

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

ISSN 1728-3841

ЖТМР

2014 №4

ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ

2014 № 4

ГОРНАЯ МЕХАНИКА и машиностроение



ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ

№ 4 2014

Учредитель журнала:

ЗАО «Солигорский Институт проблем
ресурсосбережения с Опытным
производством»

Научно-технический журнал

Издается с декабря 1998 г.

Выходит четыре раза в год

Журнал включен в Перечень научных
изданий ВАК Республики Беларусь

Редакция:

Главный редактор

Щерба Владимир Яковлевич

Технический редактор

Барановский Анатолий Леонидович

Заместитель главного редактора

Прушак Виктор Яковлевич

Ответственный секретарь

Заяц Ирина Михайловна

Редакционная коллегия:

Андрейко С.С. — доктор технических наук, проф.

Богданович П.Н. — доктор технических наук, проф.

Данилов В.А. — доктор технических наук, проф.

Журавков М.А. — доктор физ.-мат. наук, проф.

Зубов В.П. — доктор технических наук, проф.

Кислов Н.В. — доктор технических наук, проф.

Петровский Б.И. — доктор технических наук

Березовский Н.И. — доктор технических наук, проф.

Басинюк В.Л. — доктор технических наук

Бровка Г.П. — доктор технических наук, доцент

Губанов В.А. — доктор технических наук

Захаров Ю.Н. — доктор технических наук, проф.

Иванов В.П. — доктор технических наук, проф.

Оника С.Г. — доктор технических наук, проф.

Струк В.А. — доктор технических наук, проф.



Адрес редакции:

Республика Беларусь, 223710, г. Солигорск, ул. Козлова, 69

Тел.: (+375 174) 26 35 32, (+375 174) 28 21 07, факс: (+375 174) 26 28 37

E-mail: ontipr@tut.by

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А., Мозговенко М.С. Исследование проявлений горного давления в забоях лав при отработке Первого, Второго, Третьего калийных горизонтов на рудниках ОАО «Беларуськалий». Часть 1. Исследование конвергенции призабойного пространства	5
Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А., Пузанов Д.А. Исследование проявлений горного давления в забоях лав при отработке Первого, Второго, Третьего калийных горизонтов на рудниках ОАО «Беларуськалий». Часть 2. Исследование несущей способности забойной крепи	12
Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А. О несущей способности пород непосредственной кровли над призабойным пространством лав	18
Оника С.Г., Халывкин Ф.Г., Ковалева И.М., Куликовская О.Е. Геоинформационное обеспечение принятия решений при проектировании строительства и эксплуатации карьеров	24
Басалай И.А., Бельская Г.В. Способы снижения засоления и рекультивации земель в районе деятельности ОАО «Беларуськалий»	29

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Таяновский Г.А., Басалай Г.А., Матусович Э.В., Загоровский Ю.В. Тягово-динамическая характеристика самоходного шахтного вагона	35
Конопляник И.А. Принципы согласования режимов работы приводов и натяжных устройств ленточных конвейеров	45
Кучик А.С., Михаленя В.Д., Щерба Е.В. Методика расчета нагрузок привода исполнительного органа комбайна избирательного действия	51
Конопляник И.А. Оптимизация параметров ленточных конвейеров методом построения модели формирования грузопотока с использованием β -распределения	60

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Можейко Ф.Ф., Поткина Т.Н., Шевчук В.В., Стефанович С.Ч. Влияние структурообразования глинисто-солевых шламов, образующихся при обогащении сильвинитовых руд флотационным методом, на эффективность их обезвоживания	66
Овчинников Е.В., Лиопо В.А., Струк В.А., Григорьева Т.Ф. Модифицирующий механизм действия композиционных механоактивированных силикатных частиц в полимерных матрицах	74
Лиопо В.А., Овчинников Е.В., Струк В.А., Прушак Д.А., Прушак А.С. Влияние наноразмерности частиц на их электронные свойства	82
Овчинников Е.В., Сластенов П.А., Голушко С.Н., Гридюшко Д.В., Калинин Ю.В., Брижевич А.В. Нанокomпозиционные смазочные материалы	89
Перечень статей, опубликованных в журнале «Горная механика и машиностроение» в 2014 году.....	95

Свидетельство о государственной регистрации СМИ № 1000 от 12.01.2010 г.
Подписные индексы: 74933 (для индивидуальных подписчиков), 749332 (для организаций)

Подписано в печать 03.12.2014 г.
Формат 60x84/8. Бумага "Navigator", А4, 80 г/м². Заказ 3417. Усл. печ. л. 17,17. Тираж 120 экз.
Отпечатано Минским областным унитарным предприятием "Слуцкая укрупненная типография"
223610, Республика Беларусь, Минская область, г. Слуцк, ул. М. Богдановича, 7.
ЛП № 02330/0494181 от 03.04.2009 г.

MINE MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING

№ 4 2014

Scientific and Technical Journal

Published since December, 1998

Issued four times a year

The journal is included in the list of scientific publications of Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus

Founder of the Journal:

JSC «Soligorsk Institute for Problems
of Resources Savings with Pilot
Production»

Edition:

Editor-in-Chief

Shcherba Vladimir Yakovlevich

Editor-in-Chief Deputy

Prushak Viktor Yakovlevich

Technical Editor

Baranovsky Anatoly Leonidovich

Executive Secretary

Zayats Irina Mikhailovna

Editorial Board:

Andreiko S.S. – Ph.D., Professor
Bogdanovich P.N. – Ph.D., Professor
Danilov V.A. – Ph.D., Professor
Zhuravkov M.A. – Ph.D., Professor
Zubov V.P. – Ph.D., Professor
Kislov N.V. – Ph.D., Professor
Petrovsky B.I. – Ph.D.
Berezovsky N.I. – Ph.D., Professor

Basinyak V.L. – Ph.D.
Brovka G.P. – Ph.D., Assist. Professor
Gubanov V.A. – Ph.D.
Zakharov Y.N. – Ph.D., Professor
Ivanov V.P. – Ph.D., Professor
Onika S.G. – Ph.D., Professor
Struck V.A. – Ph.D., Professor



Editorial Address:

The Republic of Belarus, 223710, Soligorsk, Kozlova Street, 69
Tel: (+375 174) 26 35 32, (+375 174) 28 21 07, Fax: (+375 174) 26 28 37
E-mail: ontipr@tut.by

CONTENTS

GEOTECHNOLOGY

Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A., Mozgovenko M.S. Study of appearance of rock pressure in faces at working the First, the Second and the Third potash horizons of the JSC «Belaruskali»'s mines. Part I. Study of face space convergence	5
Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A., Puzanov D.A. Study of appearance of rock pressure in faces at working the First, the Second and the Third potash horizons of the JSC «Belaruskali»'s mines. Part II. Study of bearing capacity of face support	12
Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A. About rock bearing capacity of the immediate roof above the longwall face space	18
Onika S.G., Khalyavkin F.G., Kovaleva I.M., Kulikovskaya O.Ye. Geographic informational support in decision-making at building designing and exploitation of quarries	24
Basalai I.A., Belskaya G.V. The ways of decrease of salinization and recultivation of soil in the areas of activity of JSC «Belaruskali»	29

MACHINE-BUILDING

Tayanovsky G.A., Basalai G.A., Matusovich E.V., Zagorovsky Yu.V. Traction-dynamic characteristic of the shaft self-moving vehicle	35
Konoplyanik I.A. Principles of operating regimes matching of drives and tensioning devices of belt conveyors	45
Kuchik A.S., Mikhalenya V.D., Shcherba Ye.V. The method of stress calculation of transmission of the cutting device of the selective action roadheader	51
Konoplyanik I.A. Belt conveyors parameter optimization by the method of stream of supply model making by using β -distribution	60

MATERIALS ENGINEERING

Mozheiko F.F., Potkina T.N., Shevchuk V.V., Stsefanovich S.Ch. The influence of structurization of clay-salt slime, produced at silvinit ore enrichment by flotation method, on their dewatering efficiency	66
Auvchynnikau Ye.V., Liopo V.A., Struk V.A., Grigorieva T.F. Modifying action mechanism of composite mechanoactivated silicate particles in polymeric matrixes	74
Liopo V.A., Auvchynnikau Ye.V., Struk V.A., Prushak D.A., Prushak A.S. Effects of nanoparticles on their electronic properties	82
Auvchynnikau Ye.V., Slastionov P.A., Golushko S.N., Gridiushko D.V., Kalintsev Yu.V., Brizhevich A.V. Nanocomposite lubricating materials	89

A list of articles that have been published in the journal «Mine mechanical engineering and machine-building» in 2014.....	95
--	----

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.831: 624.042.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАБОЯХ ЛАВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПЕРВОГО, ВТОРОГО, ТРЕТЬЕГО КАЛИЙНЫХ ГОРИЗОНТОВ НА РУДНИКАХ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»**Часть 1. Исследование конвергенции призабойного пространства**

Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А., Мозговенко М.С. (Унитарное предприятие «Институт горного дела», г. Солигорск, Беларусь)

В статье приводятся результаты исследований конвергенции призабойного пространства в селективных, валовых и однослойных лавах на всех действующих горизонтах рудников ОАО «Беларуськалий». На основании исследований делаются выводы о том, что конвергенция призабойного пространства не зависит от глубины залегания пласта, типа забойной крепи, а определяется, в основном, прочностными свойствами пород непосредственной и основной кровли.

Введение

Одним из параметров при выборе забойной крепи является гидравлическая раздвижность гидростоек крепи, которая позволяет работать в заданном диапазоне вынимаемой мощности пласта с учетом сближения кровли и почвы в призабойном пространстве в процессе очистной выемки, а также с учетом длительных (более 3-х суток) остановок забоя лавы. Как показывает опыт разработки Старобинского месторождения столбовыми системами, гидравлическая раздвижность крепи должна быть в 3-4 раза больше, чем конвергенция «кровля-почва» призабойного пространства, и, особенно, при наличии динамических проявлений горного давления. В связи с тем, что все забойные крепи, применяемые на месторождении, работают в податливом режиме, запас гидравлической раздвижности крепи должен обеспечивать ее работу при больших статических нагрузках (и особенно при длительных остановках забоя). Исходя из сказанного, конвергенция призабойного пространства является одним из факторов, который необходимо учитывать при ведении очистных работ столбовыми системами разработки. Ниже приводятся результаты исследований конвергенции призабойного пространства [1], которые выполнены в различных горнотехнических и горно-геологических условиях Старобинского месторождения (таблица).

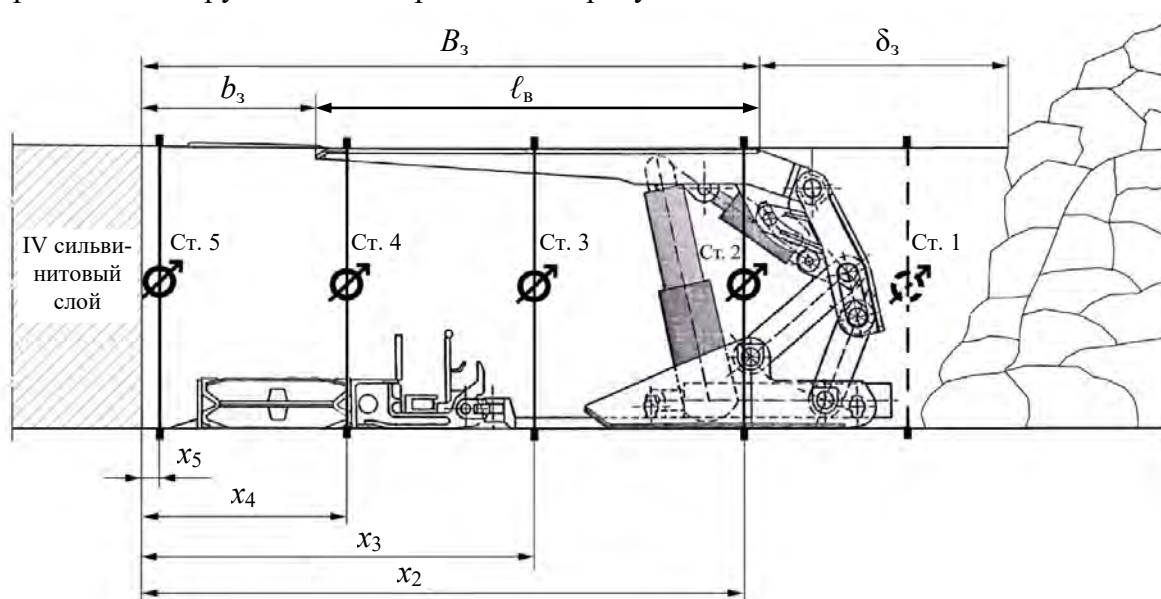
Результаты исследований

Методика проведения исследований и обработка результатов измерений основных параметров во всех лавах были одинаковыми. Замерные станции (на базе контурных реперов) по измерению конвергенции призабойного пространства устанавливались на 8-10 профилях (в зависимости от длины лавы), равномерно расположенных по длине лавы. На каждом профиле устанавливалось 8-15 станций по длине выемочного столба.

Таблица – Горнотехническая характеристика и результаты исследований горного давления в лавах ОАО «Беларуськалий». Сводные данные

Наименование параметра	Лава, рудник, горизонт									
	Лава № 28, 2 РУ, гор. – 445 м	Лава № 32, 2 РУ, гор. – 445 м	Лава № 2, 1 РУ, гор. – 200 м	Лава № 3, 1 РУ, гор. – 200 м	Лава № 16, 3 РУ, гор. – 420 м	Лава № 3с-1, 4 РУ, гор. – 440 м	Лава № 4с-1, 4 РУ, гор. – 440 м	Лава № 36, 2 РУ, гор. – 445 м	Лава № 35, 2 РУ, гор. – 445 м	Лава № 95, 1 РУ, гор. – 430 м
1. Длина лавы, м	250	250	240	240	230	258	257	220	223	223
2. Глубина разработки, м	546-625	567-610	352-451	352-451	573-601	638-760	752-845	579	575	353-374
3. Очистной комбайн	SL-500S	SL-500S	Electra-700SEL	SL-500S	Electra-700SEL	Electra-700SEL	SL-500S	SL-500S	-	Electra-340
4. Вынимаемая (средняя) мощность пласта, м	2,05-2,1	2,07-2,1	2,1-2,15	2,1-2,15	2,45	2,42	2,27	2,05-2,1	1,27-1,30	1,1
5. Тип забойной крепи	БС-2.1П; К.7	Fazos-16/24 Поз	К.4	БС-2.1ПМ	Fazos-12/28	Fazos-12/28	Fazos-12/28; К.6	К.5	К.3.03; К.3.04	К.1.01; К.3.04
5.1. Шаг установки крепи, м	2,0	2,0	2,0	1,5; 2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
5.2. Длина верхняка, м	2,65	2,2	2,4	2,65	2,65	2,65	2,65	2,4	2,182-2,482	2,482
5.3. Несущая способность крепи (кН/м ²) при $B_3 = 4,2$ м	380-386	395	600	543	357-360	357-360	357-360	395	389-414	380-414
6. Конвергенция при забойного пространства (мм) на расстоянии 4,5 м от забоя:										
- минимальное значение;	37	42	52	32,8	59	69,4	47,3	–	34	19,5
- среднее значение;	45	50	63,5	47,8	75	75,25	60,6	65	45	31,4
- максимальное значение;	50,5	70	83	58	86	83,25	68	–	53	42

Установка станций производилась сразу же после оформления забоя и на минимально возможном расстоянии от него. Схема установки станций на профиле на примере лавы № 87 рудника 1 РУ приведена на рисунке 1.



B_3 – ширина призабойного пространства; $x_2, \dots, x_5$ – расстояние от забоя лавы до искомой станции;
 b_3 – ширина незакрепленной полосы кровли от забоя лавы до передней части верхняка крепи;
 δ_3 – величина зависания непосредственной кровли за забойной крепью;
 ℓ_v – длина верхняка забойной крепи, м

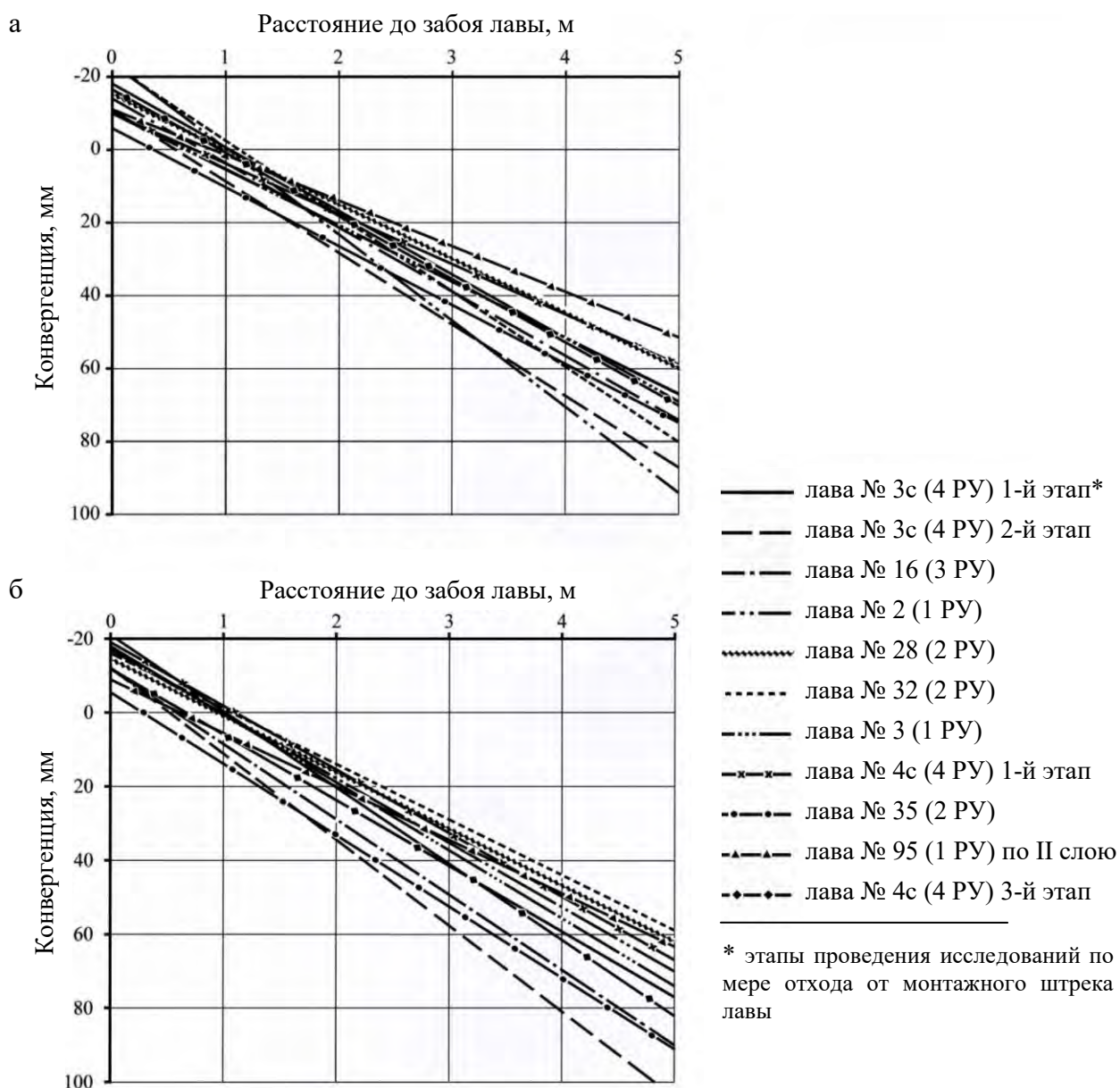
Рисунок 1 – Схема установки станций для измерения конвергенции «кровля-почва» призабойного пространства в лаве № 87 горизонт –430 м рудника 1 РУ

По каждой станции (до ее выхода за забойную крепь) выполнялось от 3 до 8 замеров. Из-за наличия забойного конвейера имела некоторая «мертвая» зона (на расстоянии 1-3,5 м от забоя), где замеры по станциям не выполнялись. По каждому профилю после обработки результатов измерений строились графики изменения конвергенции призабойного пространства в зависимости от расстояния до забоя, а также определялась математическая зависимость между этими признаками.

На рисунке 2 приведены результаты измерений конвергенции призабойного пространства по всем лавам в районе бортовых штреков (секции крепи № 20-№ 28, позиция «а») и в их центральной части (секции крепи № 67, № 68, позиция «б»). Учитывая небольшой разброс значений конвергенции по длине каждой лавы на всех профилях, а также аналогичных данных по всем лавам на соответствующих профилях, который укладывается в обычный статистический разброс, результаты измерений были обработаны как единый материал по всем лавам. В результате появились математические зависимости для вычисления конвергенции призабойного пространства в зависимости от ширины призабойного пространства в краевых и центральных частях по длине лавы. При этом необходимо иметь ввиду, что значения конвергенции со знаком (+), приведенные на рисунке 2, определяют деформацию краевой части пласта (отжим), а со знаком (–) – собственно конвергенцию призабойного пространства. В отсутствии пучения почвы лавы это прогиб (наклон) кровли в призабойном пространстве.

Для расчета конвергенции в районе бортовых штреков (до 40 м от бортового штрека), расположенных со стороны «массива», предлагается формула (1)

$$y = -17,757x + 15,06, \text{ мм.} \quad (1)$$



а – секции 20-28 в районе бортовых штреков, пройденных со стороны «массива»;

б – секции 67, 68 в центральной части лавы

Рисунок 2 – Сводные данные о характере изменения конвергенции призабойного пространства в лавах ОАО «Беларуськалий»

Для расчета в центральной части лавы (± 20 м от центра лавы):

$$y = -18,079x + 14,905, \text{ мм.} \quad (2)$$

Для расчета конвергенции в районе бортовых штреков (до 40 м от бортового штрека), расположенных со стороны смежноотработанных лав, с учетом результатов исследований работ [2, 3] предлагается зависимость

$$y = (-18,079x + 14,905) \cdot 1,25, \text{ мм,} \quad (3)$$

где y – конвергенция «кровля-почва» призабойного пространства, мм;

x – расстояние от забоя лавы до искомой точки призабойного пространства, м.

Как видно из полученных эмпирических зависимостей, конвергенция призабойного пространства по ширине лавы изменяется по прямолинейному закону. Коэффициент вариации при этом составляет 0,88-0,94, что говорит о довольно высокой связи между признаками. Прямолинейный характер изменения конвергенции по ширине призабойного пространства говорит о совместной работе боковых пород и забойной крепи.

Учитывая полученные зависимости, а также данные о горнотехнических и горно-геологических условиях проведенных исследований, приведенных в таблице, необходимо сделать следующие выводы:

- конвергенция призабойного пространства не зависит от глубины ведения горных работ, типа и несущей способности забойной крепи;
- конвергенция призабойного пространства зависит от геологического строения пород непосредственной кровли (это глинисто-соляные породы на всех горизонтах), их прочности на изгиб (отличаются незначительно на всех действующих горизонтах и рудниках) и, как следствие, от обрушаемости (зависания) за закрепным пространством.

Кроме оценки конвергенции призабойного пространства в зависимости от изменения ширины призабойного пространства выполнялись работы, связанные с оценкой влияния на нее и других факторов, таких как:

- величина зависания непосредственной кровли за забойной крепью δ_3 ;
- ширина незакрепленной полосы кровли от забоя лавы до передней части верхняка крепи b_3 (рисунок 1);
- длина верхняка забойной крепи ℓ_v .

Конвергенция призабойного пространства изучалась также в зависимости от комбинации этих параметров, в частности, от условных параметров A и C . Параметр $A = \delta_3 + b_3 + \ell_v$. Параметр $C = \delta_3 + b_3$. При статистической обработке результатов измерений были использованы степенная, полиномиальная логарифмическая и прямолинейная функции. Наибольшие значения коэффициента корреляции, определяющего связь между признаками, были получены при полиномиальной функции, однако при этом терялся физический смысл в конвергенции призабойного пространства. Поэтому для последующего анализа были использованы степенные и прямолинейные зависимости. Результаты исследований приведены на рисунке 3. Из анализа результатов измерений можно сделать следующие выводы.

1. Наибольшая связь между признаками отмечается на первых трех графиках, то есть конвергенция призабойного пространства имеет наибольшую корреляционную связь в зависимости от изменения зависания кровли за забойной крепью δ_3 , условных параметров C и A , и в меньшей степени – от ширины незакрепленной полосы кровли b_3 . Среднее квадратичное отклонение по первым трем параметрам находится в интервале $R^2 = 0,6032-0,7223$, что говорит о достаточной связи признаков, и, как следствие, о возможности использования полученных зависимостей для практических расчетов конвергенции призабойного пространства лав.

2. Во всех случаях отмечается тенденция уменьшения конвергенции призабойного пространства в зависимости от увеличения параметров δ_3 , b_3 , C , A .

3. Наибольшая связь между признаками отмечается при изменении параметра C , который характеризует ширину незакрепленной полосы кровли в призабойном пространстве b_3 и величину зависания пород непосредственной кровли за закрепным пространством δ_3 . Из двух приведенных параметров, наибольшее влияние на конвергенцию призабойного пространства, на наш взгляд, оказывает величина зависания по-

род непосредственной кровли, которая изменяется в интервале 1,7-5,8 м, а не ширина незакрепленной полосы кровли, которая изменяется в пределах 1,75-2,25 м.

4. Параметр A также, в основном, зависит от величины зависания пород непосредственной кровли, так как длина верхняка забойной крепи во всех лавах практически была одинаковой и составляла 2,4-2,65 м.

5. Коэффициент опускания кровли a по ширине забоя в среднем по всем лавам изменялся в интервале 0,011-0,019 м⁻¹. Поэтому при определении конструктивных параметров крепи данный коэффициент рекомендуется принимать таким же, как в Инструкции [4], а именно, $a = 0,015$ м⁻¹.

