

кг/км:

$$q_n^{(\alpha, \omega)} = \frac{q(\alpha, \omega) N(\alpha, \omega)}{v}.$$

На кожному ступені коробки передач j при неповній подачі палива шляхова витрата палива рівна

$$q_{nj}(\alpha, v_j) = \frac{q_j(\alpha, v_j) N\left(\alpha, \frac{u_{jmp} v_j}{r_k}\right)}{v_j} = q_j(\alpha, v_j) \frac{P_{Tj}(\alpha, v_j)}{\eta_{mp}}, \quad (17)$$

а при повній подачі

$$q_{nj}(v_j) = q_{ej}(v_j) \frac{P_{Tj}(v_j)}{\eta_{mp}} \quad (18)$$

Окрім вказаного параметра неповноти подачі палива a , шляхова витрата q_n залежить також ще і від інших чинників, вплив яких важкий що враховується і може бути визначено тільки експериментально по місцю використання автозасобу. Так на паливну економічність впливає технічний стан вузлів і агрегатів системи живлення, температура охолоджувальної рідини і атмосфери, стан шасі, регулювання зачеплення зубчастих коліс головної передачі, тиск в шпильках і ще ряд інших чинників, які загалом можна охарактеризувати коефіцієнтом корисної дії h конкретного автомобіля.

Маючи часткові тягові характеристики при неповній подачі палива $P_{Tj}(\alpha, v_j)$ (формули (13) і (14)), а також залежність питомої путньої витрати палива (формула (17) і (18)), можна ставити варіаційне завдання про визначення такого закону руху автозасобу по трасі, щоб при цьому витрата палива була мінімальною.

Загальна витрата палива по трасі рівна

$$Q = \sum_i \int_0^{l_i} q_n(\alpha, v) dx \quad (19)$$

де інтеграл обчислюється по кожній окремій ділянці траси l_i із заданим опором дороги u_i , а підсумовування робиться по усіх ділянках траси.

Якщо на вираження

$$J_i = \int_0^{l_i} q_n(\alpha, v) dx, \quad (20)$$

дивитися математично як на функціонал

$$J[x(t)] = \int_0^{l_i} F\left(\alpha, \dot{x}\right) dx, \quad (21)$$

який залежить від закону руху $x(t)$ ($v = \dot{x}$) по цій ділянці, то, як відомо з варіаційного числення [4] мінімум функціонала $J[x(t)]$ досягається на функції $x(t)$, яка задовольняє умові

$$F_x\left(\alpha, \dot{x}\right) = const.$$

Оскільки ліва частина цього рівняння залежить тільки від $\dot{x} = v$, те його рішенням при ($\alpha = const$) буде одно або декілька постійних значень $v = const$.

Таким чином, мінімальна витрата палива на кожній ділянці траси забезпечу-

ється тільки при деякій постійній швидкості руху $v = \text{const}$; будь-яке відхилення від постійної швидкості приводять завжди до збільшення витрати палива.

Вказані постійні значення швидкості для кожного ступеня коробки передач j і кожного параметра неповноти α визначаються з рівняння силового балансу (6). При рівномірному русі з постійною швидкістю з (6) маємо рівняння

$$P_{Tj}(\alpha, v_j) = P_e + P_d \quad (22)$$

рішення якого при заданому опорі дороги P_d визначає швидкість рівномірного руху на заданому ступені коробки передач j .

Рішення рівняння (22) здійснювалося наступним шляхом. Вибиралася певна градація по мірі неповноти подачі. Увесь діапазон подачі був умовно розділений на 10 інтервалів: значенню $\alpha=1$ відповідає повна подача палива (100%), $\alpha=2$ – доле 90% від повної подачі, $\alpha=3$ – 80% и т.д. Через відсутність в паспортних цих двигунів їх часткових характеристик була використана гіпотеза, що зменшення потужності двигуна при кожному числі оборотів пропорційно величині подачі палива в двигун, тобто часткова тягова характеристика при неповній подачі будувалася по формулі (14), а шляхова витрата q_n - по формулі (17) в припущенні (4).

Схема отримання рішення рівняння (22) проілюстрована графічно на рис. 2. Фактичне рішення рівняння (22) здійснювалося за допомогою комп'ютера шляхом занесення усієї інформації в пам'ять і рішення рівняння (22) методом Ньютона.

Для кожної заданої ділянки дороги визначалося ψ і загальний опір дороги P_d (силою P_e в процесі рішення нехтуємо). Потім з тягової залежності $P_{Tj}(\alpha_j, v_j)$ з вказаною мірою градації по α_j знаходилося рішення рівняння (22) при кожному α_j і кожному j .