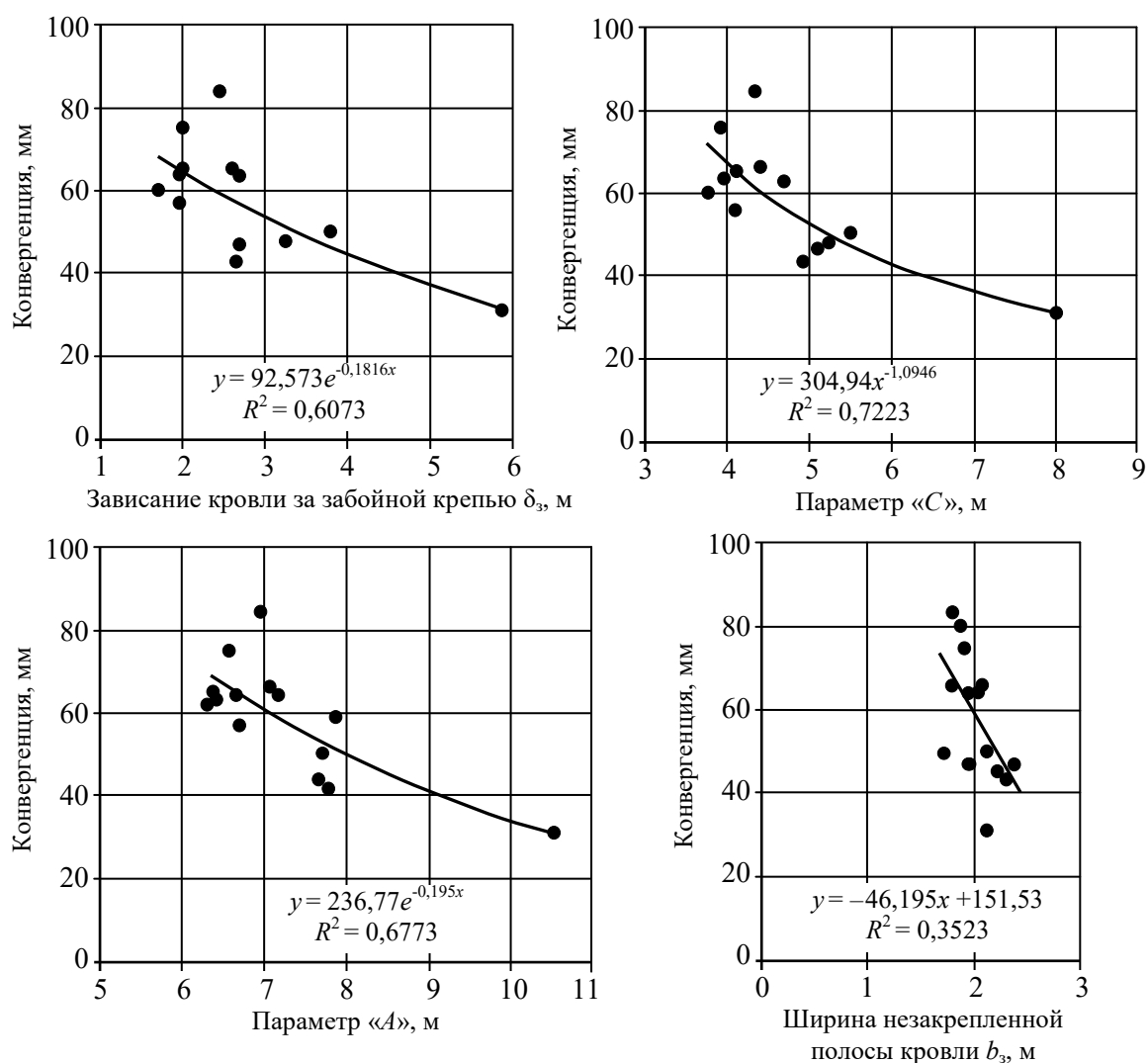


Рисунок 3 – Изменение конвергенции призабойного пространства в зависимости от параметров δ_3 , b_3 , C , A

Заключение

В результате проведенных исследований конвергенции «кровля-почва» призабойного пространства в селективных, валовых, однослойных лавах (всего 10 лав) Первого, Второго и Третьего калийных горизонтов были получены исходные данные, на основании которых можно сделать следующие выводы:

- конвергенция призабойного пространства не зависит от глубины ведения очистных работ, типа и несущей способности забойной крепи, а зависит от геологического строения пород непосредственной кровли (это глинисто-соляные породы на всех горизонтах и, в основном, во всех лавах относились к I и II типу по условию устойчивости обнажений), их прочности на изгиб (отличается незначительно на всех действующих горизонтах и рудниках) и, как следствие, от обрушаемости (зависания) за закрепным пространством;

- максимальная конвергенция призабойного пространства в лавах (при статическом режиме нагружения) не превысила 100 мм, то есть в 4,0-4,5 раза ниже, чем гидравлическая раздвижность крепи;

- коэффициент опускания кровли a по ширине забоя лавы в среднем по всем лавам изменяется в интервале 0,011- 0,019 м⁻¹. Поэтому при определении конструктивных параметров крепи данный коэффициент рекомендуется принимать таким же, как в Инструкции [4], а именно, $a = 0,015$ м⁻¹.

Список использованных источников

1. Обобщить результаты шахтных исследований и разработать рекомендации по параметрам установки забойной крепи при селективной выемке калийных пластов: отчет о НИР (промежуточ. по дог. № 02/09, этап 2) / ЧУП «Институт горного дела»; рук. В.А. Губанов; исполн. Поляков А.Л. [и др.]. – Солигорск, 2011. – 44 с. – № ГР 20092318.

2. Обобщить результаты исследований, разработать рекомендации по проведению, охране демонтажных выработок, методику расчета крепления участка, образованного проведением демонтажной выработки и призабойным пространством: отчет о НИР (заключит. по дог. № 08/12, этап 2) / ЧУП «Институт горного дела»; рук. В.А. Губанов; исполн. Мозговенко М.С. [и др.]. – Солигорск, 2013. – 78 с. – № ГР 20120746.

3. **Губанов, В.А.** Исследование параметров установки крепи на интенсивность опускания кровли в очистном забое / В.А. Губанов // Горная механика. – 2005. – № 1. – С. 10-16.

4. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. – Солигорск - Минск, 2010. – 152 с.

Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A., Mozgovenko M.S.

Study of appearance of rock pressure in faces at working the First, the Second and the Third potash horizons of the JSC «Belaruskali»'s mines

Part I. Study of face space convergence

The paper states the results of the studies of face space convergence in selective, complete and one-layer longwall faces within all working levels of the JSC «Belaruskali»'s mines. The authors have concluded that face space convergence does not depend on the depth of the seam bedding and the type of the face support and that it is determined mainly by the rock strength properties of the immediate and the main roof.

Поступила в редакцию 06.10.2014 г.

УДК 622.831: 624.042.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАБОЯХ ЛАВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПЕРВОГО, ВТОРОГО, ТРЕТЬЕГО КАЛИЙНЫХ ГОРИЗОНТОВ НА РУДНИКАХ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Часть 2. Исследование несущей способности забойной крепи

Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А., Пузанов Д.А. (Унитарное предприятие «Институт горного дела», г. Солигорск, Беларусь)

В первой части статьи были рассмотрены исследования, связанные с изучением конвергенции призабойного пространства в селективных, валовых и одно-слоевых лавах на Первом, Втором, Третьем горизонтах рудников ОАО «Беларуськалий». По результатам исследований получены соответствующие зависимости изменения конвергенции призабойного пространства.

Во второй части статьи приведены результаты исследований фактической удельной нагрузки на забойную гидромеханизированную крепь в тех же лавах.

Введение

Расчеты несущей способности забойной крепи на Старобинском месторождении калийных солей выполняются по методике, изложенной в работе [1]. Данная методика была разработана на основании исследований, которые были выполнены в период с 1980 по 2000 годы, и больше практически не изменялась за исключением корректировки и ввода некоторых коэффициентов. В вышеуказанном документе, например, пока отсутствует расчет параметров установки забойной крепи в селективных лавах. Для устранения этого недостатка в течение 2011-2013 годов на месторождении были выполнены работы, связанные с изучением характера нагружения забойной крепи в селективных лавах на всех действующих горизонтах, а также частично в валовых и одно-слоевых лавах, результаты по которым приведены ниже.

Результаты исследований

Несущая способность забойной крепи во всех лавах изучалась путем измерения ее нагруженности с помощью штатных манометров, установленных на гидростойках крепи, а также с помощью образцового манометра ХР21. С помощью образцового манометра ХР21 определялась точность и достоверность измерений штатных манометров и их работоспособность. Проверочные измерения показали, что погрешность измерения нагруженности забойной крепи по штатным манометрам не превышает 10-15 % от образцового, а значит штатные манометры можно использовать успешно в практических целях. Учитывая, что штатные манометры установлены на каждой секции забойной крепи, то с их помощью можно измерять нагруженность забойной крепи по всей длине лавы. Фактическая удельная нагрузка на забойную крепь рассчитывалась с использованием эпюры распределения средней нагрузки, которая строилась на основании результатов измерений давления на всех гидростойках линейной крепи по длине лавы, в том числе и с учетом неисправных гидростоек.

Фактическая удельная нагрузка рассчитывалась по известной зависимости:

$$q_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{B_3 \cdot S}, \text{ кН/м}^2,$$

где Q_{ϕ} – фактическая нагрузка на крепь, рассчитанная по результатам измерения фактического давления в гидростойках крепи, кН;

B_3 – фактическая ширина призабойного пространства в районе конкретной секции забойной крепи, м;

S – шаг установки крепи, м.

Расчеты выполнялись, в основном, для секций, которые были расположены в районе установки замерных станций (профилей) для измерения конвергенции призабойного пространства, что в последующем было использовано для оценки взаимного влияния этих факторов. Характер изменения нагруженности забойной крепи по штатным манометрам приведен (на примере лавы № 4с-1 горизонт –440 м рудника 4 РУ) на рисунке 1, а результаты расчета фактической удельной нагрузки в зависимости от ширины призабойного пространства по длине лавы на рисунке 2.

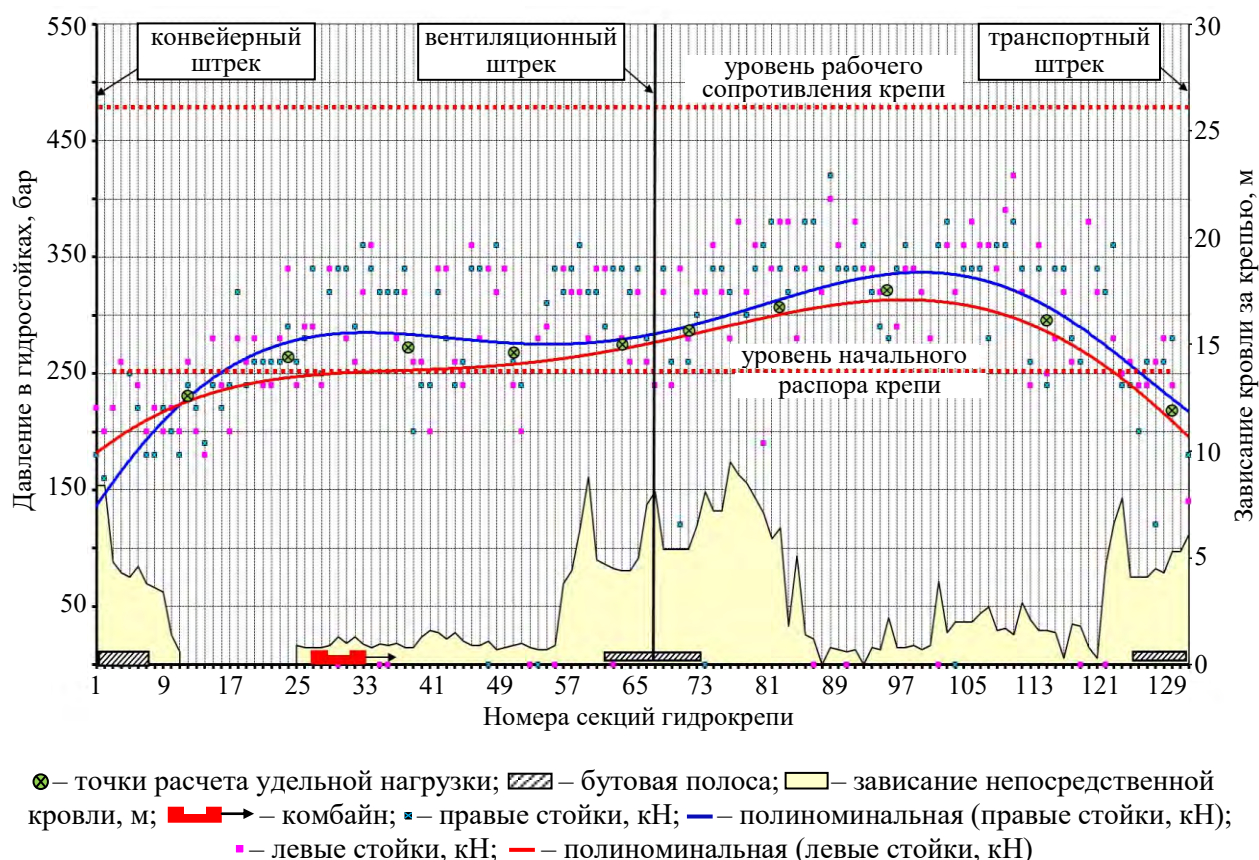


Рисунок 1 – Характер нагружения забойной крепи Fazos 12/28 M2 и K.6 и величина зависания непосредственной кровли в выработанном пространстве лавы № 4с-1 (замеры по манометрам сняты 14.03.2011 г. в 9 ч 50 мин) на первом этапе исследований

Аналогичным образом велись измерения нагруженности забойной крепи и расчет удельной фактической нагрузки во всех объектах исследования – лавах Первого, Второго, Третьего горизонтов рудников ОАО «Беларуськалий». Как показали исследования, нагрузка на забойную крепь по длине лавы распределяется практически равномерно (с некоторым увеличением на 10-15 % в центральной части лавы, что характерно

и для валовых и для однослойных лав). Исходя из этого, при последующем анализе результатов измерений использовались средние значения удельной нагрузки по длине конкретной лавы при выявлении зависимости удельной нагрузки от влияющих факторов, описанных в первой части статьи.

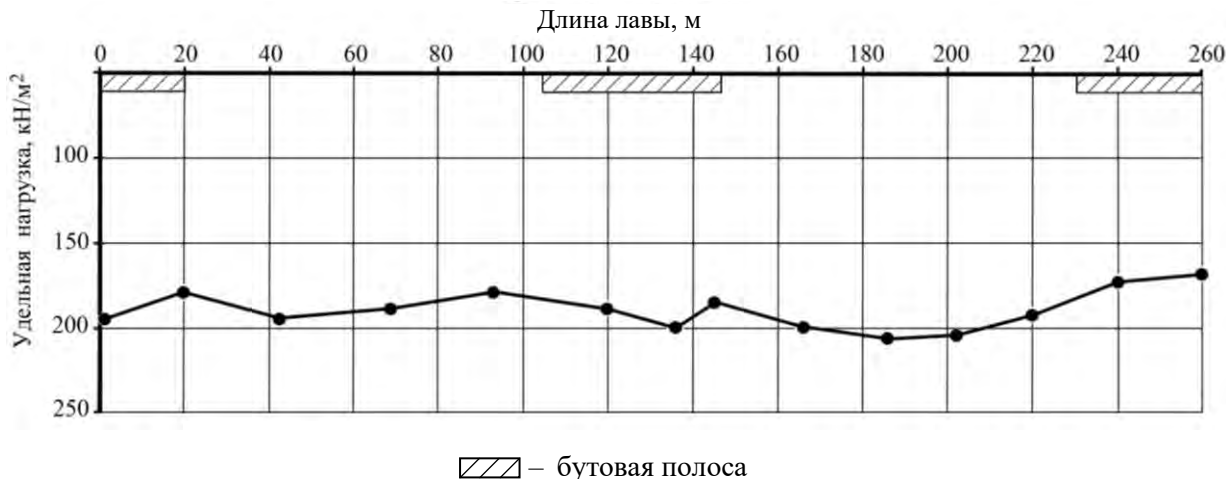


Рисунок 2 – Сводные данные о характере нагружения забойной крепи и крепи сопряжений в лаве № 4с-1 горизонт –440 м рудника 4 РУ по трем этапам измерений

Для упрощения анализа результатов считаем необходимым и в данной статье повторно привести сводные данные о горнотехнических и горно-геологических условиях проведения экспериментов, с учетом измерений фактической удельной нагрузки на забойную крепь. Эти данные отражены в таблице.

Результаты исследований по всем лавам приведены на рисунке 3. При оценке результатов измерений необходимо иметь ввиду, что расчетная несущая способность крепи (при $B_3 = 4,2$ м) в большинстве лав находилась в интервале 357-414 кН/м², за исключением лав Первого горизонта рудника 1 РУ, где данный параметр составлял 543-600 кН/м².

Анализ полученных данных говорит о следующем:

- среднее квадратичное отклонение удельной нагрузки в зависимости от параметров δ_3 , b_3 , C , A^* составляет $R^2 = 0,5565-0,8026$, что говорит об удовлетворительной связи между признаками, а значит, результаты измерений можно применить для последующего анализа и использования в практических целях;

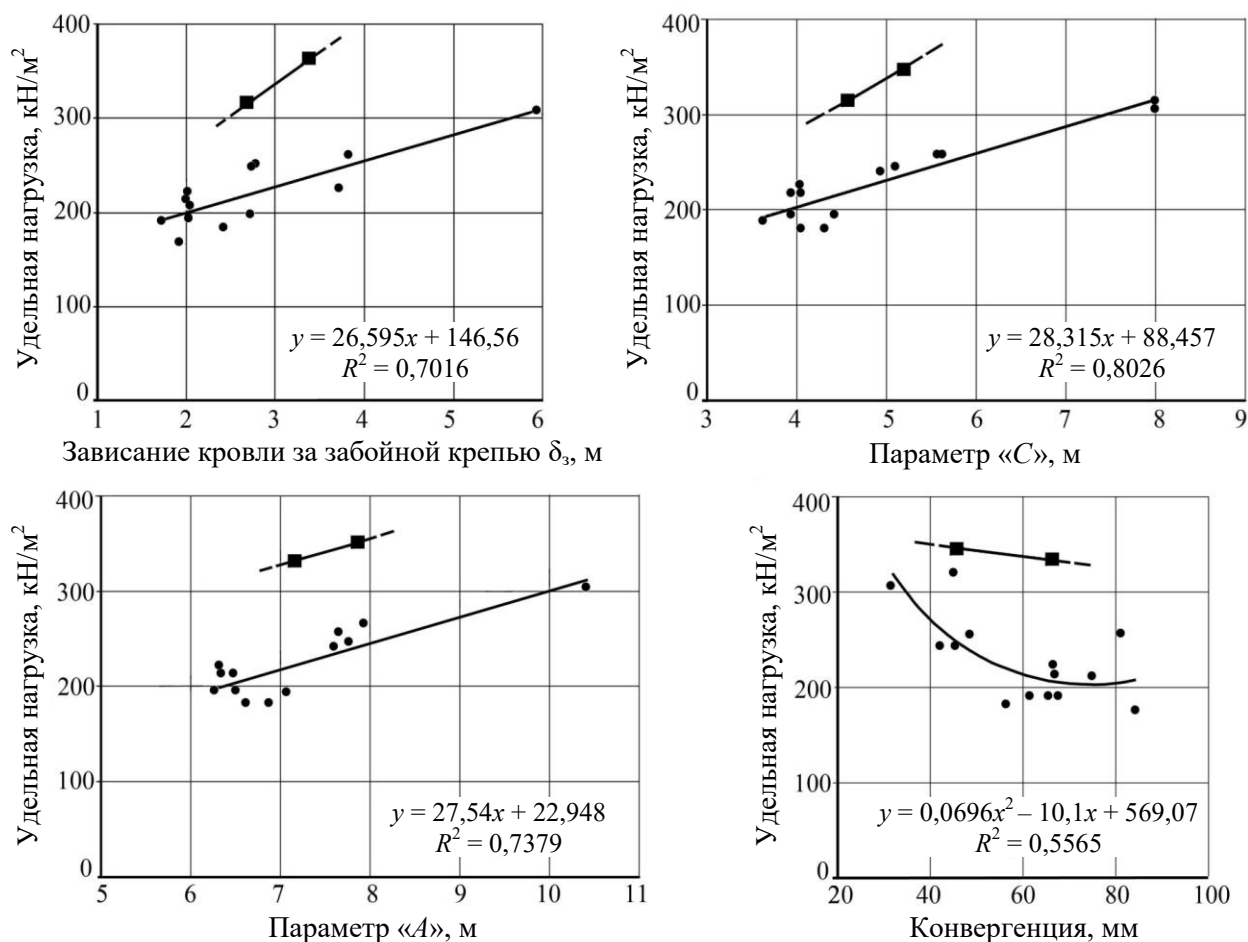
- удельная нагрузка (для крепей с расчетной несущей способностью 375-414 кН/м² и $B_3 = 4,2$ м) на забойную крепь увеличивается по мере увеличения зависания непосредственной кровли за забойной крепью в среднем с 187 до 306 кН/м² при изменении зависания пород непосредственной кровли с 1,75 до 5,80 м;

- фактическая удельная нагрузка (для крепей с расчетной несущей способностью 543-600 кН/м² и $B_3 = 4,2$ м) на забойную крепь составляет 335-349 кН/м² при зависании непосредственной кровли за забойной крепью в пределах 2,6-3,2 м. Результаты измерений удельной нагрузки на данных крепях не вписываются в полученные зависимости для крепей с несущей способностью до 400 кН/м² и требуют проведения дополнительных исследований;

* Параметры призабойного пространства лав: δ_3 – величина зависания непосредственной кровли за забойной крепью; b_3 – величина незакрепленной полосы кровли от забоя лавы до передней части верхняка крепи; ℓ_b – длина верхняка забойной крепи, м; A – условный параметр ($A = \delta_3 + b_3 + \ell_b$); C – условный параметр ($C = \delta_3 + b_3$)

- аналогичным образом изменяется фактическая удельная нагрузка и при изменении параметров C и A ;

- влияние удельной нагрузки на конвергенцию призабойного пространства проявляется при $q_{\phi} > 250 \text{ кН/м}^2$, а при меньших значениях отмечается выполаживание кривой и насыщение удельной нагрузки при увеличении конвергенции призабойного пространства. Данный вывод говорит о том, что на конвергенцию призабойного пространства, кроме нагрузки на крепь, влияют и другие факторы, изложенные подробно в первой части статьи.



- — крепи с расчетной несущей способностью 357-414 кН/м²;
- — крепи с расчетной несущей способностью 543-600 кН/м²

Рисунок 3 – Результаты измерений и расчета фактической удельной нагрузки на забойную крепь в зависимости от параметров δ_3 , b_3 , C , A и конвергенции призабойного пространства

Заключение

Проведенные исследования проявлений горного давления в призабойном пространстве на Первом, Втором, Третьем калийных горизонтах всех рудников дополнили ранее полученные данные, а также позволили получить новые, которые, например, доказали отсутствие влияния глубины разработки на удельную нагрузку забойной крепи и конвергенцию призабойного пространства.

Таблица – Горнотехническая характеристика и результаты исследований проявления горного давления в лавах ОАО «Беларуськалий». Сводные данные

Наименование параметра	Лава, рудник, горизонт									
	Лава № 28, 2 РУ, гор. – 445 м	Лава № 32, 2 РУ, гор. – 445 м	Лава № 2, 1 РУ, гор. – 200 м	Лава № 3, 1 РУ, гор. – 200 м	Лава № 16, 3 РУ, гор. – 420 м	Лава № 3с-1, 4 РУ, гор. – 440 м	Лава № 4с-1, 4 РУ, гор. – 440 м	Лава № 36, 2 РУ, гор. – 445 м	Лава № 35, 2 РУ, гор. – 445 м	Лава № 95, 1 РУ, гор. – 430 м
1. Длина лавы, м	250	250	240	240	230	258	257	220	223	223
2. Глубина разработки, м	546-625	567-610	352-451	352-451	573-601	638-760	752-845	579	575	353-374
3. Очистной комбайн	SL-500S	SL-500S	Electra-700SEL	SL-500S	Electra-700SEL	Electra-700SEL	SL-500S	SL-500S	-	Electra-340
4. Вынимаемая (средняя) мощность пласта, м	2,05-2,1	2,07-2,1	2,1-2,15	2,1-2,15	2,45	2,42	2,27	2,05-2,1	1,27-1,30	1,1
5. Тип забойной крепи	БС-2.1П; К.7	Fazos-16/24 Поз	К.4	БС-2.1ПМ	Fazos-12/28	Fazos-12/28	Fazos-12/28; К.6	К.5	К.3.03; К.3.04	К.1.01; К.3.04
5.1. Шаг установки крепи, м	2,0	2,0	2,0	1,5; 2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
5.2. Длина верхняка, м	2,65	2,2	2,4	2,65	2,65	2,65	2,65	2,4	2,182-2,482	2,482
5.3. Несущая способность крепи (кН/м ²) при $B_3 = 4,2$ м	380-386	395	600	543	357-360	357-360	357-360	395	389-414	380-414
6. Конвергенция призабойного пространства (мм) на расстоянии 4,5 м от забоя:										
- минимальное знач.;	37	42	52	32,8	59	69,4	47,3	-	34	19,5
- среднее;	45	50	63,5	47,8	75	75,25	60,6	65	45	31,4
- максимальное	50,5	70	83	58	86	83,25	68	-	53	42
7. Фактическая удельная нагрузка на секцию крепи, кН/м ² :										
- минимальное знач.;	165	182	251	232	155	120	138	143	234	248
- среднее;	243	254	335	349	216	190	192	216	292	306
- максимальное	322	354	498	463	285	244	266	322	433	336

В целом по проделанной работе необходимо сделать следующие выводы:

- установлены эмпирические зависимости изменения конвергенции «кровля - почва» призабойного пространства в зависимости от величины зависания пород непосредственной кровли за забойной крепью и несущей способности крепи;
- наибольшее влияние несущей способности забойной крепи на конвергенцию призабойного пространства проявляется при удельной нагрузке $q_{\phi} > 250 \text{ кН/м}^2$, при меньших значениях удельной нагрузки это влияние незначительно;
- изучение закономерностей изменения конвергенции призабойного пространства при использовании забойной крепи с несущей способностью свыше 500 кН/м^2 требует проведения дополнительных исследований;
- во всех лавах (при статическом режиме нагружения) максимально зафиксированная фактическая нагрузка на забойную крепь меньше расчетной в 1,1-1,44 раза.

Список использованных источников

1. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. – Солигорск - Минск, 2010. – 152 с.

Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A., Puzanov D.A.

**Study of appearance of rock pressure in faces at working the First, the Second and the Third potash horizons of the JSC «Belaruskali»'s mines
Part II. Study of bearing capacity of face support**

The first part of the article considered investigations concerning study of face space convergence in selective, complete and one-layer longwall faces within the First, the Second and the Third levels of the JSC «Belaruskali»'s ore mines. On the bases of investigation results there are obtained relevant dependences of change of the face space.

The second part of the article deals with investigation results of actual specific load on the face hydraulic powered support in the same longwall faces.

Поступила в редакцию 06.10.2014 г.

УДК 622.831.2

О НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОРОД НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КРОВЛИ НАД ПРИЗАБОЙНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ЛАВ

Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А. (Унитарное предприятие «Институт горного дела» г. Солигорск, Беларусь)

В статье приводятся результаты расчета несущей способности глинисто-соляных пород непосредственной кровли над призабойным пространством лав при отработке Старобинского месторождения в зависимости от линейных размеров зависающих пород и их прочностных свойств.

Введение

В научно-технической литературе за последние годы приводится огромный материал, посвященный расчету несущей способности забойной крепи в зависимости от параметров ее установки и паспортных значений (технических характеристик) [1-5].

На шахтах России параметры установки крепи строго регламентированы ГОСТ 31561-2012 [6]. На Старобинском месторождении калийных солей параметры установки крепи регламентируются Инструкцией [7]. Как правило, во всех вышеизложенных работах ничего не говорится об устойчивости непосредственной кровли, точнее, о практической возможности оценки этого параметра при расчете параметров установки крепи. Первой и наиболее удачной, на наш взгляд, работой, в которой изложен инженерный подход к расчету устойчивости пород непосредственной кровли, является работа Томина С.В. [8]. Приведенная методика расчета установки основных элементов призабойного пространства учитывает не только линейные размеры породной потолочины над призабойным пространством, но и характер ее защемления в зависимости от состояния забойной крепи в момент ее передвижки (с распором, без распора, с частичным распором). К недостатку последней методики (впрочем, как и ко всем другим) можно отнести трудности в определении в шахтных условиях прочностных свойств пород непосредственной кровли и, главное, трудности в определении составляющих тензора напряжений σ_y , σ_z , а также критических напряжений σ_k при послойном разрушении пород кровли, что весьма характерно для глинисто-соляных пород Старобинского месторождения. Учитывая изложенное, авторами данной статьи предпринята попытка оценки устойчивости глинисто-соляных пород над призабойным пространством лавы, точнее оценки несущей способности самих пород при их обнажении в сравнении с несущей способностью забойной крепи и, как следствие, оценки необходимости корректировки существующей методики расчета параметров установки забойной крепи при разработке Старобинского месторождения калийных солей.

Результаты исследований

Настоящая работа является логическим продолжением работ «Исследование проявлений горного давления в забоях лав при отработке Первого, Второго, Третьего калийных горизонтов на рудниках ОАО «Беларуськалий» в 2-х частях, в которых рассмотрены исследования, связанные с устойчивостью призабойного пространства в лавы при отработке калийных пластов Старобинского месторождения, и в какой-то мере дает ответы на вопросы, затронутые в этих работах, например, о влиянии прочностных

свойств пород кровли на конвергенцию призабойного пространства в зависимости от типа и несущей способности забойной крепи.

Расчетная схема устойчивости непосредственной кровли приведена на рисунке 1.

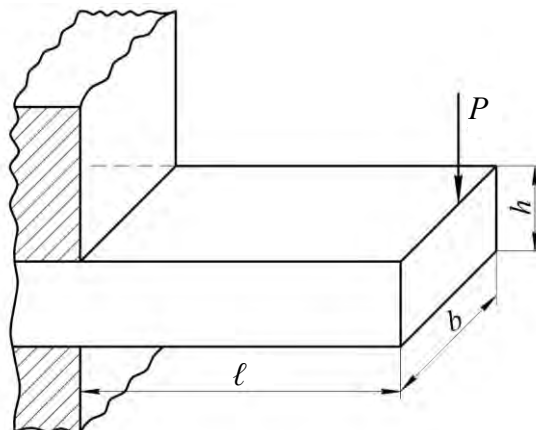


Рисунок 1 – Расчетная схема устойчивости непосредственной кровли

При расчете устойчивости консоли приняты следующие ограничения и допущения.

1. Консоль является одноопорной и закреплена одним концом. На втором конце нет реакции отпора (нет забойной крепи или обрушенных пород).

2. Нагрузка P является сосредоточенной и приложена к свободному концу консоли.

3. Ширина консоли b принята равной шагу установки секций забойной крепи, в нашем случае $b = 2,0$ м. Это наиболее характерный шаг установки забойной крепи на Старобинском месторождении.

4. Длина консоли ℓ изменялась в расчетах от 4,0 до 7,0 м (с учетом реальных зависимостей непосредственной кровли в призабойном пространстве и за забойной крепью).

5. Высота консоли h изменялась в расчетах от 2,0 до 6,0 м, h соизмерима с высотой обрушения непосредственной кровли за забойной крепью в реальных условиях.

6. Расчет устойчивости консоли выполняется для пород, которые расположены выше IV силвинитового слоя Третьего калийного пласта.

7. Возможные расслоения пород по высоте консоли по глинистым прослойкам отсутствуют и частично учитываются путем использования агрегатной прочности на изгиб.

Предел прочности породной консоли на изгиб определялся по известной из сопротивления материалов формуле

$$\sigma_{\text{max изг.}} = \frac{M_{\text{изг.}}}{W_x} = \frac{6P\ell}{b \cdot h^2}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где $M_{\text{изг.}}$ – изгибающий момент консоли, кН·см;

W_x – момент сопротивления консоли, см³;

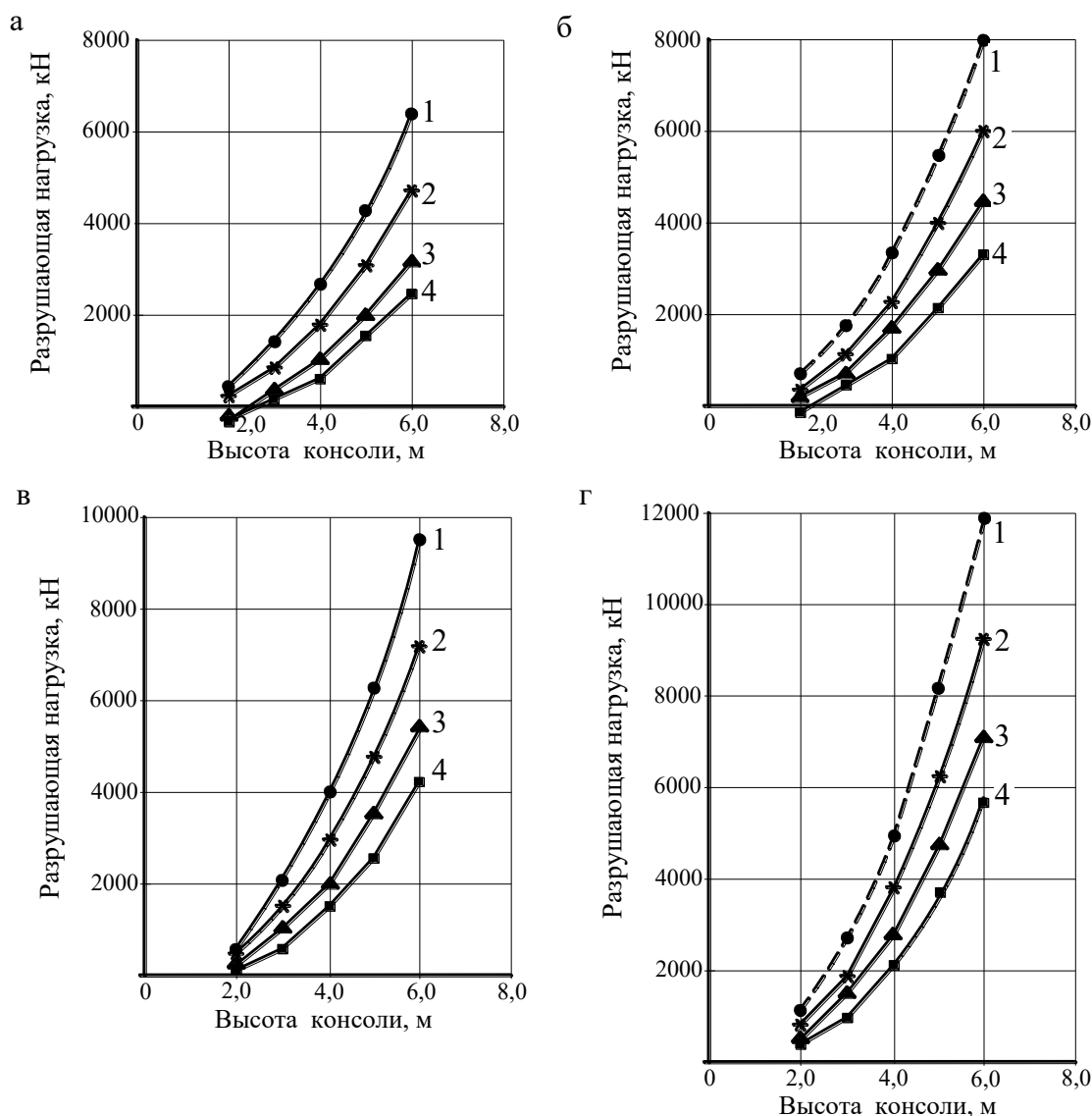
P – разрушающая нагрузка, кН;

ℓ, b, h – соответственно длина, ширина, высота консоли, см.

Преобразуем формулу относительно разрушающей нагрузки P

$$P = \frac{\sigma_{\text{изг.}} \cdot b \cdot h^2}{6\ell}, \text{ кН.} \quad (2)$$

Как видно из последней формулы, для вычисления разрушающей нагрузки необходимо знать предел прочности пород на изгиб. Как вытекает из работы [9], предел прочности пород покровной каменной соли на изгиб в 6,5-6,6 раз меньше предела прочности на одноосное сжатие, т.е. $\sigma_{\text{сж.}} / \sigma_{\text{изг.}} = 6,5-6,6$. В работе [10] приведены данные об агрегатной прочности пород на одноосное сжатие на высоту до 20 м от кровли IV сильвинитового слоя, которые были использованы для определения предела прочности пород на изгиб на высоту до 12 м от кровли IV сильвинитового слоя. В нашем случае предел прочности пород изменялся от 2,5 до 4,5 МПа. При расчетах разрушающей нагрузки P учитывался также и собственный вес консоли. На рисунках 2, 3 приведены основные результаты расчета разрушающей нагрузки на консоль в зависимости от размеров консоли и прочности пород на изгиб.



а – при $\sigma_{\text{изг.}} = 2,5$ МПа; б – при $\sigma_{\text{изг.}} = 3,0$ МПа; в – при $\sigma_{\text{изг.}} = 3,5$ МПа;
г – при $\sigma_{\text{изг.}} = 4,32$ МПа; 1 – длина консоли $\ell = 4$ м; 2 – $\ell = 5$ м; 3 – $\ell = 6$ м; 4 – $\ell = 7$ м

Рисунок 2 – Результаты расчета разрушающей нагрузки на консоль

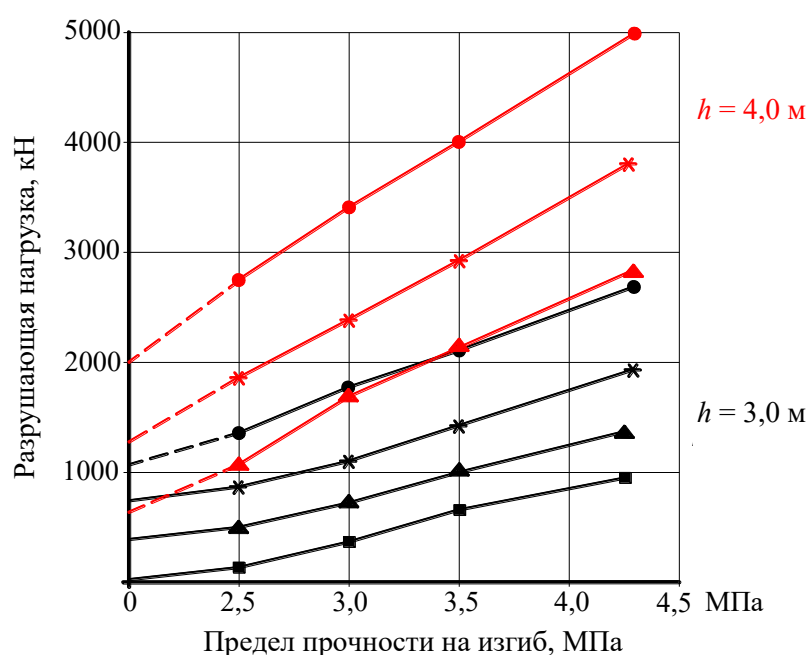


Рисунок 3 – Результаты расчета разрушающей нагрузки на консоль в зависимости от прочности пород на изгиб при высоте консоли: $h = 3,0$ м, $h = 4,0$ м

В нижеприведенной таблице для сравнения приведены данные о несущей способности одной секции различных типов крепей, которые использовались и используются в угольной промышленности и Старобинском месторождении при столбовой системе отработки.

Таблица – Несущая способность одной секции крепи

Тип крепи	Несущая способность, кН	Шаг установки, м
STS 16/24	5096,0	2,0
Fazos 16/24	3300,0	2,0
Fazos 12/28	3000,0	1,5-2,0
БС.2.П	2216,0	1,5-2,0
БС.2.П.М	3440,0	2,0
ДМ	2200,0-2800,0	1,5
MVPO 2800	3200,0	1,5
ОМТ 147	3500,0-4500,0	1,5
2КТКУ	5160,0-5950,0	1,5
К.3.03	3200,0	2,0
К.1.01	3200,0	2,0
К.5	3320,0	2,0

Заключение

Выполненные расчеты устойчивости консоли из глинисто-соляных пород, расположенной выше IV сильвинитового слоя Третьего калийного пласта, позволяют сделать следующие выводы:

- при мощности пород консоли (высоте) менее 2,0 м непосредственная кровля не является грузонесущей (рисунок 2 и таблица) при изменении ее длины от 4,0 до 7,0 м и изменении прочности пород в пределах 2,5-4,32 МПа. Основная нагрузка от вышележащих пород в этом случае прикладывается на забойную крепь. Этот вывод распространяется и на межслоевую каменную соль III-IV (при слоевой выемке Третьего калийного пласта), мощность которой составляет 0,9-1,1 м;

- при мощности консоли 4,0 м и более, а также длине консоли не более 6 метров и прочности пород на изгиб $\sigma_{изг.} \geq 3,5$ МПа она является грузонесущей. Несущая способность консоли соизмерима с несущей способностью забойной крепи, а, значит, в этом случае породы непосредственной кровли и забойная крепь совместно воспринимают нагрузку от обрушенных пород;

- устойчивость породной консоли зависит от агрегатной прочности пород ее слагающих, что необходимо (при возможности) учитывать при выборе привязки кровли в очистном забое.

Проведенные исследования позволили получить первые данные и представления о роли пород непосредственной кровли при совместной работе с забойной крепью, хотя при оценке этой работы в начальной стадии было сделано очень много ограничений, которые существенным образом ограничивают механические свойства породной консоли при послойном ее разрушении. Выполненные расчеты говорят о необходимости проведения специальных исследований, направленных на более детальное изучение механизма взаимодействия пород непосредственной кровли с гидромеханизированными крепями, а также изучения прочностных свойств соляных пород не только продуктивного пласта, но и пород кровли на высоту до 10 м от пласта. В настоящее время в существующих нормативных и методических документах данные о прочностных свойствах пород кровли отсутствуют.

Список использованных источников

1. **Кузнецов, Г.Н.** О механизме взаимодействия боковых пород и крепи в очистных выработках пологопадающих пластов каменного угля / Г.Н. Кузнецов // Труды ВНИМИ. – Л.: Углеиздат, 1953. – Вып. 27. – С. 43-49.
2. Взаимодействие механизированных крепей с кровлей / А.А. Орлов [и др.]. – М.: Недра, 1976. – 336 с.
3. **Вольмир, А.С.** Устойчивость деформируемых систем / А.С. Вольмир. – М.: Наука, 1987. – 984 с.
4. **Орлов, А.А.** Крепление и управление кровлей в комплексно-механизированных очистных забоях / А.А. Орлов, С.Г. Баранов, Б.К. Мышляев. – М.: Недра, 1993. – 284 с.
5. **Петровский, Б.И.** Взаимодействие механизированных крепей с кровлей при разработке Старобинского месторождения калийных солей / Б.И. Петровский, В.А. Губанов. – Гомель: ИММС НАНБ, 2002. – 128 с.
6. Крепи механизированные для лав. Основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ 31561-2012. – Введ. 01.01.14. – Москва: Межгос.

совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Всероссийский исследовательский ин-т стандартизации и сертификации в машиностроении, 2013. – 32 с.

7. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. – Солигорск - Минск, 2010. – 152 с.

8. **Томин, С.В.** Расчет устойчивости непосредственной кровли очистных выработок / С.В. Томин // Горнотехнические проблемы: научн. сообщ. / М.: Институт горного дела им. А.А. Сковородина, 1988. – С. 79-85.

9. Рекомендации по использованию данных о прочности соляных пород в нормативно-технических документах по ведению и проектированию горных работ на руднике 3 РУ: отчет о НИР (заключ. по дог. № 547.0.95-2000, этап 3) / ОАО «Белгорхимпром»; рук. В.А. Губанов; исполн.: А.Л. Поляков [и др.]. – Солигорск, 2000. – 23 с. – № ГР 1995760.

10. Пробурить три скважины с отбором керна на высоту до 25 м от кровли IV сильвинитового слоя для изучения прочностных свойств пород кровли на одноосное сжатие: отчет о НИР (промежут. по дог. № 59/07, этап 3) / ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»; рук. В.А. Губанов; исполн.: А.Л. Поляков [и др.]. – Солигорск, 2007. – 85 с. – № ГР 20072670.

Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A.

About rock bearing capacity of the immediate roof above the longwall face space

The paper gives the results of bearing capacity calculation of the clay-salt rocks of the immediate roof above the longwall face space at the working of the Starobin deposit depending on the linear dimensions of hanging rocks and their strength properties.

Поступила в редакцию 07.10.2014 г.

УДК 622. 235.012.3(047)(476)

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРОВ

Оника С.Г., Халявкин Ф.Г., Ковалева И.М. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Куликовская О.Е. (Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог, Украина)

В статье приведены результаты применения геоинформационной системы в практике проектирования карьеров строительных горных пород, представлены результаты моделирования поверхностей, имеющих сложную форму.

Введение

Значительное место в проектной документации, подготавливаемой при строительстве и эксплуатации карьеров, занимают графические приложения, с помощью которых представляют условия залегания месторождений и важнейшие инженерные решения, требующие иллюстрации: календарный план горных работ, план карьера в отработанном виде и другие документы. Построение значительной части чертежей основывается на сложных расчетах (в частности, гипсометрических планов месторождения), и их эффективное выполнение требует применения современных подходов, основой которых могут быть геоинформационные системы (ГИС).

Внедрение в проектную практику ГИС позволяет ускорить процесс обработки информации, повысить оперативность и точность принимаемых решений в задачах формирования двух- и трехмерных моделей залежей полезных ископаемых, подсчета объемов вскрышных пород и полезного ископаемого, планирования горных работ.

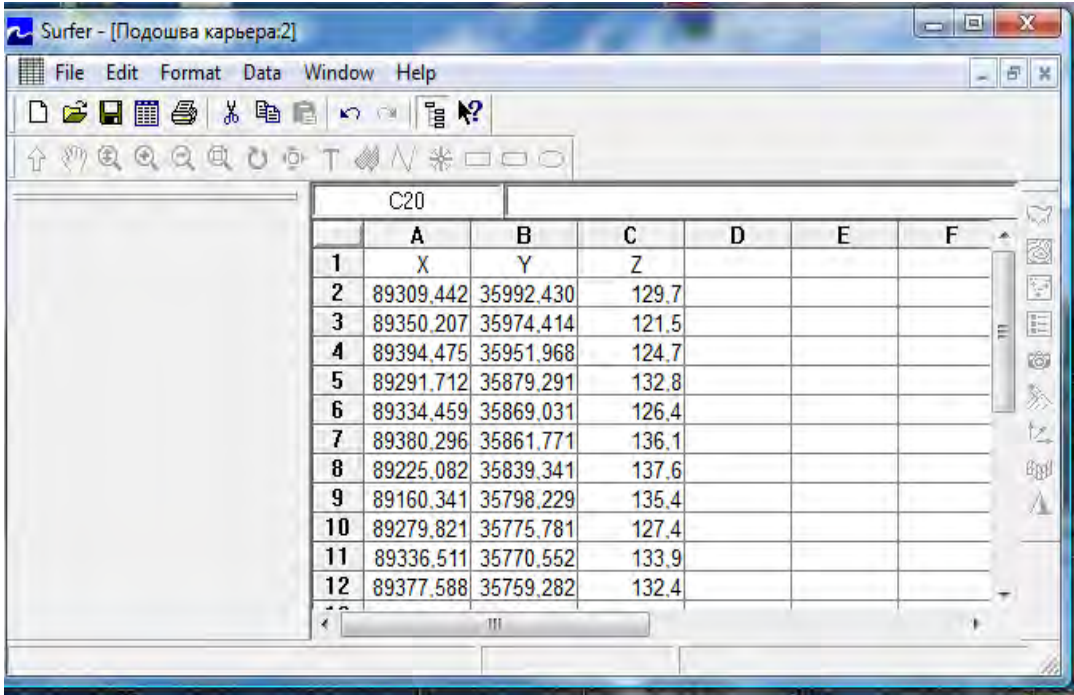
Основная часть

К числу простых и в то же время эффективных геоинформационных систем, используемых для решения указанных выше задач, относится программный комплекс SURFER американской фирмы Golden Software [1].

Моделирование залежи в ГИС включает в себя построение цифровых моделей поверхностей, к которым можно отнести кровлю и почву залежи, поверхность месторождения, планы изомощностей вскрышных пород и полезного ископаемого.

В процессе создания цифровой модели ввод данных разведочных выработок осуществляется различными способами. Ввод данных возможен непосредственно в рабочий лист Surfer или в электронную таблицу других программ (Excel, Lotus 1-2-3) с последующим импортом в рабочий лист [2]. Размещение данных в рабочий лист Surfer возможен также из текстовых редакторов через буфер обмена. Применяемые технологии отличаются простотой, удобством редактирования информации, многообразием вариантов ввода. Сформированные файлы имеют расширение *.dat и в дальнейшем служат основой для создания сеточной модели поверхности (рисунок 1).

Создание сеточной модели поверхности является вторым важным этапом цифрового моделирования залежи. Сеточные модели создавались нами при проектировании разработки целого ряда месторождений или их участков: участок Шалыги-3, месторождение песка Хабище, Обуховичи-2, месторождения ПГС Боруны, Неволожское и др.



	A	B	C	D	E	F
1	X	Y	Z			
2	89309.442	35992.430	129.7			
3	89350.207	35974.414	121.5			
4	89394.475	35951.968	124.7			
5	89291.712	35879.291	132.8			
6	89334.459	35869.031	126.4			
7	89380.296	35861.771	136.1			
8	89225.082	35839.341	137.6			
9	89160.341	35798.229	135.4			
10	89279.821	35775.781	127.4			
11	89336.511	35770.552	133.9			
12	89377.588	35759.282	132.4			

Рисунок 1 – Структура файла вводимых данных месторождения песка Хабище (*.dat)

Построение сеточных моделей выполняется с использованием геостатистических методов: Криге, радиальных базисных функции и др., широко используемых в науках о Земле.

Метод Криге представляет собой метод локальной интерполяции, согласно которому значение $Z(x)$ вычисляется как средневзвешенное известных значений Z_i в ближайших скважинах [3, 4]:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^k w_i \cdot Z_i,$$

где x – номер точки (узла) интерполяции;

w_i – поправочные коэффициенты значений Z_i , учитывающие близость каждого из узлов i к точке x ;

k – количество узлов (скважин), принимаемых для расчета интерполяционной функции.

Весовые коэффициенты определяются из эмпирической полувариограммы, которая вычисляется по формуле:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n_h} \sum_{i=1}^{n-h} (Z_i(x) - Z_i(x+h))^2,$$

где Z_i – значение поля геологического параметра, взятое в точке i ;

Z_{i+h} – другое значение, взятое через интервал h .

Другими словами, найдена сумма квадратов разностей между значениями поля геологического параметра в паре точек, разделенных расстоянием h . Число точек равно n , так что число сравнений между парами точек есть $n-h$.

В методе радиальных базисных функций искомая функция находится как линейная комбинация набора радиальных базисных функций [5, 6]:

$$S(x, y) = a + \sum_{i=1}^n \mu_i R_i(x, y),$$

где a – константа;

i – индекс точки измерений;

μ_i – неизвестные коэффициенты;

$R_i(x, y)$ – базисные функции, зависящие от расстояния точки (x, y) до i -ой точки наблюдения.

Существуют несколько типов базисных функций, наиболее часто используется – мультиквадратичная (Multiquadric) $R(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Сеточная модель подошвы участка карьера Обуховичи-2 построена по данным, введенным в рабочий лист с помощью метода Криге, имеет вид, приведенный на рисунке 2.