Далі за допомогою залежностей (17) для кожного зі знайдених значень швидкості v_{ij} знаходилося значення путньої витрати q_{nij} і з цих значень методом перебору визначалася та сукупність i і j , при яких значення q_{nij} виявлялося мінімальним. Саме ці параметри i і j називаються оптимальними за екологічним фактором, оскільки вони забезпечують найбільшу паливну економічність та екологічність руху транспортного засобу. (У разі, якщо було декілька сукупностей параметрів (i, j), при яких величина q_{nij} досягала однакового мінімуму, оптимальним вважався той випадок, при якому швидкість руху більша).

За розробленою методикою був проведений розрахунок на ПЕВМ максимально можливої середньої технічної експлуатаційної швидкості руху автосамоскида у кар'єрі за екологічним фактором, при якому забезпечується мінімальні витрати палива і викиди вихлопних газів. Розглянуто режими руху автосамоскидів БелАЗ-7548 в кар'єрах Вільногірського ГМК на прикладі цифр-

рових планів гірничих робіт і реальних кар'єрних доріг №1 і №2 (номери доріг умовні). Розглядався рух автосамоскида з вантажем і рух по тій же дорозі порожняком.

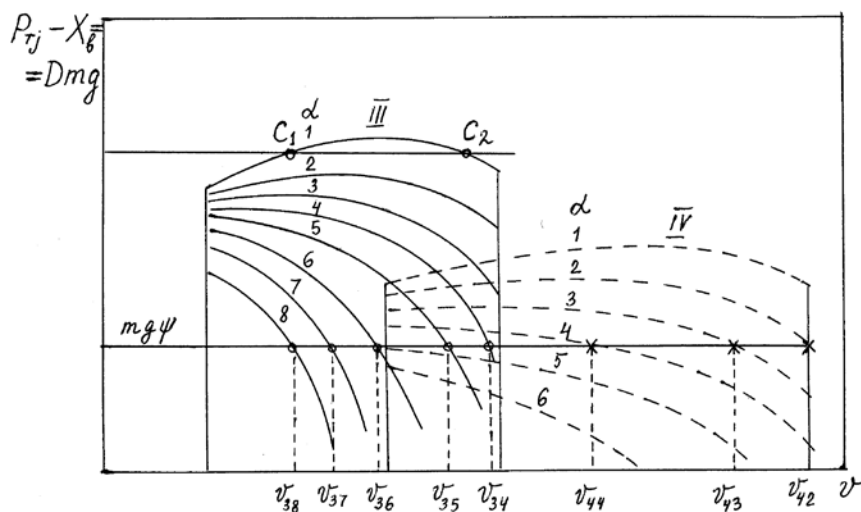


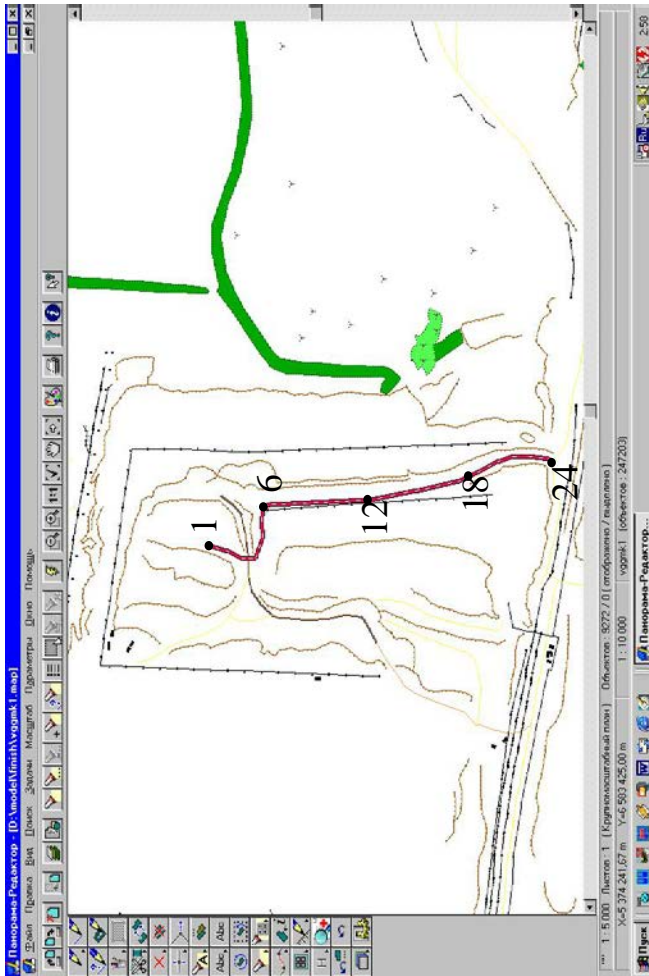
Рис. 2. Схема використання силового балансу автомобіля для визначення стаціонарних швидкостей руху при заданому опорі дороги

Профіль дороги представлений ділянками з постійними ухилами, координати точок рельєфу профілю автодоріг отримані по тривимірній моделі території кар'єру і цифровим планам кар'єрів. Приклад розрахункової ділянки кар'єрних доріг і початкові топографічні дані приведені на рис. 3

Для дороги №1 деякі ділянки з близькими ухилами об'єднувалися в одну ділянку із загальним ухилом. Загальна кількість ділянок для дороги №1 з різними ухилами було 24, а для дороги №2 - 18. Коефіцієнт тертя кочення f вибирався згідно з рекомендаціями літературних джерел [3, 5].

Порівняльні розрахунки виконані для випадку повного завантаження автосамоскида БелАЗ-7548 (45т); маса тари самоскида $m_0=33$ т. Приклад результатів розрахунків швидкісного режиму для самоскидів БелАЗ-7548 приведені в таблиці 1 (дорога №1). Для самоскидів в таблиці 1 вказана умовна міра подачі палива. Розрахунком встановлено, що при дотриманні водієм самоскида БелАЗ-7548 розрахункових швидкостей руху по дорозі №1 лінійна витрата палива складе 113,5 л/100 км, а по дорозі №2 - 112,1 л/100 км.

Враховуючи, що на кар'єрах Вільногірського ГМК середня лінійна норма витрати дизельного палива для автомобілів БелАЗ складає 142,5 л на 100 км пробігу, в роботі знаходиться 40 автосамоскидів середньостатистичний річний пробіг кожного з яких дорівнює 38,783 тис. км, нескладно оцінити очікуваний економічний ефект від економії палива при русі транспорту в кар'єрі, та екологічний ефект, що включає зниження викидів шкідливих речовин автосамоскидами в атмосферу.



Цифровий план кар'єрної дороги № 1

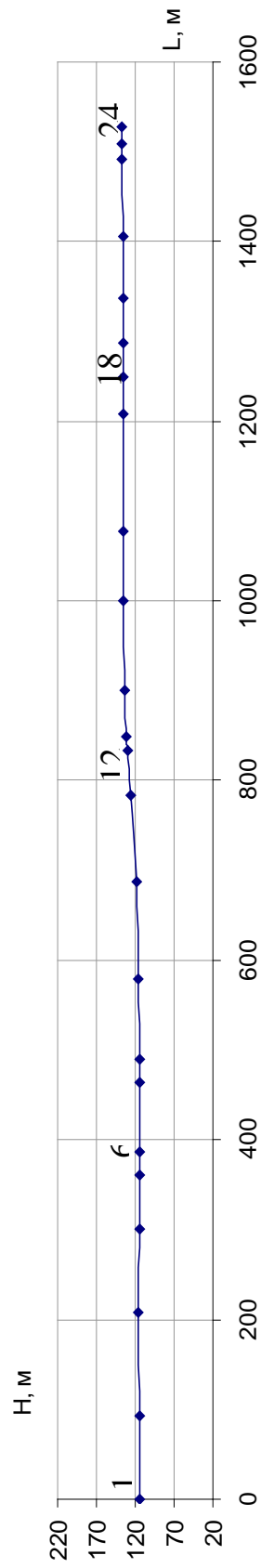


Рис. 3. Вихідні дані для розрахунку швидкості руху автосамоскиду по дорозі №1 в кар'єрі №7 «Північ» за екологічним фактором

Таблиця 1. Результати розрахунків швидкості руху автосамоскиду БелАЗ-7548 по дорозі №1 в кар'єрі №7 «Північ» за екологічним фактором

№ п/п	Ділянка	Довжина ділянки	Коеф. тертя кочення	Полотно дороги (сухе)	Ухил у бік руху з вантажем	Коеф. опору дороги	Параметри при русі з вантажем за екологічним фактором			
							Степень ко-робки пере-дач, j	Швидкість v , км/ч	Питомі витрати палива g_n , кг/км	Сумарні витрати палива на ділян-ки G , кг
		$Dl, м$	f		$i, \%$	γ				
1	1-2	93,4	0,02	пісок	3,2	0,0232	4	34,5	1,025	0,0957
2	2-3	113,8	0,02	пісок	9,5	0,0295	4	33,3	1,31	0,1491
3	3-4	93,9	0,02	пісок	-2,9	0,0171	4	35,6	0,81	0,0761
4	4-5	59,6	0,02	пісок	-13,9	0,0061	4	37,1	0,5	0,0298
5	5-6	25,5	0,02	пісок	11,4	0,0314	4	32,5	1,43	0,0365
6	6-7	77,1	0,02	пісок	-11	0,009	4	37,1	0,5	0,0386
7	7-8	26,3	0,02	пісок	-1,5	0,0185	4	35,4	0,875	0,0230
8	8-9	89,2	0,02	пісок	7,2	0,0272	4	33,8	1,25	0,1115
9	9-10	108,5	0,02	пісок	29,8	0,0498	4	26,6	2,18	0,2365
10	10-11	96,8	0,02	пісок, глина	90,8	0,1108	3	11,3	4,69	0,4540
11	11-12	48,7	0,02	пісок, глина	80,4	0,1004	3	11,0	4,87	0,2372
12	12-13	15,7	0,02	пісок, глина	67,1	0,0871	3	14,7	4,81	0,0755
13	13-14	52,5	0,02	пісок, глина	44,8	0,0648	4	19,1	2,81	0,1475
14	14-15	98,6	0,02	пісок, глина	9,6	0,0296	4	33,1	1,37	0,1351
15	15-16	77,2	0,02	пісок, глина	-0,5	0,0195	4	35,2	0,87	0,0672
16	16-17	131,6	0,02	пісок, глина	5,3	0,0253	4	33,8	1,25	0,1645
17	17-18	40,9	0,018	бетон	24	0,042	4	30,0	1,87	0,0765
18	18-19	37,9	0,018	бетон	-38,7	-0,0207		рух накатом		
19	19-20	50,2	0,018	бетон	19,3	0,0373	4	31,5	1,65	0,0828
20	20-21	68,5	0,018	бетон	-8,4	0,0096	4	36,7	0,75	0,0514
21	21-22	86,6	0,018	бетон	27,2	0,0452	4	28,8	2,02	0,1749
22	22-23	17,2	0,018	бетон	3,5	0,0219	4	33,8	1,25	0,0215
23	23-24	18,2	0,018	бетон	-33,6	-0,0156		рух накатом		