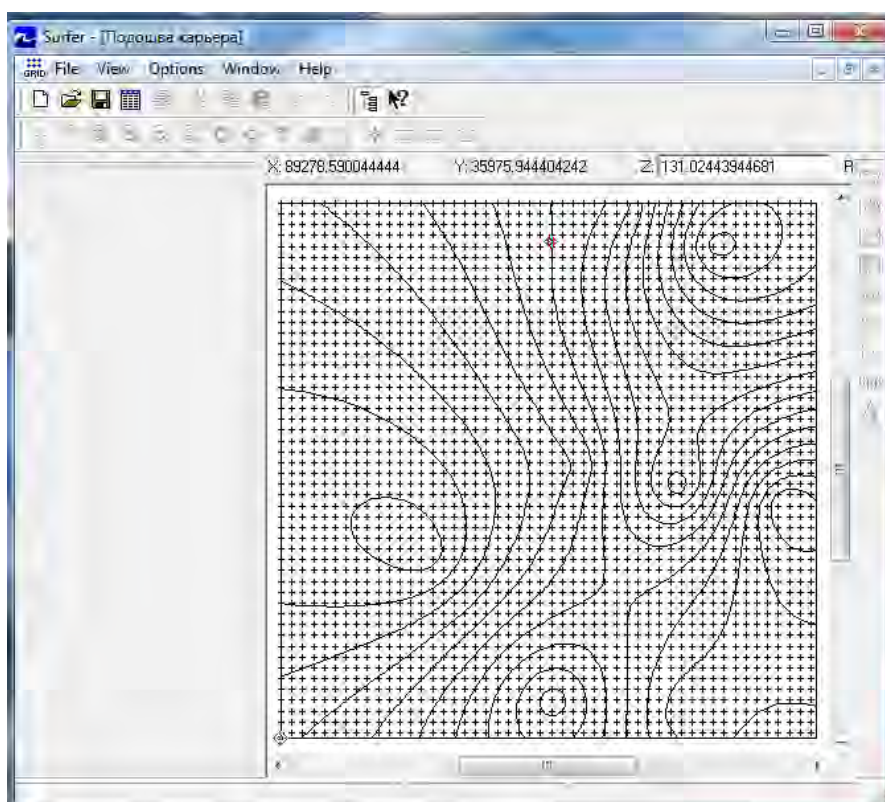


Рисунок 2 – Сеточная модель подошвы участка карьера Обуховичи-2

Фрагмент отчета программы о формировании модели дна карьера имеет вид:

Gridding Report
Planar Regression: $Z = AX + BY + C$
Fitted Parameters

	A	B	C
Parameter Value:	-0.0063507785997719	-0.015201567722862	1116.2593329748
Standard Error:	0.0085539537710305	0.0073055053864317	734.46347647749

Визуализация подошвы карьера может быть выполнена в режиме контурной карты, а также может быть представлена каркасной картой или картой с теневым рельефом, возможно трехмерное представление поверхности. На рисунке 3 показаны варианты плоского и объемного представления дна карьера. Полученные данные используются для построения плана карьера в конечном положении (плана карьера в отработанном виде).

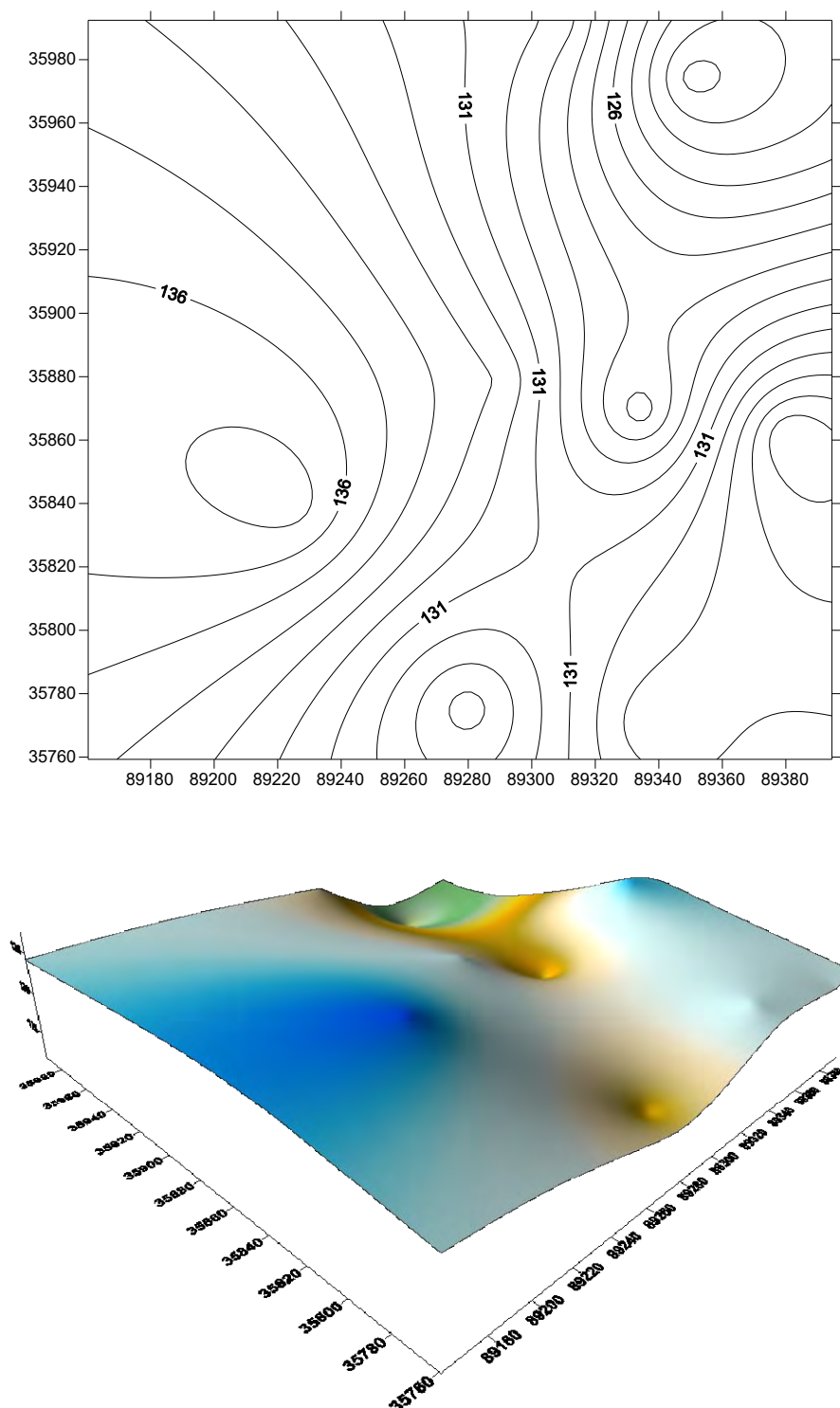


Рисунок 3 – Плоское и объемное представление дна карьера

Использование ГИС не ограничивается моделированием поверхностей, имеющих сложную форму. ГИС эффективно применяются для визуализации пространственно распределенных данных, связанных с качеством полезного ископаемого, для определения объемов вскрыши и полезного ископаемого в заданных границах, определения объемов выемки и насыпи при горнотехнической рекультивации нарушенных поверхностей, при подсчете запасов жидких тел и газосодержащих тел.

Заключение

Геоинформационные системы в настоящее время являются основным инструментом моделирования пространственно распределенных данных в различных областях, в том числе, в науках о Земле.

Непревзойденным достоинством ГИС являются заложенные в них алгоритмы интерполяции, которые позволяют с высоким качеством создавать цифровые модели поверхности в виде сеточных функций по неравномерно распределенным в пространстве данным. Они находят все более широкое применение в геологической и горной науке и, в частности, для визуального представления различного рода поверхностей, подсчета запасов полезного ископаемого и объемов горных работ.

Список использованных источников

1. **Аронов, В.И.** Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ / В.И. Аронов. – М.: Недра, 1990. – 303 с.
2. **Волков, А.М.** Геологическое картирование нефтегазоносных территорий с помощью ЭВМ / А.М. Волков. – М.: Недра, 1998. – 222 с.
3. **Дэвис, Дж.С.** Статистический анализ данных в геологии / Дж.С. Дэвис. – М.: Недра, 1990. – Т. 1, 2.
4. **Каждан, А.Б.** Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых / А.Б. Каждан. – М.: Недра, 1979. – 168 с.
5. **Каждан, А.Б.** Математические методы в геологии / А.Б. Каждан, О.И. Гуськов. – М.: Недра, 1990. – 326 с.
6. **Иванова, М.М.** Нефтепромысловая геология / М.М. Иванова, И.П. Чоловский, Ю.И. Брагин. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 414 с.

Onika S.G., Khalyavkin F.G., Kovaleva I.M., Kulikovskaya O.Ye.

Geographic informational support in decision-making at building designing and exploitation of quarries

The paper presents the results of the application of geographic information system in the practice of designing building rock quarries. The results of modeling surfaces having a complex shape are stated.

Поступила в редакцию 13.11.2014 г.

УДК 631.4:502.3

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ЗАСОЛЕНИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РАЙОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Басалай И.А., Бельская Г.В. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В статье приведен анализ известных технических решений по снижению засоления территорий, расположенных в географических регионах разработки месторождений калийных солей. Показана эффективность применения биологической рекультивации засоленных земель с использованием растений-галофитов.

Введение

Особенностью разработки месторождений полезных ископаемых является их временный характер. В связи с этим, добычу полезных ископаемых целесообразно проводить таким образом, чтобы формируемые при этом новые ландшафты, выемки, отвалы, инженерные сооружения могли в дальнейшем с максимальным эффектом использоваться для других народно-хозяйственных целей.

Опыт эксплуатации Старобинского месторождения калийных солей выявил ряд отрицательных экологических последствий производственной деятельности ОАО «Беларуськалий». Отрицательные последствия проявляются в оседании земной поверхности над отработанными месторождениями и отчуждении площадей плодородных земель в местах складирования отходов калийного производства [1, 2].

Хвостовое хозяйство предприятия связано с устройством солеотвалов (терриконов) из твердых галитовых отходов обогащения руды, а также строительством и эксплуатацией шламохранилищ для складирования жидких глинисто-солевых шламов. За 50-летний период эксплуатации Старобинского месторождения на поверхности земли в Солигорском горнопромышленном районе накопилось свыше 650 млн. т отходов на общей площади около 2 тыс. га. Высота солеотвалов достигает 120-150 м. При существующих способах обогащения руд количество отходов и занимаемая ими площадь будут возрастать. В настоящее время на территории предприятия размещается 13 шламохранилищ общей площадью свыше 1,1 тыс. га. За время эксплуатации шламохранилищ в них заскладировано около 104 млн. т галитовых глинисто-солевых шламов [3].

Основная часть

Наиболее современным и конструктивным подходом к уменьшению экологических проблем региона является применение методов экологического менеджмента [4]. Основными стратегиями экологического менеджмента являются:

- управление экологической ситуацией;
- снижение негативного воздействия на окружающую среду;
- предотвращение воздействия.

Одним из действенных инструментов экологического менеджмента является система управления окружающей средой (СУОС), созданная и поддерживаемая на предприятии. Система управления окружающей средой ОАО «Беларуськалий» разработана в соответствии с требованиями ISO 14001:2004. СУОС дает возможность вы-

явить наиболее важные воздействия деятельности на окружающую среду, актуализировать их и сделать эффективной природоохранную деятельность, а также стимулирует предприятие на внедрение лучших из доступных технологий там, где это целесообразно, экономически оправдано, с полным учетом прибыльности таких технологий [5]. СУОС является составляющей частью общей системы административного управления предприятием.

Высокое содержание легкорастворимых в воде солей (до 95 %) является отличительной особенностью галитовых и шламовых отходов. При воздействии атмосферных осадков на солеотвалы и шламохранилища образуются и накапливаются хлоридно-натриевые рассолы, что приводит к химическому загрязнению почв с тенденцией расширения площадей засоления. Кроме того, причинами распространения засоления на значительные территории являются ветровая и водная эрозии, а также выбросы соляной пыли от обоганительных фабрик, что усиливает общую картину засоления. Оседая на почве, соляные выбросы загрязняют верхний плодородный слой [1-3].

В связи с этим, особую актуальность приобретают способы предотвращения и минимизации засоления почв, а также способы их рекультивации в районе производственной деятельности предприятия.

Одним из действенных направлений предотвращения и минимизации засоления является рациональное размещение и устройство солеотвалов и шламохранилищ с учетом районирования территории шахтных полей действующих и перспективных рудоправлений. Установлена возможность использования отработанных шламохранилищ в качестве основания расширяемых солеотвалов, что позволяет значительно сократить площади, занимаемые отходами, а также снизить затраты на создание противофильтрационного экрана в их основании [3, 6].

Специалистами ОАО «Белгорхимпром» разработана технология регенерации отработанных шламохранилищ, которая дает возможность неоднократно использовать построенные емкости для складирования шламовых отходов [1]. Наиболее предпочтительным, с точки зрения использования шламовых отходов как источника полезного продукта КСИ и микроэлементов, является производство новых форм удобрений и мелиорантов, которые прошли успешные испытания в сельском хозяйстве.

Проблема отчуждения земель в результате их засоления стоит особо остро, так как ежегодно наблюдается рост техногенной нагрузки на почвы на фоне природных особенностей, благоприятных для формирования этого явления. В связи с этим, немаловажное внимание уделяется способам ликвидации хранилищ отходов калийной промышленности и рекультивации земель. Так, предлагается способ ликвидации солеотвалов на калийных рудниках [5] путем закачки образовавшихся на площади его ложа соледержащих вод в подземный водоносный горизонт.

Целый ряд разработок направлен на совершенствование методов подземного складирования отходов калийной промышленности как твердых галитовых, так и жидких глинисто-солевых, а также токсичных отходов других производств. Разработана технология совместного подземного складирования галитовых и шламовых отходов, позволяющая исключить строительство шламохранилищ, а также сократить площадь земель, отводимых под хвостовое хозяйство [7, 8]. Установлено, что при совместном складировании отходов содержание глинистых шламов составляет до 25 %, это не вызывает существенного изменения показателей общей прочности смеси, а по сравнению со свежими чистыми галитами – даже несколько их повышает. В работе [9] предлагается способ подземного хранения жидких отходов промышленного производства, заклю-

чающийся в закачивании различных по составу отходов в гидравлически изолированные друг от друга участки пласта.

В настоящее время изучается возможность применения противофильтрационного экрана из полиэтиленовой пленки для предотвращения загрязнения грунтовых вод рассолами с содержанием KCl и $NaCl$ при эксплуатации шламохранилищ калийного производства [10].

Ведутся работы в направлении совершенствования способов отвалообразования отходов калийного производства, сокращения площадей, занимаемых хранилищами отходов.

Анализ запатентованных разработок позволяет выделить методы предотвращения засоления почв при формировании солеотвалов [11], повышения эффективности гидроизоляции солеотвала путем торкретирования его поверхности глинисто-солевым шламом [12], повышения эффективности отвалообразования [13] путем заполнения зон выемки пород и концентричного размещения отходов обогащения в отвал с ориентацией мелкой и средней фракций в верхних слоях отвала, позволяющие снизить негативное воздействие на окружающую среду [14].

Засоление почвы создает крайне неблагоприятные условия для произрастания растений и, таким образом, наносит большой урон сельскохозяйственному производству, отчуждая большие площади земель из пользования (рисунок 1).

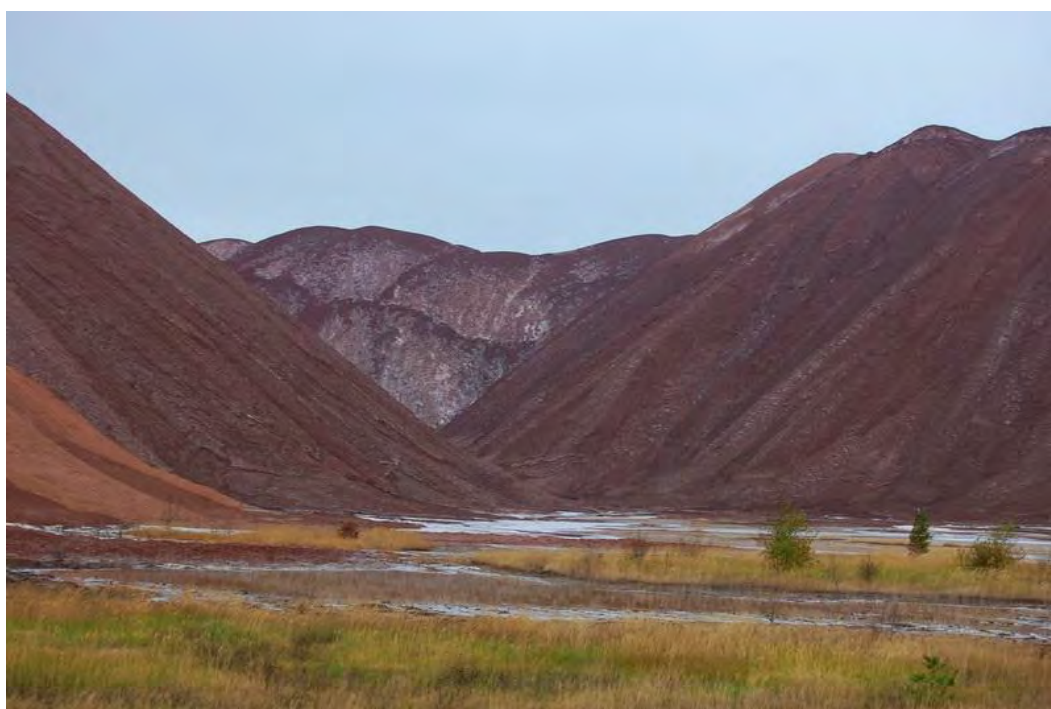


Рисунок 1 – Техногенная зона в районе солеотвалов

Мелиорация (улучшение) нарушенных почв сводится к их рассолению и созданию оптимальных условий водно-солевого баланса для произрастания растений. Вследствие этого, особую актуальность приобретает рекультивация засоленных земель в районе деятельности ОАО «Беларуськалий».

Рассоление или уменьшение засоленности достигается различными методами: механическим удалением солей; запашкой солей; поверхностной промывкой и биологической рекультивацией.

Одним из рекомендуемых методов может быть биологическая рекультивация (залужение нарушенных земель). Биологическая рекультивация направлена на закрепление поверхностного слоя почвы корневой системой растений, создание сомкнутого травостоя и предотвращение эрозии на нарушенных землях и терриконах, а также на возобновление процессов самоочищения и почвообразования.

Наиболее эффективным способом биологической рекультивации засоленных земель является выращивание галофитов. Галофиты – это экологически, физиологически и биохимически специализированные растения, способные нормально функционировать и продуцировать в условиях высокого содержания солей в почве. Из-за большого накопления солей галофиты имеют высокое осмотическое давление клеточного сока. При большой сосущей силе корневой системы, превышающей осмотическое давление почвенного раствора, галофиты способны поглощать воду из засоленной почвы [15, 16].

В современной практике успешного выращивания галофитов в условиях умеренного климата выделены следующие виды растений: костер полевой (*Bromus secalinus*), овсяница обыкновенная (*Emberiza citrinella*), сведа высокая (*Suaeda altissima*), сведа заостренная (*Suaeda acuminata*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), климакоптера мясистая (*Climacoptera crassa*), солерос европейский (*Salicornia europaea*), кохия веничная (*Kochia scoparia*), мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), трава суданская (*Sorghum sudanense*), житняк гребенчатый (*Agropyron pectinatum*), полынь солончаковая (*Artemisia halodendron*), сорго обыкновенное (*Sorghum vulgare*) и некоторые другие. Наибольшую ценность в качестве растений-рассолителей почв в условиях Республики Беларусь, по-нашему мнению, имеют сорго обыкновенное (*Sorghum vulgare*), солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*) и мятлик луковичный (*Poa bulbosa*) (рисунки 2), обладающие высокой биологической продуктивностью и нетребовательностью к почвенным условиям. Кроме того, выделенные виды растений являются многолетними травами, имеющими значение как кормовые и лекарственные культуры. Рассоление почвы с помощью указанных видов галофитов позволяет удалить вредные для культурных растений соли из почвы (на 10-15 % в год) и повысить продуктивность засоленных земель на 20-25 %. Период рассоления почв галофитами может составить 4-5 лет для условий средней степени засоления, а при сильной степени засоления – 6-7 лет.

Выводы

Таким образом, проведенный анализ комплекса технических решений в направлении экологически безопасного освоения месторождений калийных солей показывает, что уже в настоящее время существует реальная возможность разработки месторождений полезных ископаемых с организацией необходимого комплекса природоохранных мероприятий, направленных на снижение неизбежной техногенной нагрузки и учитывающих возможность последующего эффективного использования территорий. Применение биологической рекультивации почв в районе деятельности калийного производства (наряду с другими методами экологического управления) позволит вернуть в хозяйственный оборот почвы, а также снизить техногенное воздействие на окружающую среду.

а



б



в



г



а – солодка голая; б – сорго зерновое; в – сорго обыкновенное; г – мятлик луковичный

Рисунок 2 – Растения-галофиты

Список использованных источников

1. Оценка экологических рисков в регионе освоения Старобинского месторождения калийных солей // ОАО «Белгорхимпром» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bmci.by/news4.html>. – Дата доступа: 04.11.2014.
2. **Богатов, Б.А.** Открытые горные работы калийного производства в Беларуси / Б.А. Богатов, А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет // Минск: УП «Технопринт», 2004. – 255 с.
3. **Смычник, А.Д.** Технология и механизация разработки калийных месторождений / А.Д. Смычник, Б.А. Богатов, С.Ф. Шемет // Минск: Юнипак, 2005. – 224 с.
4. Системы менеджмента окружающей среды. Требования и руководство по применению: ИСО 14001:2004. – Введ. 15.11.04. – Технический Комитет ISO/TC 207, 2004. – 21 с.

5. Руководство по управлению окружающей средой ОАО «Беларуськалий». – Введ. 12.01.2009. – Солигорск: Отдел управления качеством, стандартизации и сертификации, 2009. – 56 с.
6. **Королев, В.А.** Мониторинг геологической среды: учебник / В.А. Королев; под ред. В.Т. Трофимова. – М.: МГУ, 1995. – 272 с.
7. Современные проблемы науки и образования. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/106-7513>. – Дата доступа: 06.11.2014.
8. Способ подземного складирования жидких отходов производств: пат. РФ, МПК B65G5 / В.Н. Никофоров, Ю.С. Кузнецов, В.Н. Игнатьев, А.З. Идрисов, Б.А. Нурбаев, Н.Ю. Шульгина; заявитель ОАО «Запсибгазпром». – № 2128140; заявл. 27.03.99 // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели».
9. Способ ликвидации солеотвалов на калийных рудниках: пат. РФ, МПК E21C41/32 / А.И. Шумахер, С.П. Дьяков, В.В. Белкин, Б.А. Крайнев; заявитель ОАО «Уралкалий». – № 2355887; заявл. 20.05. 09 // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели».
10. **Кологривко, А.А.** Геоэкологические задачи при реконструкции шламохранилищ калийного производства / А.А. Кологривко // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 10-й Междунар. конф., Тула, 2014 г. / ТулГУ. – Тула, 2014. – С. 363-369.
11. Способ формирования солеотвалов : а.с. СССР / В.П. Ильин, В.П. Клементьев и др.; заявитель Белорусский филиал Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института галургии. – № 1270332; заявл. 15.11.86 // Открытия. Изобретения.
12. Способ изоляции солеотвалов на калийных рудниках: пат. РФ / В.В. Белкин, В.И. Платыгин, Н.В. Кузнецов; заявитель ОАО «Уралкалий». – № 2273735; заявл. 27.04.06 // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели».
13. Способ отвалообразования и устройство для его осуществления: пат. РФ / Н.П. Хрунина, Л.Т. Крупская, Ю.А. Мамаев, Т.О. Хрунин; заявитель Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН. – № 2117156; заявл. 10.08.98 // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели».
14. Способ создания дренажа в основании накопителей отходов: пат. РФ / С.П. Вострецов; заявитель ОАО «Галургия». – № 2368729; заявл. 27.09.09 // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели».
15. **Строганов, Б.П.** Физиологические основы солеустойчивости растений / Б.П. Строганов. – М.: АН СССР, 1962. – 366 с.
16. Научный поиск молодежи XXI века: сборник научных статей по материалам XII междунар. научной конф. студентов и магистрантов, Горки, 2012 г. / БГСХА; под ред. Курдеко А.П. – Горки, 2012. – 454 с.

Basalai I.A., Belskaya G.V.

The ways of decrease of salinization and recultivation of soil in the areas of activity of JSC «Belaruskali»

There is an analysis in the article of the known technical decisions about decrease of salinization of areas located in geographical regions of potash salt deposits exploitation. The efficiency is shown of application of biological recultivation of saline soil by using salt marsh plants.

Поступила в редакцию 14.11.2014 г.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 622.112(082)

**ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
САМОХОДНОГО ШАХТНОГО ВАГОНА**

Таяновский Г.А., Басалай Г.А., Матусович Э.В., Загоровский Ю.В. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

С целью исследования разработанных технических предложений различных способов совершенствования привода колес самоходного вагона (ШВС) и последующего выбора рациональной схемы и параметров привода колес разработаны методические положения, необходимый программный модуль в технологии электронных таблиц и выполнены с его помощью расчеты тягово-динамической характеристики ШВС, оснащенного электродвигателем с переменным числом пар полюсов, для варианта установки в приводы колес по бортам фрикционов с двумя передачами.

Введение

Методика построения тягово-динамической характеристики (ТДХ) самоходного шахтного вагона (ШВС) базируется на известной методике для колесных машин с двигателями внутреннего сгорания [1]. Однако специфика механической рабочей характеристики асинхронного электродвигателя (ЭЛД) с изменяемым числом пар полюсов для получения трех передач, от которого приводятся колеса ШВС (в нашем случае используются два ЭЛД, по одному на каждый борт ШВС) (рисунок 1), вносит некоторые особенности в построение ТДХ ШВС.