Економія палива при русі транспорту в кар'єрі з дотриманням розрахункових швидкостей складає для одного автосамоскиду БелАЗ:

- на 100 км пробігу - 29 л; в рік - 11247 л.

Для 40 автосамоскидів БелАЗ в рік - 449880 л.

При вартості дизельного палива 19-21 грн/л економія по комбінату складе 8,5 – 9,5 млн.грн/рік.

Зниження викидів шкідливих речовин автосамоскидами прямо пропорційно зниженню витрати палива. В таблиці 2 наведені результати розрахунку зниження викидів шкідливих речовин автосамоскидами в умовах Вільногірського ГМК.

Таблиця 2

Результати розрахунку зниження викидів шкідливих речовин автосамоскидами в умовах Вільногірського ГМК

Економія палива за екологічним фактором, л	Щільність палива, кг/м ³	Маса палива, кг	Зниження викидів шкідливих речовин автосамоскидами в атмосферу, т						
			СО	С _x Н _y	NO _x	Сажа	Бензапирен	SO ₂	Альдегіди
29 - для одного БелАЗа на 100 км пробігу	860	24,94	17,71 ×10 ⁻⁵	40,9 ×10 ⁻⁵	65,84 ×10 ⁻⁵	32,92 ×10 ⁻⁵	26,187 ×10 ⁻¹⁰	11,97 ×10 ⁻⁵	2,9928 ×10 ⁻⁵
11247 - для одного БелАЗа в рік	860	9672,42	68,67 ×10 ⁻³	158,63 ×10 ⁻³	255,35 ×10 ⁻³	127,68 ×10 ⁻³	10,156 ×10 ⁻⁷	46,428 ×10 ⁻³	11,6069 ×10 ⁻³
449880 - для 40 БелАЗів в рік	860	386896,8	2,747	6,345	10,214	5,107	406,2416 ×10 ⁻⁷	1,857	0,4643

Вищевикладене дозволяє рекомендувати розроблений метод розрахунку максимально можливої середньої технічної експлуатаційної швидкості руху автосамоскида у кар'єрі за екологічним фактором, при якому забезпечується мінімальні витрати палива і зниження викидів вихлопних газів у атмосферу.

Висновки.

1. Запропоновано швидкість руху кар'єрного автосамоскида нормувати по екологічному фактору, який забезпечує мінімальний викид вихлопних газів і зниження витрат палива, максимально можливу середню технічну експлуатаційну швидкість руху автосамоскидів в заданих умовах, виключає перевищення допустимих за правилами техніки безпеки швидкостей руху автосамоскидів в кар'єрах.

2. Вперше розроблено метод розрахунку максимально можливої середньої технічної експлуатаційної швидкості руху автосамоскида у кар'єрі за екологічним

фактором. Метод базується на поєднанні класичної теорії автомобіля з сучасними ГІС і GPS-технологіями, і відрізняється тим, що уперше параметри ухилу доріг і величини питомої витрати палива в математичній моделі є величинами змінними, а не заданими. Це дозволяє, в реальному масштабі часу моделювати профіль автодоріг і розрахувати швидкість руху автосамоскидів, що забезпечує мінімальні питомі витрати палива при максимальній продуктивності.

3. Розроблена математична модель руху кар'єрного автосамоскида, заснована на використанні поліноміальної апроксимації зовнішніх і часткових швидкісних характеристик двигуна, яка дозволяє знаходити аналітичне вираження для швидкості рівномірного руху самоскида залежно від ухилу дільниці, коефіцієнта опору кочення, ступеня коробки передач, міри неповноти подачі палива і фактичної маси автомобіля.

4. Приведено результати розрахунків швидкості руху самоскидів БелАЗ-7548 за екологічним фактором на прикладі експлуатації автосамоскидів у кар'єрах Вільногірського ГМК. Дана оцінка очікуваного економічного та екологічного ефекту від економії палива при русі транспорту в кар'єрі та зниження викидів шкідливих речовин автосамоскидами в атмосферу.

Список літератури

1. Зберовский В.А. , Коробочка А.Н. Исследование влияния топливно-энергетических и скоростных характеристик карьерных автосамосвалов на загрязнение атмосферы.- Збірник наукових праць Національного гірничого університету № 48.- Дніпропетровськ: Літограф.- 2015.-С. 300-308.
2. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. -М.: Машиностроение, 1990.-272 с.
3. Чудаков Е.А. Теория автомобиля.- М.: Машгиз, 1950.-452с.
4. Гельфанд И.М., Фомин С.В. Вариационное исчисление. – М.: ГИФМЛ, 1961.-228 с.
5. Транспорт на горных предприятиях /Под ред. Б.А. Кузнецова.- М.: Недра, 1976.- 552 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 05.02.2015*

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Анісімов Олег Олександрович – к.т.н., доцент кафедри відкритих гірничих робіт ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Беляев Николай Николаевич – д.т.н., професор, заведуючий кафедри гидравлика и водоснабжение, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск

Берлов Александр Викторович – инженер кафедры «Аэрогидромеханики и энергомассопереноса» Днепропетровского национального университета имени О. Гончара, г. Днепропетровск

Бойко Олег Александрович – ассистент, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Бубликов Андрей Викторович – к.т.н., доцент кафедры автоматизації та комп'ютерних систем ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Власова Елена Владимировна - к.т.н., доцент кафедры покрытий, композиционных материалов и защиты металлов НМетАУ г. Днепропетровск

Гапіч Геннадій Васильович – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

Голінько Василь Іванович – д.т.н., професор, завідувач кафедри аерології та охорони праці ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Гулько Елена Юрьевна - доцент кафедри гидравлика и водоснабжение, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск

Дичковський Роман Омелчнович – к.т.н, доцент ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Загубинога Владислав Владиславович – аспірант кафедри открытых горных работ, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Зберовський Віктор Олександрович – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища, ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

Зберовський Олександр Владиславович – д.т.н., професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Дніпродзержинський державний технічний університет

Іконнікова Наталія Анатоліївна - кандидат техн. наук, доцент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Карпо Алина Александровна – соискатель кафедры гидравлика и водоснабжение, Днепропетровский национальный университет железнодорожного

транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск

Каспийцева Виктория Юрьевна - ассистент кафедры отопления, вентиляции и качества воздушной среды, ГВУЗ "Приднепровская академия строительства и архитектуры", г.Днепропетровск

Кирилюк Александр Степанович - инженер экспедиции, Днепропетровская геофизическая экспедиция «Днепрогеофизика», г. Днепропетровск

Кириченко Владимир Евгеньевич – к.т.н., доцент кафедры автоматизации и компьютерных систем, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Кирия Руслан Виссарионович - к.т.н., с.н.с., Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, г. Днепропетровск

Коваленко Вадим Леонидович - доцент ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

Коробко Ольга Валерьевна - заведующая лабораториями кафедры геоинформационных систем, ДВНЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Коровяка Евгений Анатольевич - к.т.н., доцент кафедры транспортные системы и технологии, ГВУЗ «Национальный горный университет», г.Днепропетровск

Коток Валерий Анатолиевич - доцент ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

Лазніков Олександр Михайлович - директор Вільногірського гірничо-металургійного комбінату ПАТ «Юкрейніан Кемікал Продактс»

Ларионов Николай Григорьевич – к.т.н., младший научный сотрудник, институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, г. Днепропетровск

Левко Елена Николаевна - к.т.н., доцент кафедры покрытий, композиционных материалов и защиты металлов НМетАУ г. Днепропетровск

Ложніков Олексій Володимирович – к.т.н., доцент кафедры ВГР, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Лубенец Николай Алексеевич - к.т.н., доцент кафедры транспортные системы и технологии, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Лубенец Татьяна Николаевна - аспирант кафедры транспортные системы и технологии, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Маевский Анатолий Марьянович – к.т.н., доцент кафедры ОГР, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Мальцев Дмитро Валерійович - к.т.н., доцент, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Маргитич Виктор Сергеевич – студент, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Мищенко Тамара Федоровна - главный технолог, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, г. Днепропетровск

Мунтян Лилия Яковлевна – соискатель кафедры гидравлики и водоснабжения, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск

Налисько Николай Николаевич – к.т.н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры"

Непошивайленко Наталія Олександрівна – к.т.н., доцент кафедры екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету