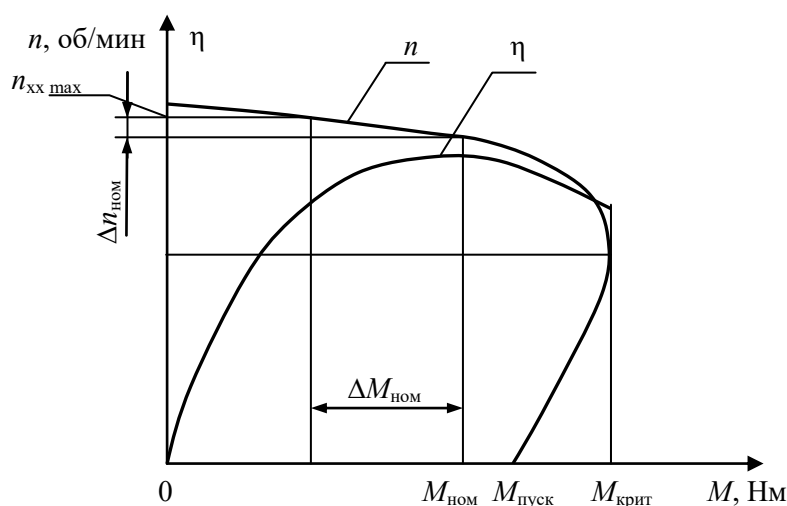
Рисунок 1 – Привод колес шахтного самоходного вагона ВС-17

В ШВС, например, ВС-17 его ЭЛД, обеспечивающие три рабочие передачи, имеют три скоростных рабочих диапазона. Как известно, динамический фактор D равен отношению определяемого ЭЛД ШВС потенциального суммарного тягового усилия P_{Σ} колес движителя за вычетом аэродинамического сопротивления P_w к текущему весу $G_{\text{ваг}}$ самоходного вагона как машины переменной массы [1]. В связи с двумя характерными эксплуатационными состояниями ШВС (порожним и полностью груженым) имеет практический интерес определение ТДХ для этих двух состояний.

Полезность ТДХ ШВС состоит в наглядности оценки эффективности вагона в преодолении всего спектра условий движения, различающихся по уклону α и сопротивлению качению f колес на различных поверхностях движения, в зависимости от скорости движения v . ТДХ необходима при обосновании выбора устанавливаемых на ШВС ЭЛД. Чтобы гарантировать требуемый по условиям эксплуатации потенциал проходимости машины, анализ ТДХ выполняется уже на стадии создания ШВС. ТДХ строится с допущением об отсутствии кинематического рассогласования окружных скоростей передних и задних колес между собой и между колесами разных бортов.

Особенности построения ТДХ колесной машины с электродвигателем

На рисунке 2 показан общий вид механической характеристики приводного ЭЛД.



$n, n_{\text{хх max}}, \Delta n_{\text{ном}}$ – частота вращения, частота при холостом ходе, диапазон изменения частоты при установившихся режимах нагружения ЭЛД со стороны потребителя на высшей передаче; $M, M_{\text{пуск}}, M_{\text{крит}}, M_{\text{ном}}, \Delta M_{\text{ном}}$ – крутящий момент, момент при пуске, критический и номинальный крутящий момент, диапазон изменения момента в диапазоне эксплуатационных режимов нагружения на высшей передаче ЭЛД; η – КПД ЭЛД

Рисунок 2 – Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Обычно по механической характеристике упомянутые ЭЛД ШВС имеют коэффициент запаса крутящего момента

$$K_{\text{зап}} = \frac{M_{\text{крит}}}{M_{\text{ном}}} = 1,2 \dots 1,3. \quad (1)$$

При $M_{\text{ном}}$ ЭЛД имеет максимальный КПД. Однако в текущем рабочем состоянии ЭЛД будет выходить на режим, отстоящий от $M_{\text{ном}}$ на величину $\Delta M_{\text{ном}}$ и при большей

частоте вращения n , $n_i = n_{\text{ном}} + \Delta n_{\text{ном } i}$, при которой КПД окажется несколько ниже, чем на номинальном режиме.

Для удобства расчета ТДХ ШВС получим скоростную характеристику ЭЛД АВТ15-4/6/12, который установлен в приводе колес самоходного шахтного вагона ВС-17, следующим способом [2, 3].

Механическая характеристика асинхронного двигателя выражает зависимость между электромагнитным моментом M и частотой вращения n , либо скольжением S . Скольжение – это величина, которая показывает насколько частота вращения магнитного поля опережает частоту вращения ротора.

Благодаря механической характеристике появляется возможность определить: к какому варианту привода колес ШВС больше подходит двигатель, на каком участке сохраняется его устойчивая работа, оценить перегрузочную способность и другое. Паспортные данные ЭЛД для построения механической характеристики представлены в таблице.

Таблица – Необходимые паспортные данные электродвигателя для построения механической характеристики

Число полюсов	Мощность номинальная, кВт	Частота вращения синхронная, об/мин	Скольжение номинальное	Кратность максимального момента
4	22	1500	0,08	2,8
6	46	1000	0,14	2,8
12	23	500	0,13	3,6

Для построения необходимо произвести расчет номинального момента:

$$M_{\text{ном}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2)$$

где $P_{\text{ном}}$ – мощность номинальная, кВт;

$n_{\text{ном}}$ – частота вращения номинальная, об/мин:

$$n_{\text{ном}} = n_0 \cdot (1 - S_{\text{ном}}), \text{ об/мин}, \quad (3)$$

где n_0 – частота вращения синхронная, об/мин;

$S_{\text{ном}}$ – скольжение номинальное.

Определим номинальную частоту вращения для включенных обмоток ротора:

- четырех полюсов: $n_{\text{ном}(4)} = 1500 \cdot (1 - 0,08) = 1380$ об/мин;

- шести полюсов: $n_{\text{ном}(6)} = 1000 \cdot (1 - 0,14) = 860$ об/мин;

- двенадцати полюсов: $n_{\text{ном}(12)} = 500 \cdot (1 - 0,13) = 435$ об/мин.

Определим номинальный момент для включенных обмоток ротора:

- четырех полюсов: $M_{\text{ном}(4)} = 9550 \cdot \frac{22}{1380} = 152,25$ Н·м;

- шести полюсов: $M_{\text{ном}(6)} = 9550 \cdot \frac{46}{860} = 510,81$ Н·м;

- двенадцати полюсов: $M_{\text{ном}(12)} = 9550 \cdot \frac{23}{435} = 504,94 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

Рассчитаем критическое скольжение по формуле

$$S_{\text{крит}} = S_{\text{ном}}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (4)$$

где λ – кратность максимального момента (перегрузочная способность).

Определим критическое скольжение для включенных обмоток ротора:

- четырех полюсов: $S_{\text{крит}(4)} = 0,08 \cdot (2,8 + \sqrt{2,8^2 - 1}) = 0,4332;$

- шести полюсов: $S_{\text{крит}(6)} = 0,14 \cdot (2,8 + \sqrt{2,8^2 - 1}) = 0,7581;$

- двенадцати полюсов: $S_{\text{крит}(12)} = 0,13 \cdot (3,6 + \sqrt{3,6^2 - 1}) = 0,9176.$

Рассчитаем критический момент по формуле:

$$M_{\text{крит}} = \lambda \cdot M_{\text{ном}}, \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5)$$

Для включенных обмоток ротора:

- четырех полюсов: $M_{\text{крит}(4)} = 2,8 \cdot 152,25 = 426,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$

- шести полюсов: $M_{\text{крит}(6)} = 2,8 \cdot 510,81 = 1430,268 \text{ Н} \cdot \text{м};$

- двенадцати полюсов: $M_{\text{крит}(12)} = 3,6 \cdot 504,94 = 1817,784 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

Итак, определены основные точки характеристики, но для ее построения их недостаточно. Поэтому, с помощью упрощенной формулы Клосса [2] рассчитаем моменты для других значений скольжений.

Упрощенная формула Клосса выглядит следующим образом:

$$M = \frac{2M_{\text{кр}}}{S/S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}}/S}, \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (6)$$

Для удобства расчеты сведем в таблицы. Рассчитаем для каждого значения скольжения момент и частоту вращения. Например, для включенной четырехполюсной обмотки ротора для значения скольжения 0,2:

$$M = \frac{2 \cdot 426,3}{0,2/0,4332 + 0,4332/0,2} = 324,46, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Частоту вращения выразим из формулы для определения скольжения:

$$n = n_0 \cdot (1 - S) = 1500 \cdot (1 - 0,2) = 1200, \text{ об/мин}. \quad (7)$$

Подобным образом рассчитываются остальные значения.

Теперь на основании расчетов можно построить саму механическую характеристику (рисунок 2). Однако для построения ТДХ ШВС необходима скоростная характеристика, которую получим перестроением из механической характеристики электродвигателя по упомянутым расчетным данным (рисунок 3).

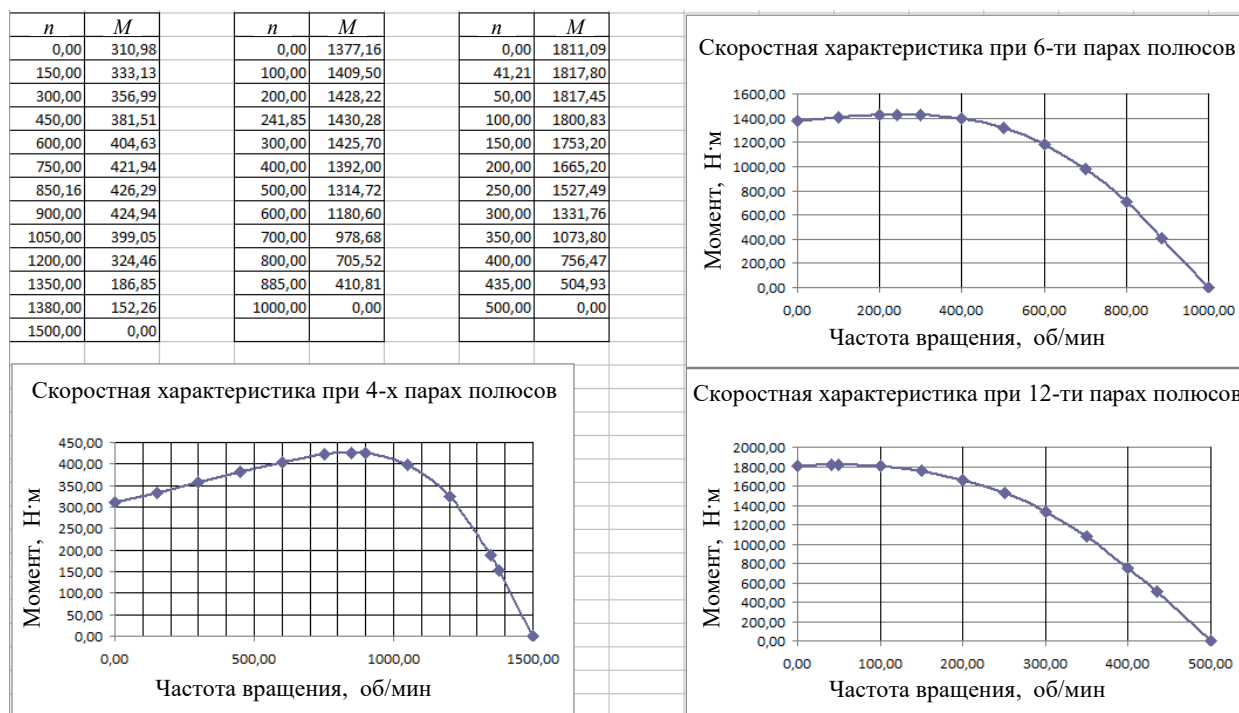


Рисунок 3 – Скоростные характеристики ЭЛД АВТ15-4/6/12

Используемые рабочие участки этих характеристик при длительной эксплуатации ЭЛД начинаются при некоторых значениях частоты вращения ротора электродвигателя, которые незначительно отстают от частот вращения при критических значениях моментов.

На рабочих участках скоростную характеристику ЭЛД (рисунок 3) можно с достаточной точностью описать следующими математическими выражениями:

$$M = \begin{cases} M_{\text{ном}} = 1 - \frac{n - n_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}} - n_{\text{xx max}}}, & \text{при } n \geq n_{M_{\text{ном}}} \\ M_{\text{крит}} = a \cdot (n_{\text{ном}} + n_{M_{\text{крит}}})^2, & \text{при } n_{\text{ном}} \geq n \geq n_{M_{\text{крит}}} \end{cases}, \quad (8)$$

где

$$a = \frac{M_{\text{ном}} \cdot M_{\text{крит}}}{(n_{\text{ном}} + n_{M_{\text{крит}}})^2},$$

$$\frac{M - M_{\text{ном}}}{M_{\text{ном}} - 0} = \frac{n - n_{M_{\text{ном}}}}{n_{M_{\text{ном}}} - n_{\text{xx max}}}$$

или

$$M = M_{\text{ном}} \left(1 - \frac{n - n_{M_{\text{ном}}}}{n_{M_{\text{ном}}} - n_{\text{xx max}}} \right). \quad (9)$$

Причем для каждой настройки ЭЛД необходимо в приведенном выражении подставлять соответствующие параметры механической характеристики. Так как штатная трансмиссия ШВС не имеет коробки передач, то его ТДХ будет представлять собой

кривые, соответствующие ветвям механической характеристики при конкретном числе пар полюсов, подключенных в данный момент.

Считаем машину симметричной с равными нагрузками на колеса, которые имеют одинаковые характеристики. Удельная суммарная окружная теоретическая сила тяги движителя по ЭЛД выражается:

$$D = P_{\text{уд.тяги}} = \frac{M(n) \cdot U \cdot \eta_{\text{тр}} / r_{\text{к}}^0 - k \cdot F_{\text{ваг}} \cdot v^2}{G_{\text{ваг}}}, \quad (10)$$

где U , $\eta_{\text{тр}}$ – передаточное отношение и КПД привода колес ШВС;

$F_{\text{ваг}}$, k – лобовая площадь и коэффициент аэродинамического сопротивления ШВС;

$r_{\text{к}}^0$ – радиус качения ведущих колес ШВС в ведомом режиме.

Теоретическая скорость движения

$$v_n^m = n \cdot \frac{1}{U} \cdot r_{\text{к}}^0. \quad (11)$$

Используя далее известный порядок построения ТДХ колесной машины с двигателем внутреннего сгорания, изложенный, например, в работе [1], в результате получим ТДХ ШВС.

Как видно из рисунка 4, скоростной диапазон в пределах работы с одним из вариантов числа пар полюсов либо недостаточен для нормальной эксплуатации ШВС по величине динамического фактора, либо очень узкий по диапазону возможных скоростей движения, что ухудшает эксплуатационные качества ШВС. При этом участок $0-n_{\text{Мкрит}}$ на скоростной характеристике ЭЛД не должен быть рабочим в течение периода, большего некоторого малого отрезка времени, из-за возникновения больших токов в обмотках электродвигателя [4]. Это периоды трогания-разгона или значительной перегрузки ЭЛД. В связи с изложенным, возможно за ЭЛД установить в трансмиссию фрикцион с двумя гидropоджимными фрикционными муфтами (ГФМ), как показано на рисунке 5.

Такое техническое решение позволяет осуществлять плавное, без дерганий трогание ШВС с места [5] (как вариант, трогание с места с пробуксовкой обеих муфт, последующий разгон на одной муфте при отключенной второй, а также переключение ступеней фрикциона на ходу без разрыва потока мощности). Кроме того, за счет такого технического решения появляется возможность использовать две рабочие передачи и две скорости установившегося движения при каждой настройке числа пар полюсов в ЭЛД. Таким образом, оказывается возможным использовать шесть диапазонов рабочих скоростей, что существенно повышает динамическую гибкость и приспособляемость ШВС к изменяющимся дорожным условиям по ходу движения в условиях шахты. Такое решение привода колес позволяет приблизиться к поддержанию режимов работы ЭЛД ШВС в области механической характеристики с наибольшими значениями КПД (рисунок 2).

Еще одно достоинство такого решения привода состоит в возможности обеспечения проходимости встречающихся участков движения сферы планируемой эксплуатации ШВС в шахтах, например, с большими уклонами поверхностей или сопротивлением качению колес, хотя и на меньшей скорости.

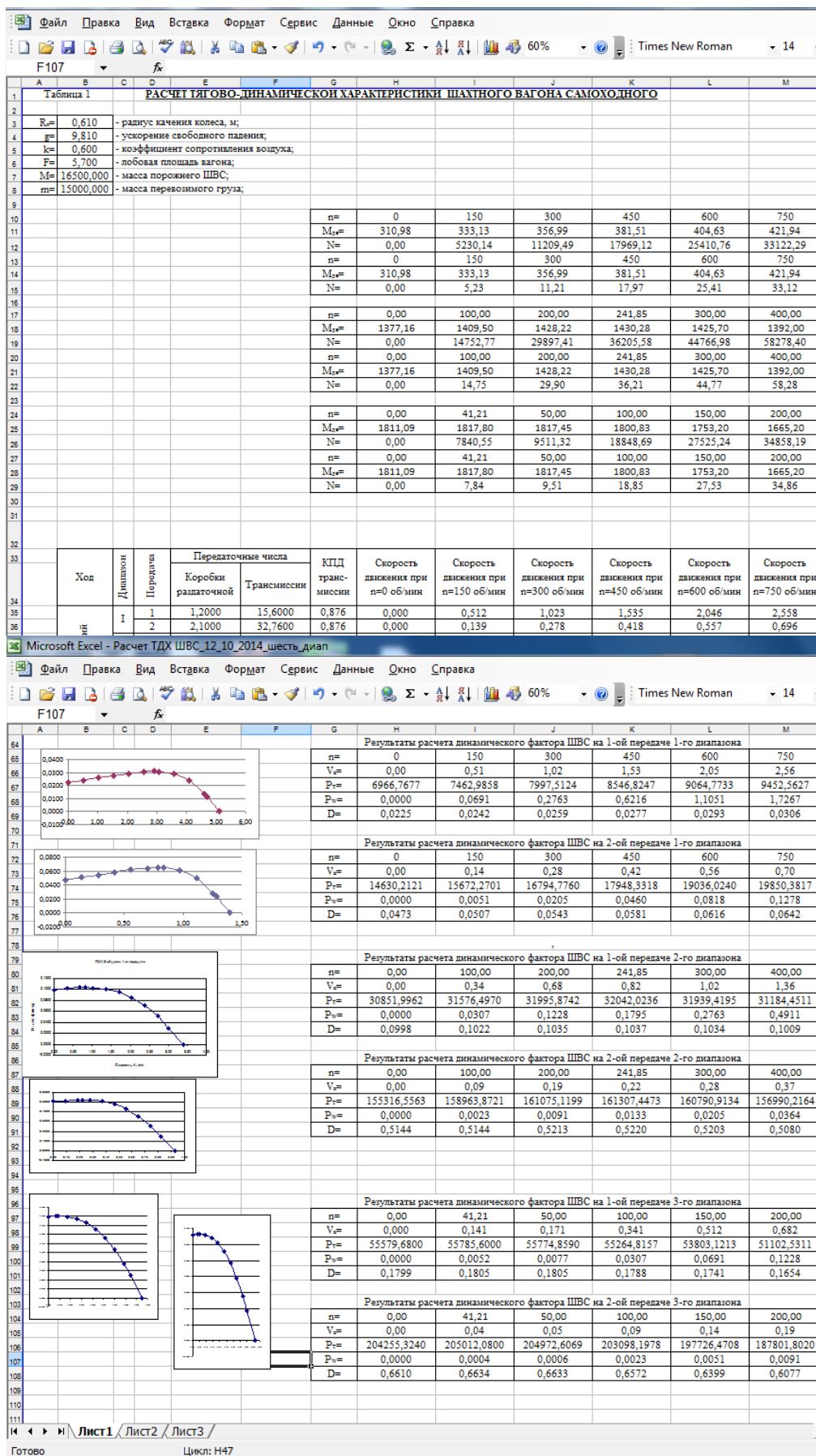


Рисунок 4 – Копия окон электронной таблицы с вариантом расчета ТДХ ШВС

При схеме привода колес ШВС (рисунок 5) его ТДХ имеет вид, показанный на рисунке 6. Как следует из рисунка 6, реализация шести рабочих скоростных диапазонов в ЭЛД в приводе колес ШВС существенно расширяет его эксплуатационную способность по скорости движения при достаточном динамическом тяговом потенциале при преодолении сопротивлений движению ШВС.

При изменении значений передаточного отношения зубчатых передач фрикциона (рисунок 5) по изменениям на графиках программированной электронной таблицы (рисунок 4) легко отслеживать влияние изменений параметров привода на динамический тяговый потенциал исследуемого ШВС.

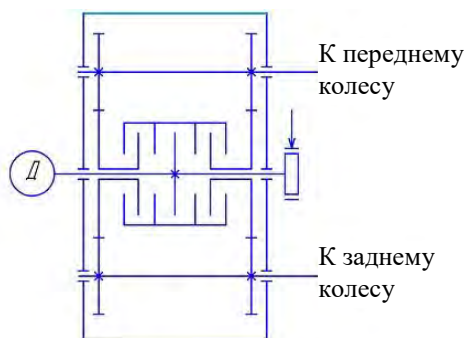


Рисунок 5 – Раздаточная коробка с ГФМ в приводе колес борта ШВС (с фрикционом)

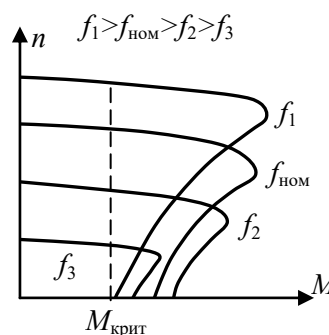


Рисунок 6 – Механическая характеристика ЭЛД ШВС с частотным регулированием

В случае оборудования ШВС (например, как у вагона 15ВС-5М) ЭЛД с частотным регулированием, которые имеют механическую характеристику, характер которой показан на рисунке 6, ТДХ строится аналогично для выбранного набора частот f , а затем проводится огибающая кривая, которая и будет очерчивать зону тягово-динамического потенциала такого ШВС.

На основе ТДХ ШВС получим зависимость для максимальных углов преодолеваемых дорожных подъемов на поверхности движения с разными значениями коэффициентов сопротивления качению колес (рисунок 8). Так как справедлива запись [5]

$$D_{j \max} = f_i \cdot \cos \alpha_{\max} + \sin \alpha_{ij \max},$$

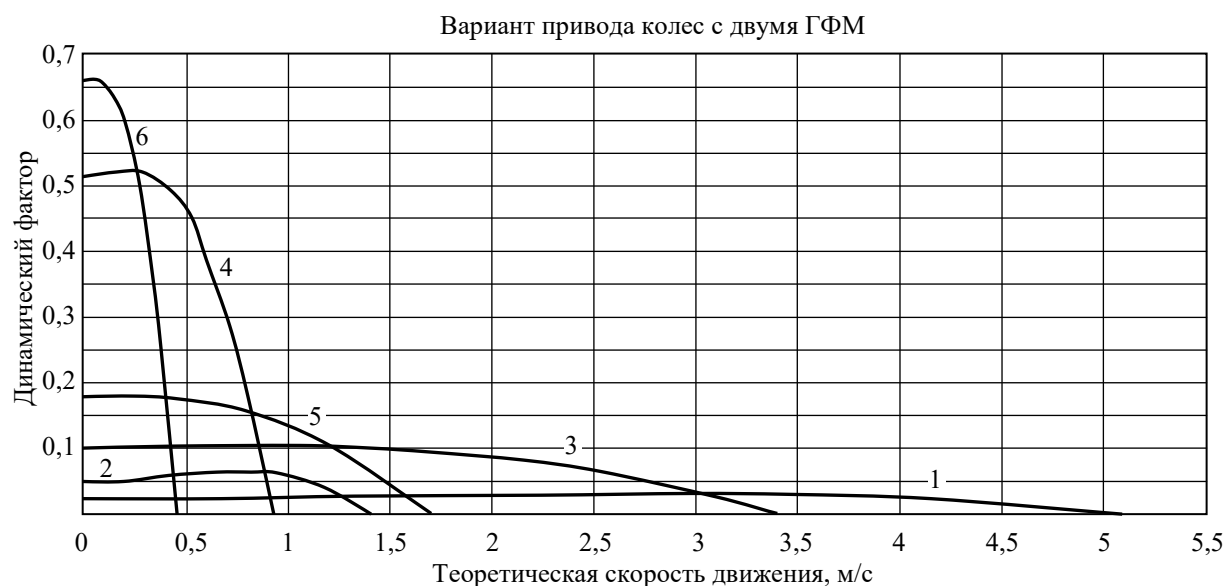
то, решая данное тригонометрическое уравнение, например в пакете символьной математики MathCAD, получим значение углов для выбранного скоростного диапазона с номером $N_{\text{перед}}$

$$\alpha_{ij \max} = f(N_{\text{перед}}).$$

Для пользования графиком на рисунке 8 значения D на конкретной выбранной скорости (на выбранном скоростном диапазоне-передаче) движения берутся с графиков ТДХ (рисунок 7) при соответствующем состоянии по загрузке ШВС, и определяется предельно возможный для преодоления ШВС угол подъема поверхности движения при конкретных значениях сопротивления качению колес данной поверхности.