Никулин Сергей Леонидович – к.геол. наук, доцент кафедры геоинформационных систем, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Огеенко Павел Юрьевич - ассистент кафедры автоматизации и компьютерных систем, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Павличенко Артем Володимирович – к.б.н., доцент кафедры екології ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Пигулевский Петр Игнатьевич – д.геол.н., доцент кафедры геофизических методов разведки, ГВУЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Плотников О.В. - д.геол.н., профессор, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Полищук Сергей Зиновьевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедры отопления, вентиляции и качества воздушной среды, ГВУЗ "Приднепровская академия строительства и архитектуры", г.Днепропетровск

Радчук Дмитрий Игоревич - к.т.н., доцент кафедры АОТ, ДВНЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

Русакова Татьяна Ивановна – к.т.н., ассистент кафедры аэрогидромеханики и энергомассопереноса Днепропетровского национального университета им. О. Гончара

Савотченко Олена Миколаївна – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Дніпродзержинський державний технічний університет

Самуся Ольга Володимирівна – аспірант кафедри економіки підприємства ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Свистун Владимир Кириллович - начальник экспедиции, Днепропетровская геофизическая экспедиция «Днепрогеофизика», г. Днепропетровск

Слесарев Володимир Вікторович – д.т.н., професор, завідувач кафедри системного аналізу та управління, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Собко Борис Юхимович – д.т.н. професор кафедри ОГР, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Столбченко Олена Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри АОП, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Тищук В.Ю. - д.т.н., доцент Криворізького металургійного інституту ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Трипутень Николай Моисеевич - к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерних систем, ГВУЗ «Національний горний університет», г. Дніпропетровськ

Фомичев Вадим Владимирович – к.т.н., доцент кафедри підземної розробки месторождений, ГВУЗ «Національний горний університет», г. Дніпропетровськ

Фрундин Владимир Ефимович – к.т.н., доцент кафедри АОТ, ГВУЗ «Національний горний університет», г. Дніпропетровськ

Цыганкова Светлана Григорьевна - соискатель кафедри гидравлика и водоснабжение, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, г. Дніпропетровськ

Чеберячко Сергій Іванович – к.т.н., доцент кафедри аерології та охорони праці ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Чеберячко Юрий Иванович - к.т.н., доцент кафедри АОТ, ГВУЗ «Національний горний університет», г. Дніпропетровськ

Шустов Александр Александрович – научный сотрудник кафедры открытых горных работ, ГВУЗ «Національний горний університет», г. Дніпропетровськ

З М І С Т

1	П.И. Пигулевский Некоторые особенности тектоники юго-восточной части украинского щита.....	8
2	В.К. Свистун, Л.Й. Золотарьова, П.Г. Пігулевський, О.С. Кирилюк Вивчення негативних геоекологічних явищ південно-західної частині Кривбасу геофізичними методами.....	16
3	О.О. Анісімов, І.А. Довгалюк Дослідження показників роботи кар'єрних самоскидів та підвищення їх продуктивності в умовах Стрижавського родовища мігматитів.....	25
4	Р.О. Дичковський До питання геометризації даних і формування імітаційних моделей для керування гірським тиском у лаві.....	31
5	В.В. Загубинога Дослідження факторів невизначеності при стратегічному плануванні відкритих гірничих робіт на залізорудних кар'єрах.....	42
6	О.М. Лазніков Обґрунтування технології розробки мало обводнених покладів розсипних руд.....	48
7	Д.В. Мальцев Методика проведения натурального исследования изменения фракционного состава горной массы с помощью инструментальных замеров.....	54
8	В.И. Самуся, В.Е. Кириченко, Н.М. Трипутень Разработка эскизного проекта комплекса для морской добычи и транспортирования полиметаллических руд.....	60
9	Б.Ю. Собко Дослідження водного балансу при відкритій розробці обводненого розсипного родовища засобами гідромеханізації.....	70
10	Б.Ю. Собко, О.В. Ложніков Дослідження структури порушених відкритою розробкою земель й пошук шляхів вдосконалення рекультивациі залишкових виробок кар'єрів.....	74
11	Б.Ю. Собко, А.М. Масвський, М.О. Чебанов Встановлення залежності кута повороту від ширини заходки та висоти уступу, при розвантажуванні драглайну у автосамоскид.....	81
12	В.В. Фомичев, А. А. Слива Определение оптимальных характеристик использования гидромеханического способа добычи угля с применением струга в различных горно-геологических условиях.....	86
13	О.О. Шустов Обґрунтування основних методичних положень з формування системи розкриття буровугільних родовищ.....	95
14	Р.В. Кирия, Т.Ф. Мищенко Определение среднего объема груза в аккумулярующем бункере, работающем в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах.....	106

15	Е.А. Коровяка, Т.Н. Лубенец Обоснование режимов эксплуатации ленточных конвейеров горных предприятий.....	116
16	Н.А. Лубенец О фрикционных свойствах гибких тел	122
17	А.В. Бублік, П.Ю. Огєєнко Дослідження технологічних взаємозв'язків гірничих машин очисного механізованого комплексу для видобутку вугілля.....	130
18	С.Л. Никулин, О.В. Коробко Автоматический и интерактивный подходы к построению сетей линеаментов космических снимков.....	148
19	О.А. Бойко Комплексное управление выходом мерного проката на основе информационных технологий.....	157
20	Н.А. Иконникова Информативные параметры потери устойчивости геотехнических систем.....	163
21	В.В. Слесарев, В.С. Маргитич Онтологическая модель базы знаний управления силами и средствами при ликвидации аварий на шахтах.....	172
22	В.Л. Коваленко, В.А. Коток Синтез гидроксида никеля электролизом раствора нитрата никеля в щелевом диафрагменном электролизёре	180
23	Н.Н. Беляєв, А.В. Берлов Расчет загрязнения атмосферы при диверсии на железнодорожном транспорте в случае перевозки химически опасного груза.....	188
24	Н.Н. Беляєв, Е.Ю. Гунько, Л.Я. Мунтян Оценка территориального риска при авариях на транспорте.....	195
25	Е.В. Власова, Е.Н. Левко, В.Л. Коваленко, В.А. Коток Влияние добавок на свойства межоперационных триполифосфатных покрытий.....	200
26	Н. Н. Беляєв, А. А. Карпо Экспериментальное исследование процесса сноса угля из полувагонов.....	208
27	Н.Н. Беляєв, С.Г. Цыганкова Экспресс расчет концентрации аэроионов в офисном помещении на базе балансовой модели.....	213
28	С.З. Полищук, В.Ю. Каспийцева Прогноз распространения загрязнений в атмосфере от мощных точечных источников.....	218
29	Т.И. Русакова Исследование закономерностей обтекания зданий воздушным потоком.....	224
30	В.Ю. Тищук, О.В. Плотников Фізико-хімічні основи пилоутворення і пилоподавлення на шлакових відвалах металургійних підприємств.....	231

31	Г.В. Гапіч Визначення коефіцієнту стійкості низового укусу ґрунтової дамби на основі гідрологічних розрахунків.....	239
32	Н.О. Непошивайленко Дослідження впливу антропогенних чинників на розвиток захворювання населення (на прикладі м. Дніпродзержинська).....	245
33	О.В. Зберовський, О.М. Савотченко Технічний комплекс для захисту довкілля від пилогазової хмари при масових вибухах у кар'єрах.....	252
34	В.И. Голинько Повышение быстродействия средств автоматического газового контроля.....	257
35	Н.Н. Налісько Численное исследование распространения ударной воздушной волны через сопряжения выработок.....	264
36	Е.В. Столбченко Определение параметров вентиляционных систем местного проветривания.....	276
37	С. Г. Цыганкова Проблемно-ориентированный пакет программ для расчета аэроионного режима в помещениях.....	280
38	В.Ю. Фрундін, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, Д.І. Радчук Дослідження ефективності протипилових фільтрів для умов вугільних шахт.....	285
39	А.В. Павличенко Шляхи удосконалення природоохоронної діяльності вугледобувного підприємства.....	297
40	В.О. Зберовський Метод розрахунку швидкості руху автосамоскиду у кар'єрі за екологічним фактором.....	305
	Відомості про авторів	318
	Зміст	322

Contents

1	P.I. Pigulevskiy The Peculiarities of Tectonics of South-Eastern Part of Ukrainian Shield	8
2	V.K. Svystun, L.Yo. Zolotaryova, P.H. Pigulevs'kyi, O.S. Kyrylyuk The Study of Negative Geocological Phenomena of South-Western Kryvbas by Geophysic Methods	16
3	O.O. Anisimova, I.A. Dovhaluk The Study of Performance of Quarry Dump Trucks and Their Productivity Improvement under the Conditions of Stryzhakivs'ke Migmatite Deposit	25
4	R.O. Dychkovs'kyi On the Issue of Data Geometrization and Simulation Models Development for Rock Pressure Control in Longwall Face	31
5	V.V. Zahubynoha The Study of Uncertainty Factors for Strategic Planning of Open Pit Mining in Iron-ore Quarries	42
6	O.M. Laznikov Substantiation of the Technique for Field Development of Low Inundated Deposits of Friable Rocks	48
7	D.V. Maltsev The Procedure for Full-scale Study of Breakup Change of Rock Mass by Means of Tool Measurements	54
8	V.I. Samusia, V.E. Kirichenko, N.M. Triputen' Development of Conceptual Design of Complex for Seabed Mining and Transportation of Complex Ore	60
9	B.Yu. Sobko The Study of Water Balance for Open Pit Mining of Inundated Friable Rocks by Means of Hydromechanization	70
10	B.Yu. Sobko, O.V. Lozhnikov The Study of Disturbed Soils Structure after Open Pit Mining and Ways of Improvement Search for Recultivation of Quarries Residual Workings	74
11	B.Yu. Sobko, A.M. Majevs'kyi, M.O. Chebanov The Evaluation of Correspondence between Angular Displacement and Depth of Pull and Cutting Depth for Dragline Stripper Unloading into Tripper.....	81
12	V.V. Fomichev, A.A. Sliva Estimation of Optimal Performance for Hydromechanical Way of Coal Mining using Plough-type Machine under the Different Mining and Geological Conditions	86
13	O.O. Shustov Substantiation of the Main Methodological Positions of the System Formation for Exposure of Brown Coalfields	95
14	R.V. Kiriya, T.F. Mishchenko Determination of middle volume of load in heat-sink bunker working in the regime of maintenance in him of volume of load in the set limits	106