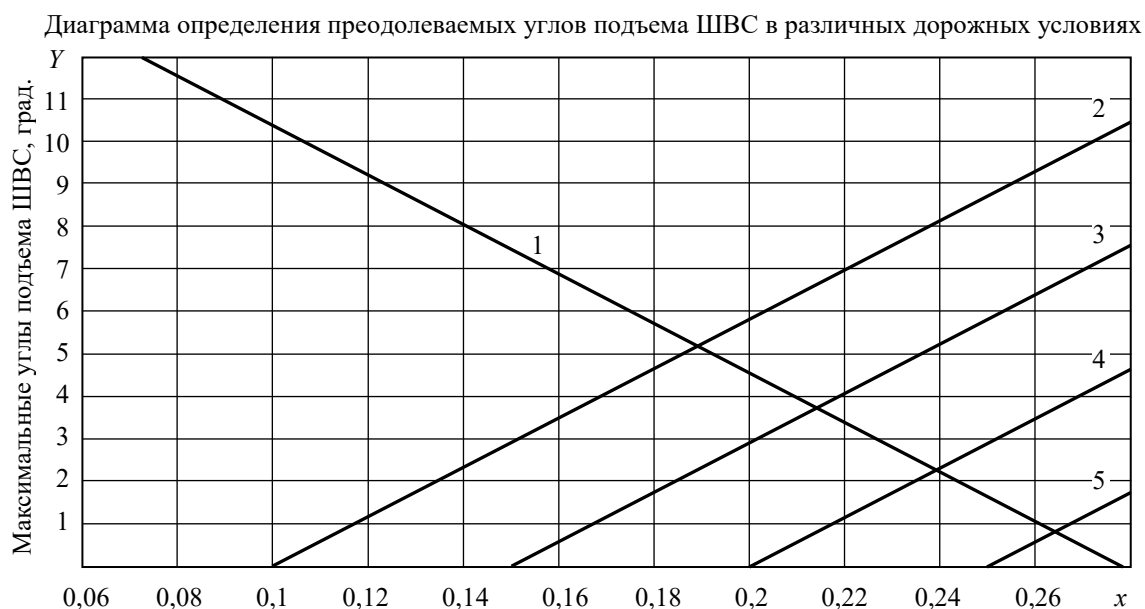
Так как ограничения проходимости ШВС могут происходить и по причине недостаточного сцепления колес движителя с опорной поверхностью, то на графике ТДХ ШВС необходимо провести горизонталь со значением ординаты $D = \varphi_{\max}$ величины коэффициента сцепления колес с поверхностью качения. Она может пересечь часть

кривых характеристики и будет отражать ограничение тягово-динамических свойств ШВС по сцеплению колес с поверхностью движения, то есть части кривых ТДХ над упомянутой горизонталью не смогут быть реализованы в данных условиях движения.



1 – 1-й диапазон, 4 пары полюсов; 2 – 2-й диапазон, 4 пары полюсов; 3 – 1-й диапазон, 6 пар полюсов; 4 – 2-й диапазон, 6 пар полюсов; 5 – 1-й диапазон, 12 пар полюсов; 6 – 2-й диапазон, 12 пар полюсов

Рисунок 7 – Тягово-динамическая характеристика рассматриваемого самоходного вагона



1 – аргумент f_i (для $D_{j \max} = 0,278$); 2-5 – аргумент $D_{j \max}$ (для $f_i = 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$)

$$1 - Y(x) = (\arcsin(0,278 \cdot \cos(\arctg(x))) \cdot \arctg(x)) \cdot 180/3,14;$$

$$2 - Y(x) = (\arcsin(x \cdot \cos(\arctg(0,1))) \cdot \arctg(0,1)) \cdot 180/3,14;$$

$$3 - Y(x) = (\arcsin(x \cdot \cos(\arctg(0,15))) \cdot \arctg(0,15)) \cdot 180/3,14;$$

$$4 - Y(x) = (\arcsin(x \cdot \cos(\arctg(0,2))) \cdot \arctg(0,2)) \cdot 180/3,14;$$

$$5 - Y(x) = (\arcsin(x \cdot \cos(\arctg(0,25))) \cdot \arctg(0,25)) \cdot 180/3,14$$

Рисунок 8 – Диаграмма D и $\alpha_{\max}$ для порожнего и груженого ШВС

Заключение

Таким образом, приведенные методические положения позволяют получить фактический числовой материал для проведения сравнительного анализа тягово-динамических свойств проектируемых ШВС с различными вариантами привода колес и использованного ЭЛД, с целью выбора рационального варианта на этапе решения задач функционального аспекта проектирования новой машины с требуемыми показателями эксплуатационных свойств.

Список использованных источников

1. **Таяновский, Г.А.** Построение тягово-динамической характеристики горной машины / Г.А. Таяновский, А.А. Язенков // Инновационные пути развития техники, технологий и инженерного обеспечения горнодобывающей промышленности Республики Беларусь: сб. науч. трудов / ФГДЭ, БНТУ. – Минск, 2011. – С. 97-101.
2. **Москаленко, В.В.** Электрический привод: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Москаленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
3. **Мощинский, Ю.А.** Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю.А. Мощинский, В.Я. Беспалов, А.А. Кирякин // Электричество. – 1998. – № 4/98. – С. 38-42.
4. **Масандилов, Л.Б.** Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей / Л.Б. Масандилов, В.В. Москаленко. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1978. – 96 с.
5. Модернизация и средства анализа привода колес шахтного самоходного вагона / Г.А. Таяновский [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 2. – С. 51-60.

Tayanovsky G.A., Basalai G.A., Matusovich E.V., Zagorovsky Yu.V.

Traction-dynamic characteristic of the shaft self-moving vehicle

For studying the developed draft proposals of various ways of improvement of the wheel drive of the shaft self-moving vehicle and also for the following selection of a rational scheme and wheel drive parameters are developed methodic regulations and the required program module in electronic worksheet technology. By using this module the calculations are made of the traction-dynamic characteristic of the shaft self-moving vehicle equipped with a variable number of ports for putting into wheel drives around the sides of the frictions with two transmissions.

Поступила в редакцию 12.11.2014г.

УДК 621.867.2.062(047)(476)

ПРИНЦИПЫ СОГЛАСОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРИВОДОВ И НАТЯЖНЫХ УСТРОЙСТВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Конопляник И.А. (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь)

Определены основные технологические требования к системе привода и системе управления натяжным устройством ленточного конвейера и принципы согласования их работы в установившемся режиме, а также в режимах пуска и торможения.

Введение

Основные цели создания системы управления режимами работы приводов мощного ленточного конвейера могут быть разделены на два класса: во-первых, улучшить технические данные конвейера на этапе его проектирования (например, увеличить допустимую длину конвейера при заданной суммарной мощности привода и прочности ленты); во-вторых, с помощью системы управления на базе микроЭВМ можно улучшить эксплуатационные показатели работы конвейера – повысить долговечность обслуживания, уменьшить расход энергии, снизить трудоемкость обслуживания, снизить число и время простоев за счет точного соблюдения нормативных инструкций, обеспечивающих невозможность или лишь кратковременное превышение граничных значений параметров режимов работы.

Основные технологические требования к системе привода ленточного конвейера заключаются в обеспечении оптимального режима пуска конвейера и управлении распределением нагрузки между приводными блоками.

Оптимизация режима пуска конвейера заключается в минимизации времени пуска при ограничении экстремальных динамических натяжений ленты, обеспечении устойчивости движения ленты и отсутствии пробуксовки ленты. Дополнительные требования состоят в устранении ударных нагрузок в трансмиссии привода и обеспечении плавного пуска в течение всего периода разгона конвейера до номинальной скорости, т.е. в ограничении кратковременных ускорений, например, при отсутствии скольжения груза по ленте наклонного конвейера.

Минимизация времени пуска имеет существенное значение, когда конвейер входит в состав протяженной и многозвенной конвейерной линии. Как показывает опыт эксплуатации, суммарное время пуска таких линий в течение, например, рабочей смены оказывается весьма значительным и существенно влияет на производительность. В то же время в технологическом плане не имеет смысла требовать жесткой минимизации времени пуска конвейера с незагруженной или слабо загруженной лентой. Хотя пуск незагруженной ленты можно осуществить за короткое время без пробуксовки, не превышая допустимого уровня динамических натяжений, большие значения ускорений нежелательны с точки зрения долговечности элементов привода, устойчивости движения ленты конвейера со сложным профилем трассы, а технологический выигрыш от сокращения времени пуска незначителен.

Определение основных расчетных параметров

В методике расчета ленточных конвейеров нормируется коэффициент запаса прочности ленты при пуске. Тогда при условии нормированного ограничения экстре-

мальных динамических натяжений при пуске для конвейера, на котором применяется привод, обеспечивающий плавный пуск, допускается большее максимальное натяжение в установившемся режиме по сравнению с конвейером, привод которого не обеспечивает ограничение динамических натяжений ленты. Количественно это выражено введением в методику корректировочного коэффициента динамичности K_d . Динамика пуска определяет также необходимый уровень натяжения контура ленты, при котором отсутствует пробуксовка при пуске. Этот уровень зависит от значения расчетного тягового фактора привода и коэффициента запаса по тяговой способности привода $K_{тс}$. Чем плавнее пуск, тем меньше значение $K_{тс}$ и тем ниже требуемый уровень натяжения контура ленты, создаваемого натяжным устройством.

Определение расчетных значений тягового фактора привода выполняется с учетом возможного действительного распределения нагрузок между приводными барабанами, при этом учитываются условия реализации тягового усилия на каждом приводном барабане, принятое соотношение установленных мощностей и возможные отклонения в распределении нагрузок. Применение регулируемой системы многодвигательного привода позволяет ограничить возможные отклонения в распределении нагрузок и, тем самым, повысить расчетные значения тягового фактора приводной станции, и снизить значение коэффициента запаса установленной мощности.

Таким образом, можно улучшить параметры конвейера на этапе проектирования при применении более совершенной системы привода путем взаимосвязанного определения основных расчетных параметров: корректировочного коэффициента динамичности, расчетного значения тягового фактора и коэффициента запаса по тяговой способности, коэффициента запаса установленной мощности.

Существенный результат достигается в том случае, если система привода обеспечивает ограничение динамических натяжений в период трогания ленты с места, а при разгоне ленты до номинальной скорости – ограничение кратности пускового усилия привода к тяговому усилию в установившемся режиме значением $K_p = 1,2-1,3$ и ограничение отклонений в распределении нагрузок между приводными блоками – 5-10 %.

Практическая реализация указанных ограничений путем введения жесткой программы управления приводом в режиме пуска может вызвать определенные затруднения. В условиях эксплуатации шахтных конвейеров не исключены возможные отклонения реальных параметров от расчетных величин (например, сопротивление движению ленты), что приводит в случае применения жесткой программы изменения внешнего воздействия на систему (тягового усилия привода, момента двигателя, тока двигателя) к неустойчивости процесса пуска (недопустимое увеличение времени пуска), а при управлении по жесткому расчетному временному графику – к превышению динамических натяжений над допустимым уровнем. Поэтому в случаях, когда параметры назначения конвейера (допустимая длина, производительность) и прочность ленты используются в максимальной степени, требуется переход на более высокий уровень прикладных функций системы управления – создание на базе микроЭВМ адаптивной системы управления приводом. При выборе типа программного управления переходными процессами необходимо учитывать, что замкнутый контур ленты представляет собой систему с распределенными параметрами. Если ведущее сечение ленты (точка набегания на приводной барабан) разгоняется при постоянном усилии привода, то закон движения этого сечения определяется волновыми процессами в замкнутом контуре ленты, а максимальное натяжение набегающей ветви $N'_{нб}$ будет пропорционально усилию привода. Если же это сечение (приводной барабан) «заставить» двигаться с постоянным ускорением, то необходимо такое изменение усилия привода, при котором

существенно увеличится $\max N''_{\text{нб}}$. Анализ показывает, что соотношение этих натяжений (при одинаковом времени пуска) составляет

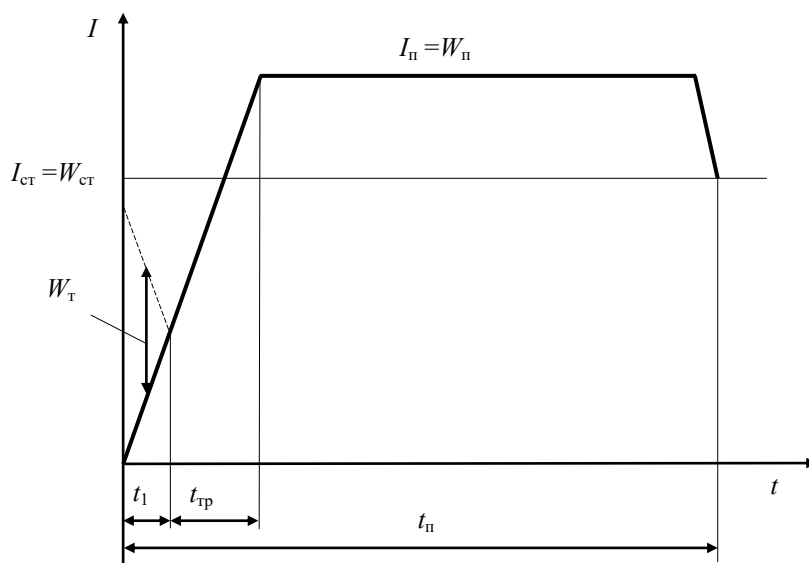
$$\frac{\max N''_{\text{нб}}}{\max N'_{\text{нб}}} = \frac{2\rho L}{(\rho L + m_{\text{пр}}) \left(1 - e^{-\frac{2\rho L}{m_{\text{пр}}}} \right)}, \quad (1)$$

где ρL – масса приведенного стержня;

$m_{\text{пр}}$ – приведенная к ободу барабана масса привода.

Для весьма длинных конвейеров, когда ρL существенно больше $m_{\text{пр}}$, это соотношение стремится к двукратному. Отсюда следует, что если управление пуском (торможением) конвейера осуществлять по программным кривым скорости, заданным без учета волновых процессов в ленте, то пуск может быть не оптимальным по динамическим натяжениям в ленте по сравнению с программой пуска, где контролируется внешнее воздействие на конвейерную ленту.

На рисунке 1 показан пример программного графика управления пуском конвейера в функции тягового усилия привода (тока двигателей), который должен быть определен с помощью ЭВМ. Для каждого конкретного пуска жесткий график корректируется в соответствии с изменением начального состояния системы. Для реализации графика необходимо определить скорость нарастания тока в период трогания ленты с места, а также оптимальное значение пускового тока $I_{\text{п}}$ в период разгона ленты до номинальной скорости.



$I_{\text{ст}}$ – ток установившегося движения ленты; $W_{\text{ст}}$ – усилие установившегося движения ленты; $W_{\text{т}}$ – тормозное усилие; $W_{\text{п}}$ – пусковое усилие; t_1 – время преодоления тормозного усилия; $t_{\text{тр}}$ – время вовлечения ленты в движение; $t_{\text{п}}$ – время пуска до установившегося движения

Рисунок 1 – График управления пуском конвейера в функции тягового усилия привода

Для мощных уклонных конвейеров скорость нарастания тока должна быть согласована с моментом снятия стопора и скоростью снижения усилия регулируемого тормоза. Для горизонтальных и слабонаклонных конвейеров большой длины при ограничении экстремальных натяжений в начальной фазе пуска конвейера время нараста-

ния тока должно быть не меньше времени вовлечения ленты в движение $t_{тр}$. Это время может быть определено расчетом, исходя из ожидаемых значений скоростей распространения пусковых волн, и должно быть не больше $2t_{тр}$ (учитывается завершение волновых процессов, связанных с перестройкой статических натяжений, т.е. с переориентацией сил сопротивления).

После завершения фазы трогания пусковой ток (пусковое тяговое усилие $W_{п}$) может оставаться постоянным вплоть до разгона ленты до номинальной скорости.

С точки зрения динамической оптимизации для каждого конкретного пуска существует одно оптимальное значение натяжения сбегавшей с привода ленты в установившемся режиме $N'_{сб.ст}$, при котором пуск может быть осуществлен при предельном значении $W_{п\max}$ (или кратности пускового усилия $K_{п\max} = \frac{W_{п\max}}{W_{ст}}$), и, следовательно, за

минимальное время. Если действительные значения этого натяжения больше оптимального, то фактором, ограничивающим допустимое $K_{п}$, будет допустимый уровень динамических натяжений ленты, хотя запас по тяговой способности не будет до конца исчерпан. Если же действительное значение $N'_{сб.ст}$ ниже оптимального, то $K_{п}$ ограничивается по условию пробуксовки, при этом максимальные динамические натяжения не достигнут допустимого уровня.

Расчет динамических натяжений с учетом волновых процессов для конвейера с жестким (в период пуска) натяжным устройством при постоянном пусковом тяговом усилии [1-3] в период разгона ленты до номинальной скорости показывает, что с достаточной точностью значения $N'_{сб.ст}$ и $K_{п\max}$ могут быть определены по формулам

$$N'_{сб.ст} = \frac{[N]}{T} + K_3 \left(\frac{[N](T-1)}{T} - W_{ст} \right), \quad (2)$$

$$K_{п\max} = \frac{[N](T-1)}{TW_{ст}} - \frac{1}{K_1} + 1, \quad (3)$$

где $[N]$ – допустимое натяжение ленты в режиме пуска;
 T – тяговый фактор привода;

$$K_1 = 1 - e^{-\frac{\rho_1 + \rho_2 + \sqrt{\rho_1 \rho_2}}{m_{пр}} L}; \quad K_3 = \frac{\sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1} + \sqrt{\rho_2}},$$

где ρ_1, ρ_2 – линейные массы приведенных стержней грузовой и порожней ветвей ленты.

Из (2) и (3) следует, что $K_{п\max}$ однозначно определяется конкретными для данного пуска значениями $N'_{сб.ст}$ и $W_{ст}$. Остальные параметры есть постоянные параметры конвейера и ленты, кроме ρ_1 , которая определяется степенью загрузки конвейера. Учитывая, что для каждого конвейера возможна косвенная оценка находящегося на ленте груза по величине тока двигателя, можно считать, что для определения $K_{п\max}$ с помощью программных средств достаточно двух точек измерения: тока двигателя и усилия натяжного устройства в установившемся режиме.

Так как для протяженных подземных конвейеров за время остановки не происходит существенных изменений в условиях последующей реализации движения ленты

по сравнению с предыдущей работой конвейера (например, изменение сопротивления вращению роликов и количества груза на ленте), то можно считать, что состояние системы после пуска идентично состоянию системы перед предыдущим торможением. Поэтому значения $N_{сб.ст}$ и $W_{ст}$ могут быть определены по показаниям измерительной системы тока двигателей и по усилию натяжного устройства перед предыдущим торможением конвейера, которые фиксируются в памяти средств программного обеспечения.

На рисунке 2 представлена зависимость $K_{п\ max}$ от значений $W_{ст}$ и $N'_{сб.ст}$, построенная по формулам (2), (3) для некоторых конкретных параметров конвейера. Такого же вида зависимости могут быть введены в систему программного обеспечения режима пуска. По измеренному значению $W_{ст}$ определяется оптимальное $N'_{сб.ст}$: если действительное измеренное значение $N_{сб.ст} > N'_{сб.ст}$, то $K_{п}$ определяется по $W_{ст}$ (ограничение по допустимому уровню динамического натяжения ленты); если $N_{сб.ст} < N'_{сб.ст}$, то $K_{п}$ определяется по $N_{сб.ст}$ (ограничение по условию пробуксовки).

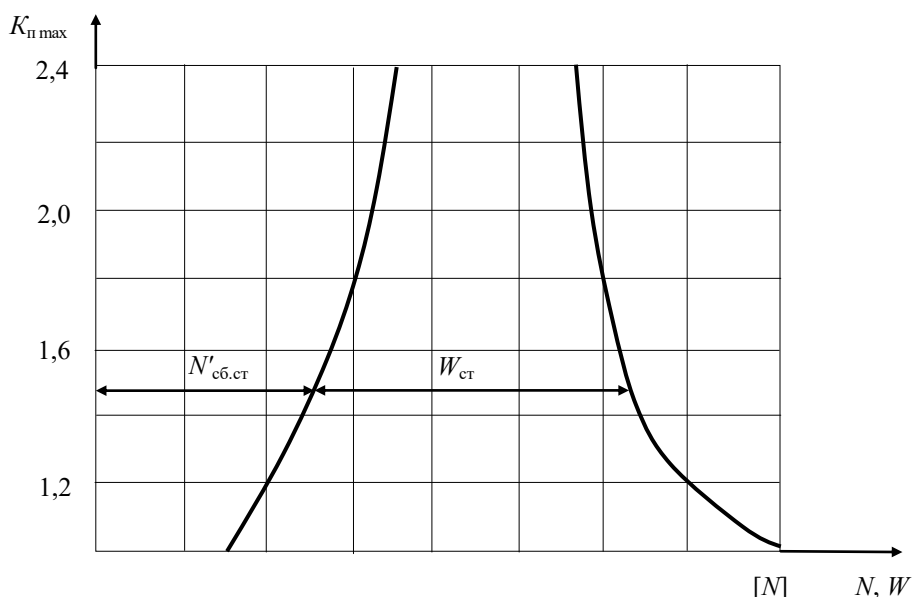


Рисунок 2 – Зависимость оптимального значения кратности пускового усилия привода от натяжения сбегавшей ветви ленты и тягового усилия привода в установившемся режиме работы конвейера

Выводы

Из рисунка 2 следует, что оптимальная программа управления пуском непосредственно связана с управлением натяжным устройством: необходимо изменять натяжение сбегавшей с привода ветви ленты в зависимости от $W_{ст}$, т.е. от загрузки конвейера. Анализ показывает, что свойства жесткого натяжного устройства позволяют «автоматически» изменять натяжение сбегавшей ветви при изменении загрузки ленты таким образом, что $N_{сб.ст}$ приближается к оптимальному по режиму пуска значению. Система управления натяжным устройством может быть построена таким образом, что обеспечивается три режима работы натяжного устройства: рабочий режим автоматизированного контроля натяжения движущейся с установившейся скоростью ленты; режим обеспечения затрудненного пуска; режим ручного управления. Система, обеспечивающая рабочий режим автоматизированного контроля, не должна функционировать при пуске и торможении: выполнение контроля натяжения движущейся с установившейся

скоростью ленты обеспечивает нормальный пуск и торможение конвейера. Величина контрольного натяжения устанавливается расчетным путем для режима холостого хода, при наибольших возможных значениях коэффициента сопротивления движению ленты. Контрольное включение натяжной лебедки должно осуществляться при движущейся ленте, когда заранее известно, что на ленте нет груза, например, в начале или конце рабочей смены.

Для мощных конвейеров в условиях предельного использования прочности ленты возможно определение необходимого контрольного уровня в режиме холостого хода по действительному значению тягового усилия, которое может быть оценено по измеренному значению суммарного тока двигателей. Это позволяет снизить натяжение контура, если действительное сопротивление движению меньше расчетных значений.

Переход на режим обеспечения затрудненного пуска осуществляется, когда программа пуска определяет, что ожидаемое время пуска больше допустимого $t_{\text{п}}$, или если в процессе пуска датчик пробуксовки отключает привод. В этом режиме назначается величина контрольного натяжения, которая должна быть достигнута не перед включением основных двигателей, а уже в движущейся или трогаящейся с места ленте за время работы привода на начальном участке с нарастающим тяговым усилием.

Список использованных источников

1. **Попов, М.Н.** Использование волновых процессов в ленте конвейера при получении первичной информации / М.Н. Попов, П.И. Пурье // Горный журнал. – 1980. – № 10. – С. 69-71.
2. Ленточные конвейеры в горной промышленности / В.А. Дьяков [и др.]; под ред. А.О. Спиваковского. – М.: Недра, 1982. – 349 с.
3. **Шахмейстер, Л.Г.** Теория и расчет ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.

Konoplyanik I.A.

Principles of operating regimes matching of drives and tensioning devices of belt conveyors

In the article there are stated basic technological requirements for the drive system and tensioning device control system of the belt conveyor and also principles of matching of their operation in steady, starting and braking modes.

Поступила в редакцию 11.11.2014 г.

УДК 622.232.72:629.369.017.2

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАГРУЗОК ПРИВОДА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА КОМБАЙНА ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Кучик А.С., Михаленя В.Д., Щерба Е.В. (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь)

Данная статья посвящена методике определения нагрузок на исполнительном органе комбайна избирательного действия.

Введение

Проходческий комбайн – сложная многоприводная горная машина, обеспечивающая выполнение большого числа основных и вспомогательных операций рабочих процессов проведения и крепления подготовительных выработок, предназначенная для механизированного разрушения горных пород, погрузки горной массы в транспортные средства (вагонетки, конвейер, перегружатель).

Исполнительный орган – самый нагруженный элемент горного комбайна, т.к. непосредственно им производится отбойка горной массы. Порода в горном массиве имеет неоднородную структуру с твердыми включениями, а также слои с большой податливостью, следовательно, в процессе выемки горной массы нагрузки на исполнительном органе помимо динамического носят еще и случайный характер. Ремонт исполнительного органа в шахтных условиях требует огромного количества времени, остановки проходческого комплекса и, следовательно, приводит к финансовым потерям. Поэтому, следует с особым вниманием подходить к расчету и проектированию трансмиссионной части исполнительного органа.

Исходные данные при проектировании

Разработка любого трансмиссионного узла производится на основании технического задания на проектирование. В техническом задании в обязательном порядке должны быть указаны входные или выходные характеристики либо привода, либо комбайна в целом (мощность привода, частота вращения двигателя или рабочей коронки), техническая производительность комбайна или коэффициент технической готовности, срок службы комбайна, характеристика горно-геологических условий работы (сопротивляемость пород резанию, характер включений, угол падения забоя, показатель хрупкости пласта), при необходимости прилагается оптимальная схема расстановки кулаков на режущем органе для данного РУ или горизонта, либо оптимальный шаг и вид используемых резцов.

Определение мощностных характеристик привода резания при задании технической производительности комбайна

Согласно [1] мощность резания определяется как:

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z \cdot V_{\text{рез}}}{1000 \cdot \eta_{\text{ред}}}, \quad (1)$$

где P_z – суммарная сила резания, Н;

$V_{\text{рез}}$ – скорость резания, м/с;

$\eta_{\text{ред}}$ – КПД редуктора привода исполнительного органа.

Суммарная сила резания – сила резания на всех резцах, одновременно участвующих в процессе резания.