15	E.A. Korovyaka, T.N. Lubenets Substantiation of Operational Modes for Extensible Belt Conveyers of Mining Enterprises	116
16	N.A. Lubenets On Friction Behavior of Solid Lithe Objects	122
17	A.V. Bublikov, P.Yu. Ogeenko Study of Technological Relations of Mining Machines of Clarifying Power-operated Complex for Coal Extraction	130
18	S.L. Nikulin, O.V. Korobko Automated and Interactive Approach to the Network Construction of Space Images Lineaments.....	148
19	O.A. Bojko Integrated Control of Gauged Mill Products Output Based on Information Technology	157
20	N.A. Ikonnikova Information Parameters of Stability Loss of Geotechnical Systems	163
21	V.V. Slesarev, V.S. Margitich Ontological Model of Knowledge Bases Managing Resources for Mining Accidents Containment.....	172
22	V.L. Kovalenko, V.A. Kotok Nickel hydroxide synthez by nickel nitrate solution electrolysis on the electrolyzers with a slot-hole diaphragm	180
23	N.N. Belyaev, A.V. Berlov Estimation of Atmospheric Pollution as a Result of Subversive Action on Railway Transport in Case of Chemically Dangerous Materials Transportation	188
24	N.N. Belyaev, E.Yu. Gun'ko, L.Ya. Muntyan Assesment of Territorial Risks in Case of Transport Accidents	195
25	E.V. Vlasova, E.N. Levko, V.L. Kovalenko, V.A. Kotok Influence of Additive Compounds on the Properties of Inter-op Tripolyphosphate Coverages	200
26	N.N. Belyaev, A.A. Karpo Experimenial Study of the Process of Coal Sweeping from High-Sided Wagons	208
27	N.N. Belyaev, S.G. Tsygankova Express Estimation of Aeroion Concentration in the Office Premises as Based on Balance Model	213
28	S.Z. Polischuk, V.Yu. Kaspijtseva Estimation of Atmospheric Pollution Spread from Powerful Point Sources	218
29	T.I. Rusakova Study of Regularities of Buildings Flowover by Airflow	224
30	V.Yu. Tischuk, O.V. Plotnikov Physical and Chemical Basics of Dust Formation and Dust Suppression on Slag Dumps of Metallurgical Enterprises	231
31	H.V. Hapich Determination of Stability Number of Down Slope of Earth Bank Based on the Hydrologic Calculations	239

32	N.O. Neposhyvajlenko Study of Anthropogenic Factors Influence on Population Medical Problems Increase (Evidence from City of Dneprodzerzhynsk)	245
33	O.V. Zberovskyi, O.M. Savotchenko Technical complex for protection of environment cloud of dust and gas during mass explosion in career.....	252
34	V.I. Golin'ko Speeding of Means of Automated Gas Checking.....	257
35	N.N. Nalys'ko Numerical Study of Air Shock Wave Propagation through Roadheads	264
36	E.V. Stolbchenko Determination of Parameters of Local Ventilation Systems	276
37	S. G. Tsygankova Problem-oriented Software Package for Air Ionization Mode Calculations in Premises	280
38	V.Yu. Frundin, S.I. Cheberyachko, Yu.I. Cheberyachko, D.I. Radchuk Study of Dust Arrester Efficiency for Coal Mines Conditions	285
39	A.V. Pavlychenko The Ways of Improvement of Nature-conservative Activity for Coal Mining Enterprise.....	297
40	V.O. Zberovskyi Method of calculation of speed of the movement of a dump truck in career on an ecological factor.....	305
	Information about authors	318
	Contents	322

**Збірник наукових праць
Національного гірничого
університету № 49**

Підп. до друку 20.05.2015.
Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 16,4.
Обл.-вид. арк. 16,4. Тираж 100 прим.
Зам. № 5180

Видавництво «Літограф»
Ідентифікатор видавця у системі ISBN: 2267
Адреса видавництва та типографії:
49000, Дніпропетровськ, вул. ім. М.В. Гоголя, 10/а, офіс 38
тел.: (056)716-22-97, (0562) 32-03-19
E-mail: Litograf.dp@gmail.com