Для калийной соли в большинстве работ [1-5] принято следующее выражение для расчета силы резания на резце:

$$P_z = A_p \cdot h_{\text{ср}} \cdot k_{\frac{t}{h}} \cdot k_B \cdot k_\alpha \cdot k_\phi \cdot k_\psi \cdot k_{\text{ВР}}, \quad (2)$$

где A_p – сопротивляемость резанию калийной руды, Н/см;

$h_{\text{ср}}$ – средняя толщина реза, см;

$k_{\frac{t}{h}}$ – коэффициент степени блокированности реза;

k_B – коэффициент ширины режущей кромки;

k_α – коэффициент угла резания;

k_ϕ – коэффициент формы падения грани резца;

k_ψ – коэффициент ориентации резца;

$k_{\text{ВР}}$ – коэффициент вращения резца.

Скорость резания согласно [5] для калийной соли не должна превышать 3,5 м/с.

Среднюю толщину реза принято считать:

$$h_{\text{ср}} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{100 \cdot V_{\text{под}}}{n_{\text{рез}}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{под}}$ – скорость подачи комбайна на забой, м/мин;

$n_{\text{рез}}$ – частота вращения режущего органа, об/мин.

Техническая производительность (т/мин) связана со скоростью подачи комбайна выражением:

$$Q_{\text{тех}} = V_{\text{под}} \cdot B \cdot H \cdot \gamma_{\text{соли}}, \quad (4)$$

где B – ширина захвата, м;

H – мощность пласта, м (равна диаметру режущего органа при угле охвата 180°);

$\gamma_{\text{соли}} = 2,1 \text{ т/м}^3$ – плотность соли.

Техническая производительность – максимально возможная производительность в конкретных условиях эксплуатации [1].

$$Q_{\text{тех}} = Q_{\text{теор}} \cdot k_{\text{тех}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{тех}}$ – коэффициент технической готовности, зависит от конструктивных свойств комбайна, простоев на ремонт, размеров выработки. Наиболее полной информацией о численном значении данного коэффициента должно обладать РУ на основе статистиче-

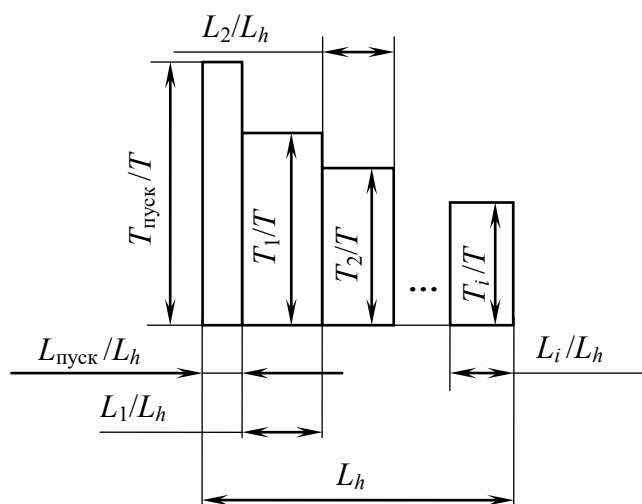
ской обработки производительности комбайнов данного типа. При отсутствии информации при проектировании нового типа исполнительного органа данный коэффициент согласно [6] можно принимать в пределах 0,85-0,9.

Задав ширину захвата и диаметром исполнительного органа, можно определить скорость подачи комбайна на забой для обеспечения заданной технической производительности. Далее определить мощность привода резания.

Выбор нагрузочных режимов при проектировании трансмиссии исполнительного органа

Определив мощность привода резания, необходимо определиться с нагрузочным режимом комбайна.

В теории расчета зубчатых передач различают режимы постоянной и переменной нагрузки. Режим работы горной машины – с переменной нагрузкой. Циклограмму переменной нагрузки получают экспериментальным путем с последующей статистической обработкой результатов, записью циклограммы в режиме реального времени на работающем комбайне, столбцовой диаграммой характерных режимов нагружения (рисунк 1).



L – время работы передачи при соответствующем нагружающем моменте, час;

L_h – полное время работы передачи, час; T – нагружающий момент

Рисунок 1 – Циклограмма нагружения привода

Затем переменная во времени нагрузка приводится к постоянной одним из трех методов [7]: метод эквивалентных циклов, метод эквивалентных моментов, метод эквивалентных напряжений, из которых метод эквивалентных моментов – самый распространенный. Согласно этому методу эквивалентный момент T_{HE} , T_{FE} для расчета контактных и изгибных напряжений равен:

$$T_{HE} = T \cdot \sqrt[3]{\sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i}{T} \right)^3 \cdot \frac{L_{hi}}{L_h}}; \quad (6)$$

$$T_{FE} = T \cdot q_F \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i}{T} \right)^{q_F} \cdot \frac{L_{hi}}{L_h}}, \quad (7)$$

где q_F – показатель степени кривой усталости при расчете на изгиб;

N – число столбцов диаграммы.

Первый столбец диаграммы, соответствующий кратковременному пусковому моменту, в формулах 6 и 7 не учитывается.

Так как привод исполнительного органа в основном электрический, то частота вращения не будет меняться по величине, следовательно, не требуется приводить ее к эквивалентной.

Расчет на прочность зубчатых передач привода

Перед проведением расчета на прочность необходимо определиться с передаточным числом, модулем, межосевым расстоянием и коэффициентами смещения, исходя из компоновочных соображений.

Расчет на прочность зубчатых колес ведется по двум критериям: контактной прочности и прочности на изгиб зуба [8].

Контактные напряжения возникают в месте соприкосновения зубьев пары зубчатых колес. Если величина контактных напряжений превысит допускаемую, то на поверхности деталей появляются следы износа в виде вмятин, борозд, микротрещин. Так как зубья шестерен нагружаются по прерывистому пульсационному циклу, то контактные напряжения вызывают усталость поверхностных слоев зуба, и микротрещины переходят в выкрашивание мелких частиц металла. Наличие масляной пленки только усугубляет процесс выкрашивания: при попадании в трещину зуба в момент контакта трещина закрывается, и масло оказывается под давлением, способствуя развитию трещины.

Изгибные напряжения возникают от окружной силы, действующей на зуб при передаче крутящего момента, также действуют по прерывистому пульсационному циклу, вызывая усталостную поломку зуба.

Для повышения контактной и изгибной выносливости принято применять ряд мероприятий.

1. Использование косозубых передач ведет к повышению длины зуба, а также увеличению коэффициента торцового перекрытия, характеризующего величину зоны однопарного зацепления. В отличие от прямозубых передач косозубые не имеют зоны однопарного зацепления, а также контакт зубьев происходит постепенно, а не сразу по всей длине зуба, что снижает динамические нагрузки и шум передачи.

2. Введение положительного смещения зубчатых колес, что увеличивает изгибную прочность зуба и устраняет эффект подрезания при малом количестве зубьев. Однако введение слишком большого смещения ведет к увеличению величины относительного скольжения зубьев в точке контакта, что ведет к увеличенному скольжению и трению в зацеплении.

3. Повышение точности изготовления зубчатых колес по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев в передаче.

4. Использование зубчатых колес с высокой твердостью поверхностного слоя зубьев.

В общем случае весь расчет зубчатых передач заключается в определении контактных и изгибных напряжений, и сравнение их с допускаемыми. Методика расчета подробно представлена в [7].

При этом для цилиндрических зубчатых передач расчетные контактные напряжения определяются по следующей формуле:

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_M \cdot Z_\epsilon \cdot \sqrt{\frac{w_{Ht}}{d_1} \cdot \frac{u \pm 1}{u}}, \quad (8)$$

где Z_H – коэффициент, учитывающий форму сопряженных поверхностей зубьев;

Z_M – коэффициент, учитывающий механические свойства материалов зубчатых колес;

Z_ϵ – коэффициент, учитывающий суммарную длину контактных линий;

w_{Ht} – удельная расчетная окружная сила, зависящая от нагрузки на передачу, степени точности, размеров зубчатых колес;

u – передаточное число привода;

d_1 – делительный диаметр шестерни.

В формуле знак «+» – для передач с внешним зацеплением, знак «–» – для передач с внутренним зацеплением.

Расчетные напряжения изгиба определяются по следующей формуле:

$$\sigma_F = Y_F \cdot Y_\epsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{w_{Ft}}{m}, \quad (9)$$

где Y_F – коэффициент формы зуба;

Y_ϵ – коэффициент, учитывающий перекрытие зубьев;

Y_β – коэффициент, учитывающий повышение изгибной прочности вследствие наклона контактной линии к основанию зуба и неравномерного распределения нагрузки;

w_{Ft} – удельная расчетная окружная сила, зависящая от нагрузки на передачу, степени точности, размеров зубчатых колес;

m – модуль зубчатой передачи.

Для конических зубчатых передач расчет приводится с эквивалентной зубчатой передачей, и формулы принимают следующий вид:

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_M \cdot Z_\epsilon \cdot \sqrt{\frac{w_{Ht} \cdot \sqrt{u^2 + 1}}{0,85 \cdot d_{m1} \cdot u}}, \quad (10)$$

где d_{m1} – средний делительный диаметр зубчатого колеса.

$$\sigma_F = Y_F \cdot Y_\epsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{w_{Ft}}{0,85 \cdot m_{tm}}, \quad (11)$$

где m_{tm} – модуль в среднем нормальном сечении зуба.

Допускаемые контактные напряжения при расчете на выносливость вычисляются по формуле:

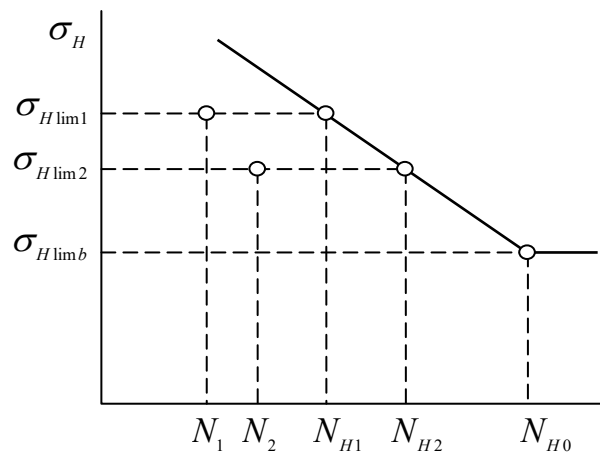
$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim b}}{S_H} \cdot K_{HL}, \quad (12)$$

где $\sigma_{H \lim b}$ – базовый предел контактной выносливости поверхностей зубьев, соответствующий базовому числу циклов N_{H0} (рисунок 2);

S_H – коэффициент безопасности;

K_{HL} – коэффициент долговечности, учитывающий возможность повышения допускаемых напряжений для кратковременно работающих передач $N_H < N_{H0}$ (рисунок 2).
При $N_H \geq N_{H0}$ $K_{HL} = 1$.

Для прямозубых передач, а также косозубых с небольшим отличием в твердости за допускаемое напряжение принимается меньшее для шестерни и колеса. В остальных случаях принимается среднее из двух.



$\sigma_{H \lim 1}, \sigma_{H \lim 2}$ – максимальное напряжение цикла; N_1, N_2 – число циклов нагружения;

N_{H1}, N_{H2} – циклическая долговечность (число циклов до разрушения)

Рисунок 2 – Кривая выносливости материала

Допускаемые напряжения изгиба:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \lim b}}{S_F} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL}, \quad (13)$$

где $\sigma_{F \lim b}$ – базовый предел изгибной выносливости зубьев;

S_F – коэффициент безопасности;

K_{FC} – коэффициент, учитывающий влияние двухстороннего приложения нагрузки;

K_{FL} – коэффициент долговечности, учитывающий возможность повышения допускаемых напряжений.

Удовлетворительным будет считаться случай, когда расчетные напряжения не превысят допускаемые.

После проверки выносливости передачи необходимо провести проверку статической прочности зубьев при перегрузках.

Максимальное контактное напряжение при перегрузках имеет вид:

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{пуск}}}{T_{HE}}} \leq [\sigma_H]_{\max}, \quad (14)$$

где $[\sigma_H]_{\max}$ – допускаемое контактное напряжение при перегрузках.

Максимальное изгибное напряжение при перегрузках имеет вид:

$$\sigma_{F \max} = \sigma_F \cdot \frac{T_{\text{пуск}}}{T_{FE}} \leq [\sigma_F]_{\max}, \quad (15)$$

где $[\sigma_F]_{\max}$ – допускаемое изгибное напряжение при перегрузках.

Допускаемые напряжения по контакту и изгибу зависят от марки стали и способа термической обработки, вычисляются по зависимостям, подробно описанным в [7].

Ресурс зубчатых передач можно определить по следующей формуле [9]:

$$R_H = \frac{\sigma_{H \lim}^6 \cdot N_{H0} \cdot K_{HL}}{\sigma_H^6 \cdot N} \cdot L_h, \quad (16)$$

где N – число циклов нагружения передачи.

$$R_F = \frac{\sigma_{F \lim}^{qF} \cdot N_{F0} \cdot K_{FL}}{\sigma_F^{qF} \cdot N} \cdot L_h. \quad (17)$$

Расчет на прочность валов привода

После определения диаметров и длины валов привода, а также назначения посадок необходимо произвести расчет на сопротивление усталости.

Валы привода испытывают касательные напряжения от крутящего момента и нормальные напряжения от радиальных и окружных сил в зубчатом зацеплении.

В общем случае суммарный коэффициент запаса сопротивления усталости [8] имеет вид:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}, \quad (18)$$

где n_σ , n_τ – коэффициенты запаса сопротивления усталости по изгибу и кручению.

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{\sigma_a \cdot K_\sigma}{\epsilon_M \cdot \epsilon_H} + \psi_\sigma \cdot \sigma_m}; \quad (19)$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{\tau_a \cdot K_{\tau}}{\varepsilon_m \cdot \varepsilon_{\Pi}} + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}, \quad (20)$$

где σ_a и τ_a – амплитуды переменных составляющих цикла;

σ_m и τ_m – амплитуда постоянных составляющих цикла;

ε_m и ε_{Π} – масштабные коэффициенты;

K_{σ} и K_{τ} – эффективные коэффициенты концентрации напряжений;

ψ_{σ} и ψ_{τ} – коэффициенты постоянной составляющей цикла.

Расчет подшипниковых узлов

Перед проведением расчета подшипниковых узлов необходимо определиться с типом подшипниковых узлов, размерами подшипников, рассчитать реакции в подшипниковых опорах.

Проверочный расчет подшипников чаще всего ведется по динамической грузоподъемности. При этом расчетная динамическая грузоподъемность подшипника не должна превышать паспортную на подшипник.

$$C = P_r \cdot p \sqrt{\frac{L_E}{a_{23}}}, \quad (21)$$

где P_r – эквивалентная нагрузка на подшипник;

p – коэффициент типа подшипника: для роликовых подшипников $p = 3,33$, для шариковых – $p = 3$;

a_{23} – обобщенный коэффициент совместного влияния качества металла и условий эксплуатации;

L_E – ресурс работы

$$L_E = 60 \cdot 10^6 \cdot n \cdot L_h, \quad (22)$$

где n – частота вращения вала.

$$P_r = (X \cdot V \cdot R + Y \cdot F_a) \cdot K_{\sigma} \cdot K_T, \quad (23)$$

где X – коэффициент радиальной силы;

V – коэффициент вращения, $V=1$ при вращении внутреннего кольца;

R – радиальная нагрузка в опоре;

Y – коэффициент осевой силы;

F_a – осевая нагрузка на подшипник;

K_{σ} – коэффициент безопасности;

K_T – температурный коэффициент.

Выводы

Таким образом, проектирование привода исполнительного органа комбайна является многовариантной задачей, требующей вариации многих факторов, влияющих на работоспособность привода, при этом необходимо руководствоваться компоновочными соображениями, соображениями надежности, шума и безопасности, учитывать особенности технологии проведения горных работ, а также технологии производства привода в целом.

Данная методика отражает общий принцип проведения расчетов привода и содержит общие рекомендации по выбору параметров элементов привода.

Список использованных источников

1. Малеев, Г.В. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: учебник для вузов / Г.В. Малеев, В.Г. Гуляев, Н.Г. Бойко. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
2. Солод, В.И. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: учебник для вузов / В.И. Солод, В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек. – М.: Недра, 1982. – 350 с.
3. Прушак, В.Я. Влияние схемы набора резцов на параметры шнековых исполнительных органов комбайнов для добычи калийных солей / В.Я. Прушак, А.А. Жевлаков // Горная механика. – 2006. – № 2. – С. 72-77.
4. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика: ОСТ 12.44.258-84. – Введ. 01.01.86. – М.: Министерство угольной промышленности СССР, 1986. – 108 с.
5. Комбайны проходческо-очистные для добычи калийных руд. Выбор показателей назначения и расчет параметров разрушения горных пород: отраслевая методика. – Ленинград: Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт галургии (ВНИИГ), 1976. – 54 с.
6. Малевич, Н.А. Горнопроходческие машины и комплексы: учебник для вузов / Н.А. Малевич. – 2-е изд. – М.: Недра, 1980. – 384 с.
7. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность: ГОСТ 21354-87. – Введ. 01.01.89. – М.: Министерство энергетического машиностроения СССР, 1989. – 127 с.
8. Иванов, М.Н. Детали машин: учебник для вузов / М.Н. Иванов. – изд. 3-е, доп. и перераб. – М.: Высш. школа, 1976. – 399 с.
9. Проектирование трансмиссий автомобиля: справочник / А.И. Гришкевич [и др.]; под ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.

Kuchik A.S., Mikhalenya V.D., Shcherba Ye.V.

The method of stress calculation of transmission of the cutting device of the selective action roadheader

The article is about the method of stress determination of transmission of the cutting device of the selective action roadheader.

Поступила в редакцию 16.09.2014 г.

УДК 622.23.054.54

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ МЕТОДОМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУЗОПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ β -РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Конопляник И.А. (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь)

Предложен метод определения основных расчетных показателей случайных грузопотоков ленточных конвейеров с использованием β -распределения, описывающего распределение вероятности конкретных реализаций случайной величины грузопотока, равномерно распределенной в некотором интервале, что позволит повысить надежность расчета и обоснования оптимизации параметров ленточных конвейеров.

Введение

Проблемы типизации случайных грузопотоков на горных предприятиях связаны с необходимостью выделения таких их характеристик, для которых можно установить статистически устойчивые закономерности. Случайный входной грузопоток ленточных конвейеров и интервалы его непрерывного поступления имеют ограниченные снизу и сверху пределы изменения, но, исходя из простоты математических преобразований, для их описания обычно используют нормальный закон распределения, имеющий слева и справа неограниченные «хвосты» [1]. Соответствующая им вероятность очень мала, но и допускаемая вероятность ошибки расчетов также весьма мала ввиду достаточно высокой требуемой надежности транспортных конвейерных линий, так как определение параметров грузопотоков связано с расчетом необходимой приемной способности ленточных конвейеров. Поэтому допускаемая вероятность ошибки расчетов параметров конвейера в современных условиях оказывается сопоставимой с ошибкой, вносимой при использовании нормального закона распределения. Использование усеченного нормального распределения не решает проблемы, так как автоматически приводит к линейной зависимости среднеквадратического отклонения величины грузопотока от его математического ожидания, поэтому в действующих положениях по проектированию подземного транспорта на горных предприятиях характеристиками грузопотока являются средняя, максимальная и минимальная величины. При определении характеристик суммарного грузопотока на сборных конвейерах приходится пренебрегать усеченностью принятого нормального закона распределения его величины, а распределение интервалов непрерывного поступления груза считать экспоненциальным, чтобы свести задачу суммирования грузопотоков к задаче потоков заявок в системе массового обслуживания.

Построение модели формирования грузопотока

При аппроксимации распределения случайных величин нормальным законом не учитываются закономерности их формирования под действием различных технических и технологических факторов, что ограничивает область применения имеющихся экспериментальных данных. Так, по данным исследований проф. Г.И. Бабокина, на шахтах АО «Тулауголь» распределение величины грузопотока магистральных конвейеров изменяется в зависимости от нагрузки на забой от нормального до треугольного и даже

равномерного. В работе [2] отмечается, что непрерывная составляющая забойного грузопотока на угольной шахте, определяемая случайной скоростью движения выемочной машины, удовлетворительно описывается нормальным законом распределения только в отдельных случаях, и только в определенных интервалах измерения (0,5, ..., 1,0 мин). Как правило, распределение асимметрично, а вид асимметрии (левая или правая) зависит от соотношения минимальной и максимальной конструктивных скоростей движения выемочной машины и возможной в данных горнотехнических условиях средней фактической скорости. Поэтому предлагается описывать распределение величины грузопотока распределениями Пирсона, т.е. марковскими распределениями общего вида. Характер асимметрии распределения предлагается определять, исходя из того, в какой части диапазона конструктивных скоростей находилась фактическая средняя скорость выемочной машины. Для этого, диапазон скоростей произвольно был разбит на три части, средней его части, занимающей половину диапазона, предлагалось все же использовать нормальный закон распределения. Принципиальная физическая ограниченность величины грузопотока при этом не учитывалась. Кроме того, зависимость типа распределения величины грузопотока от скорости движения выемочной машины не связывается с ее отношением к скорости передвижки крепи (а это один из основных факторов, определяющих закон распределения).

В то же время, среди распределений Пирсона имеется довольно широкий класс распределений величин, ограниченных сверху и снизу, – это различные виды β -распределения, которое порождается марковским диффузионным процессом блуждания точки между двумя отражающими экранами [3]. Среднее положение точки по отношению к возможным крайним положениям задается параметрами распределения. Очевидно, эта схема близка по физическому смыслу к схеме формирования случайной скорости движения выемочной машины под действием конкретных горнотехнических факторов.

Одним из основных факторов, определяющих колебания величины забойного грузопотока, является скорость передвижки секций крепи [4]. Отставание крепления характерно для современных очистных комплексов и приводит к снижению скорости или остановке процесса выемки. Существует предельно допустимое в данных горнотехнических условиях расстояние отставания крепи от очистной машины. Вероятностное распределение времени передвижки одной секции крепи изменяется от близкого к нормальному при автоматическом управлении до равномерного – при ручном управлении [4]. В последнем случае законы распределения длительности интервалов движения выемочной машины с различными постоянными скоростями и ее остановок можно с достаточно высокой точностью аппроксимировать с помощью β -распределения, которое, как известно, описывает распределение вероятности конкретных реализаций случайной величины, равномерно распределенной в некотором интервале [5].

Еще одним доводом за использование этого распределения является ярко выраженная ритмичность процессов выемки: за смену или сутки, несмотря на колебания скорости выемки внутри этих интервалов, выполняется обычно целое число выемочных циклов, т.е. фиксированный плановый объем добычи. Если величину отклонения текущей скорости выемки от некоторой постоянной плановой скорости интерпретировать как разность округления случайного дробного числа до целого (а такое округление и происходит к концу смены или суток), то эти отклонения являются выборочными значениями равномерно распределенной «ошибки округления» и подчиняются β -распределению. Конечно, приведенные рассуждения верны только в первом, грубом приближении, но, с другой стороны, и известный в математической статистике ряд распределений практически не позволяет нам сделать другой выбор.

Различные виды β -распределения по параметрам асимметрии и островершинности заполняют практически всю область существования известных законов распределения [5]. Поэтому представляется целесообразным описывать забойные грузопотоки обобщенным законом β -распределения, имеющим плотность вероятности следующего вида:

$$f(x) = Cx^{\gamma-1}(1-x)^{\eta-1}, \quad (1)$$

где $x = (v_k - v_{k \min}) / (v_{k \max} - v_{k \min})$;

v_k – текущее значение скорости подачи комбайна;

$v_{k \min}$, $v_{k \max}$ – соответственно минимальная и максимальная конструктивные скорости подачи комбайна;

C – нормирующий коэффициент

$$C = \Gamma(\gamma + \eta) / [\Gamma(\gamma)\Gamma(\eta)(v_{k \max} - v_{k \min})];$$

$\Gamma(\gamma)$ – γ -функция.

На рисунке приведены примеры кривых плотности вероятности $f(x)$ β -распределения на интервале $[0,1]$.

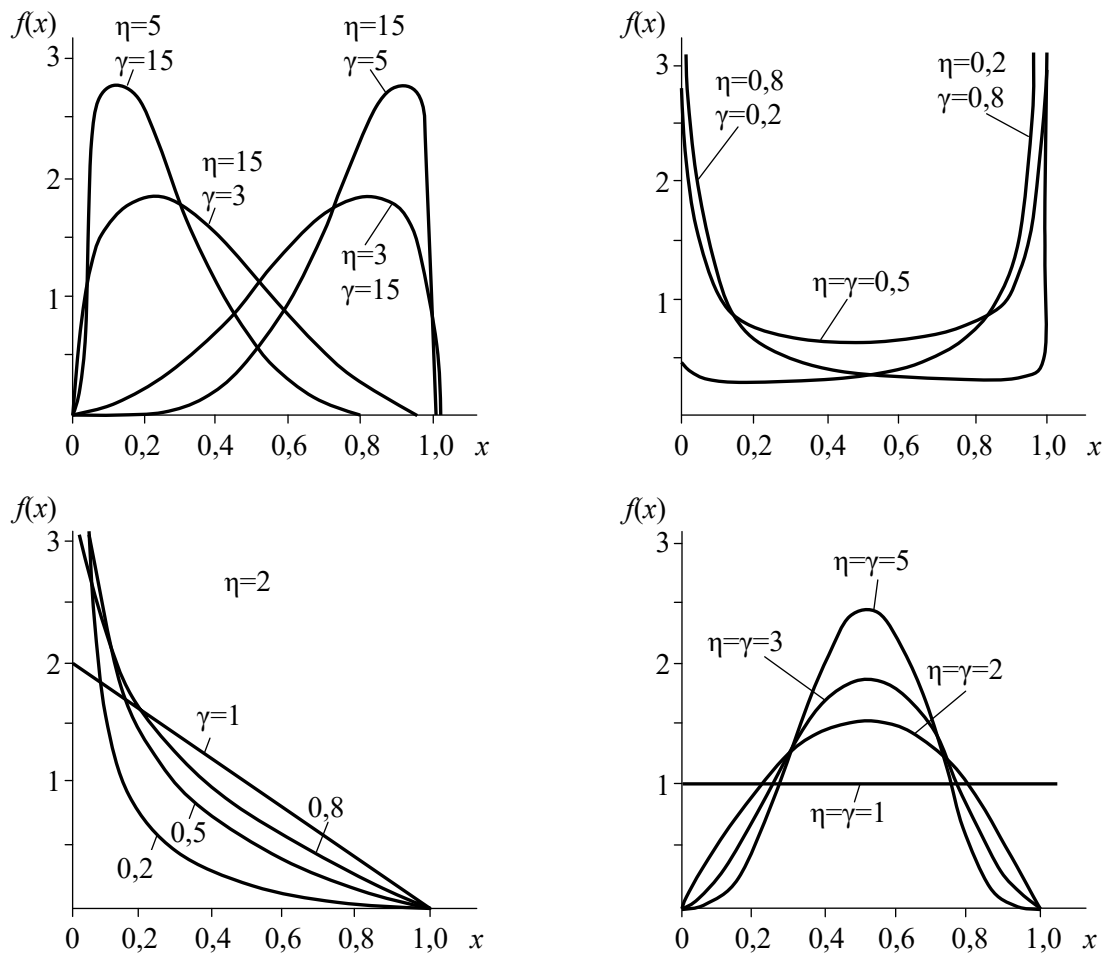


Рисунок – Форма кривых плотности вероятности $f(x)$ β -распределения при различных значениях его параметров

Если известна наиболее вероятная в данных горнотехнических условиях скорость подачи выемочной машины v_B , то соотношение между параметрами закона β -распределения можно считать заданным:

$$(\eta - 1)/(\gamma - 1) = [(v_{k \max} - v_{k \min})/(v_B - v_{k \min})] - 1. \quad (2)$$

При этом уменьшение значений обоих параметров соответствует увеличению дисперсии скорости подачи выемочной машины. Доказано, что марковский случайный процесс, ординаты которого подчиняются закону β -распределения, имеет экспоненциальную корреляционную функцию [3], как обычно используемый для описания забойных грузопотоков гауссовский процесс.

В основном рабочем режиме с учетом преобразования грузопотока от выемочной машины забойным конвейером получим мгновенное значение грузопотока из забоя:

$$Q = Q_M v_c / (v_k + v_c), \quad (3)$$

где Q_M – мгновенная производительность выемочной машины, пропорциональная скорости v_k ;

v_c – скорость забойного конвейера.

Распределение величины Q имеет вид, близкий к β -распределению, но максимальное значение его плотности смещено вправо относительно значения, соответствующего скорости подачи v_B . Смещение быстро увеличивается при $v_{k \max} \rightarrow v_c$, что можно, считая приближенно $Q(t)$ диффузионным процессом, учесть эквивалентным отражающим экраном. Тогда, забойный грузопоток можно приближенно считать экспоненциально-коррелированным, и некоторые формулы, используемые при расчетах ленточных конвейеров (например, формула для определения дисперсии количества груза, находящегося на конвейере), сохраняют свой вид.

Дифференциальное уравнение, описывающее соответствующий случайный процесс, известно [3], поэтому можно определить характеристики грузопотока при любых его преобразованиях. Использование β -распределения значительно повышает надежность расчета нагрузки на ленточный конвейер при малых допустимых уровнях ошибки, а соответствие его физической модели формирования грузопотока позволяет искать прямую зависимость параметров распределения от параметров выемочной машины и горнотехнических условий ее работы.

Таким образом, типизация случайных грузопотоков на горных предприятиях на первом этапе может быть основана на указании типичных значений показателей формы описывающего закона β -распределения γ и η . Более детальная характеристика грузопотоков возможна путем исследования их внутренней структуры: распределение длительности движения выемочной машины с различными постоянными скоростями и остановками. Процесс выемки с высокой степенью достоверности можно представить как поток прямоугольных импульсов случайной длительности и высоты, соответствующих различным скоростям движения машины. При этом анализировать внутреннюю структуру грузопотока можно на основе способа, предложенного нами для анализа мгновенного объемного расхода материала, транспортируемого ленточным конвейером [6, 7].

Для выбора ленточного конвейера по приемной способности необходимо знать мгновенный объемный расход транспортируемого материала. Обычно его получают делением величины Q на некоторую усредненную «насыпную плотность», зависящую от гранулометрического состава груза и других факторов. Поскольку в данном случае

необходимо знать мгновенное значение объемного расхода, то нужно использовать и понятие мгновенной случайной насыпной плотности. Вместо нее для удобства операций со случайными величинами рекомендуется использовать понятие мгновенного удельного насыпного объема транспортируемого материала ω , величины, обратно пропорциональной насыпной плотности. При этом объемный расход V определяется через величину грузопотока:

$$V = Q\omega = Q\sum \omega_i V_i,$$

где ω_i – удельные объемы отдельных фракций груза;

V_i – массовые доли различных фракций.

Здесь удельные объемы различных фракций груза зависят только от номера фракции и вида горной породы, а массовые доли связаны с колебаниями условий работы выемочной машины (прочности и трещиноватости горной породы в целике), так же как и ее скорость подачи. Таким образом, при расчете необходимой приемной способности конвейера можно учесть значительные случайные колебания насыпной плотности транспортируемого груза и их корреляцию с величиной грузопотока. Законы вероятностного распределения массовых долей различных фракций можно принять в виде β -распределения: в теории вероятностей оно еще известно как распределение долей результатов измерения какой-либо величины, попадающих в числовой интервал с данным номером. Хотя, вообще говоря, при смешивании различных фракций груза суммарный объем будет несколько меньше суммы их объемов, можно этим фактом пренебречь в запас надежности расчетов, тем более, что при движении груза на конвейере происходит его сегрегация, т.е. разделение на слои по крупности фракций.

Выводы

Использование предложенных выше методов определения основных расчетных показателей случайных грузопотоков ленточных конвейеров позволяет не только повысить надежность их расчета и обоснования их конструктивных параметров, но и построить эффективные алгоритмы оптимизации параметров ленточных конвейеров. Если зависимость (1) рассматривать как зависимость от двух переменных: x и y ($y = 1 - x$), связанных между собой ограничением $x + y = 1$, а показатели степени γ и η интерпретировать как степени влияния на эффективность работы машины положительных и отрицательных факторов при увеличении установленной скорости ее движения, то получим типичную математическую модель задачи на оптимизацию этой установленной скорости. При этом выражение (1) оказывается так называемой гомогенной функцией переменных x и y . Такие функции применяются при построении математических моделей эффективности работы технических объектов методами теории подобия, а их аргументы называют обобщенными параметрами объекта. Использование таких моделей эффективности технической системы, в частности, ленточного конвейера, позволяет построить эффективный алгоритм обоснования ее оптимальных параметров путем оптимизации обобщенных параметров [7]. При этом оптимизация и последующий анализ оптимального решения выполняются достаточно простыми и имеющими ясную технико-экономическую интерпретацию методами геометрического программирования, а выражение оптимального решения через обобщенные параметры – критерии подобия – позволяет придать ему достаточно общий характер. Построение моделей грузопотоков ленточных конвейеров на основе β -распределения позволяет использовать эти модели

при оптимизации их обобщенных параметров методами геометрического программирования.

Список использованных источников

1. **Шахмейстер, Л.Г.** Вероятностные методы расчета транспортирующих машин / Л.Г. Шахмейстер, В.Т. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1983. – 256 с.
2. **Мерцалов, Р.В.** Обобщение статистики о неравномерности забойных грузопотоков на угольных шахтах / Р.В. Мерцалов // Сб. науч. тр. / Вып. 9: Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1984. – С. 5-13.
3. **Тихонов, В.И.** Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов. – М.: Сов. радио, 1977. – 488 с.
4. **Красников, Ю.Д.** Повышение надежности функционирования забоев угольных шахт / Ю.Д. Красников, С.В. Солод, А.А. Топорков. – М.: Недра, 1993. – 176 с.
5. **Хан, Г.** Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
6. **Дьяченко, В.П.** К обоснованию расчетных эксплуатационных режимов ленточных конвейеров горных предприятий / В.П. Дьяченко // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2003. – № 1. – С. 223-224.
7. **Дьяченко, В.П.** Оценка параметров грузопотоков угольных шахт / В.П. Дьяченко // Проблемы ускорения научно-технического прогресса в отраслях горного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Люберцы, 2003. – С. 291-294.

Konoplyanik I.A.

Belt conveyors parameter optimization by the method of stream of supply model making by using β -distribution

The method is proposed of the determination of basic calculated values of random streams of supply of the belt conveyors by using β -distribution describing distribution of the possibility of specific realization of random variate of the stream of supply, even distributed in some interval, which will allow increasing accuracy of calculation and parameter optimization of the belt conveyors.

Поступила в редакцию 20.11.2014 г.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 661.8; 541.18

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ ШЛАМОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ СИЛЬВИНИТОВЫХ РУД ФЛОТАЦИОННЫМ МЕТОДОМ, НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Можейко Ф.Ф., Поткина Т.Н., Шевчук В.В., Стефанович С.Ч. (ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь)

Изучены структурно-реологические свойства (предельное статистическое и динамическое напряжение сдвига, вязкость, пластичность) глинисто-солевых дисперсий (ГСД), образующихся при обесшламливании сильвинитовой руды Старобинского месторождения, а также влияние на эти свойства и степень обезвоживания глинисто-солевых дисперсий реагентов-модификаторов и флокулянтов. Установлено, что прочность структур ГСД, а также объемы сформировавшихся осадков находятся в прямой зависимости от молекулярной массы применяемых реагентов-модификаторов. Показано, что низко- и среднемолекулярные реагенты-модификаторы оказывают меньшее структурообразующее действие, чем карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) или крахмал, что способствует повышению эффективности обезвоживания ГСД.

Введение

Технологические схемы обогащения сильвинитовых руд с повышенным содержанием глинистых примесей включают сложный и громоздкий узел сгущения и фильтрации глинисто-солевых шламов. Для интенсификации процессов обезвоживания и уменьшения площадей для размещения отстойников и фильтров применяются реагенты-флокулянты, понижающие кинетическую и агрегативную устойчивость глинисто-солевых суспензий. Широкое применение для этих целей в последнее время получили высокомолекулярные синтетические полимеры типа полиакриламида (ПАА).

Специфической особенностью процесса обезвоживания глинисто-солевых шламов при флотационном обогащении калийных солей является то, что флокуляции глинистых шламов предшествует обработка их защитными реагентами-депрессорами. В качестве последних, как правило, применяют высокомолекулярные водорастворимые соединения, которые образуют на поверхности частиц структурированные защитные пленки и понижают адсорбцию дефицитных собирателей – аминов – глинистыми примесями. Наряду с этим, при обработке глинисто-солевых пульп реагентами-депрессорами вследствие изменения молекулярной природы и свойств поверхности твердой фазы изменяются их основные коллоидно-химические свойства: устойчивость, фильтрация, дисперсность, гидрофильность, структурно-механические характеристики и др. Изучение этих свойств и изыскание способов их регулирования имеет важное значение при отработке оптимального реагентного режима схем обезвоживания.

В настоящее время основная масса глинисто-солевых шламов после сгущения направляется на складирование на шламохранилище. В результате потерь хлорида ка-

лия с твердой фазой шламов извлечение KCl уменьшается на 5-6 %. Шламохранилища вследствие несовершенства технологии обогащения калийных руд являются опасным источником загрязнения окружающей территории. Поэтому при разработке мероприятий по усовершенствованию технологии получения калийных удобрений и защите окружающей среды особое внимание должно быть уделено разработке таких способов переработки руд, которые позволили бы частично устранить источники засоления уже в самом технологическом процессе их обогащения.

Результаты исследований

Необходимо отметить, что применение синтетических флокулянтов типа ПАА позволило значительно интенсифицировать процессы осветления глинисто-солевых дисперсий. При сгущении в статических условиях образование осадка суспензии достигается за несколько минут, в дальнейшем величина объема осадка изменяется незначительно. Образующийся при этом осадок занимает значительно больший объем, чем в отсутствие реагента-флокулянта. Объем осадков в определенной степени является функцией количества введенного флокулянта. ПАА с большей молекулярной массой способствует образованию более объемных осадков (таблица 1). По своим свойствам дисперсии глинисто-карбонатных минералов приближаются к коллоидным системам, однако обладают значительно меньшей кинетической устойчивостью. Начиная с определенной концентрации твердого, они являются структурированными системами, структурно-реологические свойства которых существенно зависят от содержания глины (таблица 2).

Таблица 1 – Зависимость предельного статического напряжения сдвига P_1 и высоты осадков H 20 %-ной глинисто-солевой суспензии от расхода ПАА различной молекулярной массы

Расход ПАА, мг/г глины	Масса ПАА											
	$1,3 \cdot 10^6$		$1,6 \cdot 10^6$		$1,8 \cdot 10^6$		$2,0 \cdot 10^6$		$2,4 \cdot 10^6$		$3,3 \cdot 10^6$	
	P_1 , дПа	H , см	P_1 , дПа	H , см	P_1 , дПа	H , см	P_1 , дПа	H , см	P_1 , дПа	H , см	P_1 , дПа	H , см
0	24,7	3,3	24,4	—	24,7	—	23,4	—	24,4	—	26,0	—
0,3	31,2	3,7	27,3	3,5	32,4	3,3	28,6	3,8	35,1	4,0	41,6	4,6
0,6	35,1	4,0	31,2	3,5	33,8	3,4	31,2	4,3	36,4	4,3	47,7	5,1
1,0	33,8	4,2	37,7	4,4	40,3	4,1	44,2	4,7	41,6	4,5	62,9	5,7
2,0	45,8	4,4	40,3	4,3	59,8	4,9	72,8	5,3	55,9	4,9	78,0	5,4
5,0	53,3	3,8	54,6	4,0	61,1	4,1	65,0	4,8	52,0	4,1	67,6	4,2

Приведенные данные в таблице 2 показывают, что при определенной концентрации соленосных глин в их суспензиях происходит образование коагуляционной структуры. Особенно заметный рост структурно-реологических показателей наблюдается для суспензий в насыщенном растворе солей начиная с 20 %-ной концентрации глины, а для водных суспензий – с 30 %-ной концентрации. В области указанных концентраций в суспензии происходит завершение формирования объемной структурной сетки дисперсной фазы. Дальнейшее заполнение сетчатой структуры приводит к ее уплотнению, проявляющемуся в росте структурно-реологических характеристик.

Таблица 2 – Структурно-реологические свойства суспензий соленосных глин, дисперсной фазой которых являются вода и насыщенный по KCl и NaCl раствор

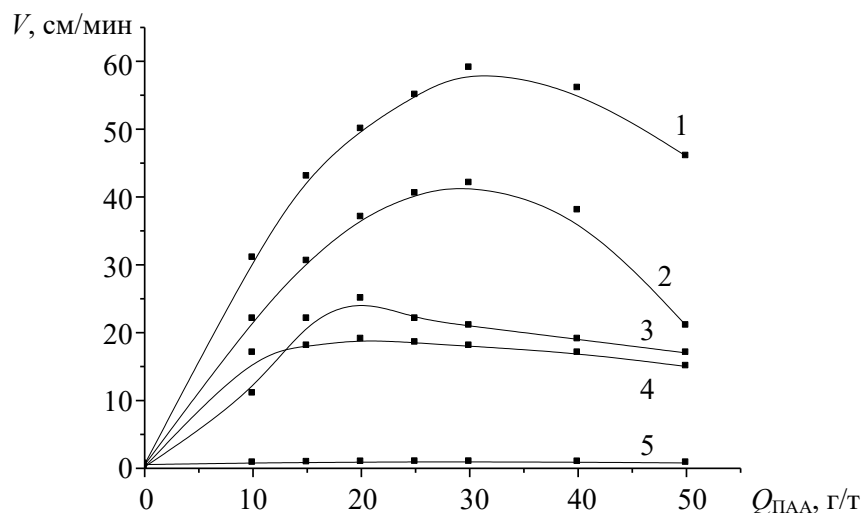
Константа	Содержание глины, мас. %							
	5	10	15	20	25	30	35	40
	вода							
$P_{к1}$, дПа	–	0,6	2,6	10,3	19,3	45,7	57,4	87,0
$P_{к2}$, дПа	–	4,0	8,0	25,3	49,3	89,0	137,0	185,0
η_m , Па·с	1,35	1,6	1,8	2,1	2,4	3,0	4,1	6,0
$P_{к2}/\eta_m^*$, с ⁻¹	–	2,5	4,3	12,1	21,9	30,6	34,0	31,0
	насыщенный по KCl и NaCl раствор							
$P_{к1}$, дПа	–	2,6	5,1	22,9	22,9	84,8	169,7	–
$P_{к2}$, дПа	–	16,0	34,0	57,0	220,0	275,0	–	–
η_m , Па·с	2,8	3,2	3,5	4,3	6,7	8,4	–	–
$P_{к2}/\eta_m$, с ⁻¹	3,0	5,0	9,7	13,8	32,0	33,0	–	–
*$P_{к1}$, $P_{к2}$, – условный статический (динамический) предел текучести; η_m – наименьшая пластическая (бингамовская) вязкость; $P_{к2}/\eta_m$ – пластичность								

Как видно из таблицы 2, дисперсии глинистых шламов в насыщенном растворе солей имеют более высокие значения структурно-реологических показателей, чем водные дисперсии. Такое различие вызвано тем, что высокие концентрации солей в растворе, дегидратируя поверхность глинистых частиц и их агрегатов и снижая их дзета-потенциал практически до нуля, способствуют более прочному взаимодействию частиц и агрегатов между собой. Гидрофобность большей части поверхности частиц шламов в насыщенном растворе солей способствует быстрому упрочнению структуры, вследствие чего тиксотропные свойства этих суспензий проявляются слабо. Это подтверждается небольшой разностью между величинами напряжений сдвига, измеренными через 1 и 10 мин после нахождения суспензии в состоянии покоя.

Внешним проявлением более сильного структурообразования в суспензиях на насыщенном растворе солей является увеличение конечного объема осадков суспензий в солевом растворе по сравнению с водными суспензиями. Структурные сетки в концентрированных суспензиях удерживают большое количество иммобилизованной жидкой фазы. Процесс обезвоживания таких суспензий заключается в выдавливании иммобилизованной внутри структуры жидкости, в постепенном стирании структур под действием внешних факторов.

Данные таблицы 1 и рисунка 1 показывают, что объем конечного осадка суспензий существенно зависит также от расхода ПАА и его молекулярной массы. Сравнение объемов осадков суспензий с прочностью их структур показывает, что между ними имеется достаточно хорошая корреляция. При использовании более высокомолекулярного полиэлектролита возрастают как объем осадка суспензии, так и прочность его структур. Максимум объема осадков, т.е. минимальное уплотнение осажденных суспензий, имеет место при тех расходах электролитов, при которых наблюдается максимум структурообразования. Наличием коагуляционных структур повышенной прочности в глинисто-солевых суспензиях, содержащих определенное количество высокомолекулярных полиэлектролитов, объясняется нарушение отстойной аппаратуры и крайне медленное уплотнение суспензии на шламохранилищах. Расчеты показывают, что в глинисто-солевой суспензии, предельное напряжение сдвига которой превышает 3 Па,

будут «зависать» практически все солевые частицы флотационной крупности, что неизбежно приводит к перегрузке сгустителей и к аварийной обстановке на калийных предприятиях. Для интенсификации процесса обезвоживания глинисто-солевых суспензий необходимо создать условия, предотвращающие возникновение пространственных коагуляционных сеток повышенной прочности. Это может быть достигнуто подбором таких реагентов-модификаторов и их смесей, которые наряду с хорошим депрессирующим действием оказывали бы на глинисто-солевые дисперсии более слабое структурообразующее действие.



1 – суспензия, обработанная мочевино-формальдегидной смолой (МФС) 200 г/т руды;
 2 – суспензия, обработанная МФС 400 г/т руды; 3 – суспензия, обработанная МФС 800 г/т руды;
 4 – суспензия, обработанная МФС 2 000 г/т руды; 5 – суспензия, обработанная КМЦ 600 г/т руды

Рисунок 1 – Влияние расхода ПАА Q на скорость осветления 5 %-ной глинисто-солевой суспензии V

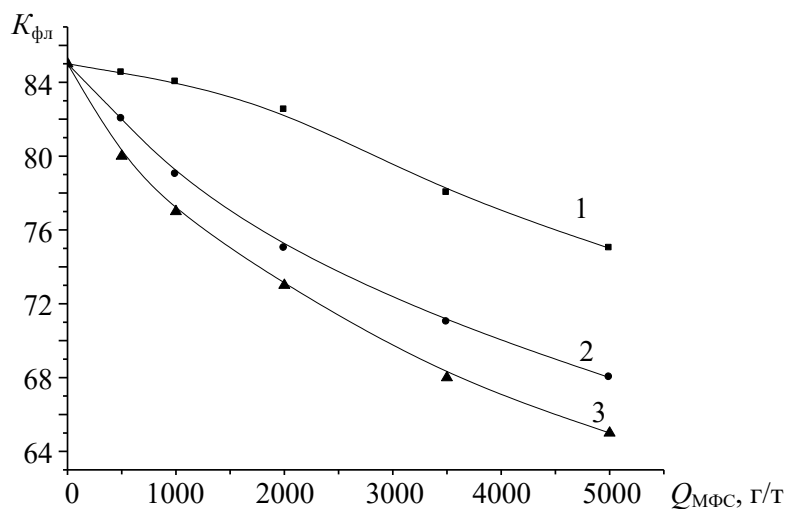
Показано [1, 2], что это может быть достигнуто при использовании более низкомолекулярных веществ типа МФС, модифицированных лигносульфонатов, КМЦ, продуктов неполного гидролиза древесины, макромолекулы которых не в состоянии образовывать сплошные пространственные структурные сетки.

В связи с перспективностью использования на ОАО «Беларуськалий» МФС в смеси с КМЦ в качестве реагента-модификатора при флотации сильвинитовой руды было изучено влияние этой реагентной смеси на структурно-реологические свойства и устойчивость глинисто-солевых дисперсий.

Установлено (рисунок 1), что с повышением содержания МФС в суспензии флокулирующее действие ПАА снижается. Однако применение смолы в смеси с КМЦ позволяет при одних и тех же расходах флокулянта достичь более высоких скоростей сгущения суспензии, чем при применении одной КМЦ.

Молекулы МФС отличаются меньшей, чем КМЦ молекулярной массой, поэтому не оказывают такого высокого стабилизирующего действия. Гидрофильные группы МФС ($-\text{NH}_2$, $-\text{CO}$, $-\text{CH}_2\text{OH}$), взаимодействуя через водородные связи с поверхностью глинистых частиц, блокируют адсорбционно-активные центры. Образующиеся защитные оболочки также являются барьером к агрегирующему действию ПАА, вследствие чего эффективность действия флокулянта снижается по мере увеличения концентрации

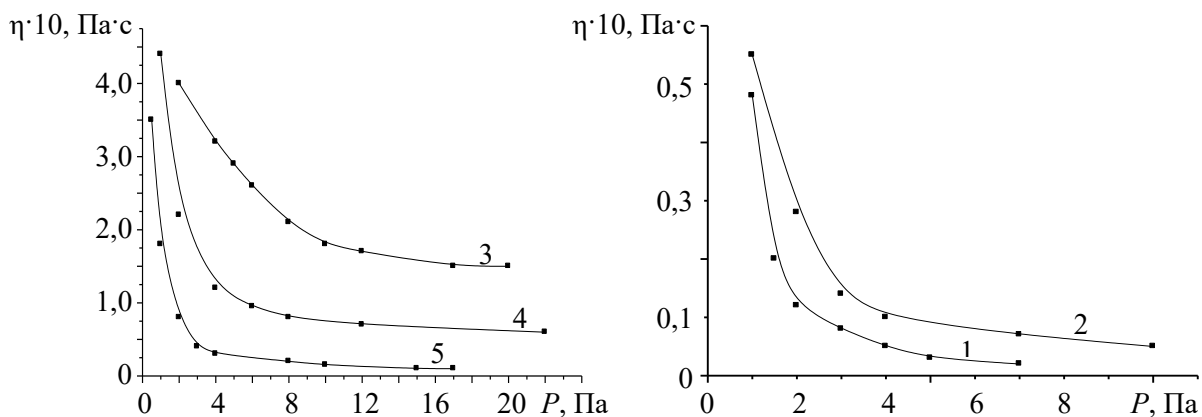
МФС и его молекулярной массы в суспензии (рисунок 2). Однако снижение агрегирующего действия ПАА меньше, чем в случае предварительной обработки только высокомолекулярной КМЦ.



1 – вязкость смолы $8 \cdot 10^{-3}$; 2 – $13,5 \cdot 10^{-3}$; 3 – $26 \cdot 10^{-3}$

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента флокуляции 5 %-ной глинистой суспензии от содержания МФС различной молекулярной массы

На рисунке 3 представлены данные о зависимости пластической вязкости глинисто-солевой суспензии, предварительно обработанной КМЦ и МФС, а также их смесью, причем содержание МФС в суспензии соответствует наиболее оптимальному модифицирующему действию этого реагента в смеси с КМЦ.



1 – исходная суспензия; 2 – суспензия, обработанная крепителем М-2 60 мг/г глины;
3 – суспензия, обработанная КМЦ 30 мг/г; 4 – обработанная КМЦ + М-2: 20 мг/г + 20 мг/г;
5 – суспензия, обработанная КМЦ + М-2: 10 мг/г + 40 мг/г

Рисунок 3 – Зависимость пластической вязкости от напряжения сдвига 20 %-ной глинисто-солевой суспензии

Из рисунка видно, что добавки КМЦ в количестве, соответствующем оптимальным расходам, вызывают сильное загустение глинисто-солевых дисперсий, которые начинают течь при весьма высоких напряжениях сдвига. Снижение содержания КМЦ за счет замены ее эквивалентным количеством М-2 повышает подвижность системы. Добавка одного крепителя М-2 (рисунок 3, кривая 2) практически не сказывается на структурно-реологических свойствах глинисто-солевых дисперсий.

Таким образом, частичная замена дорогостоящей и дефицитной КМЦ низкомолекулярными МФС при флотации сильвинитовой руды повышает эффективность обезвоживания глинисто-солевых суспензий.

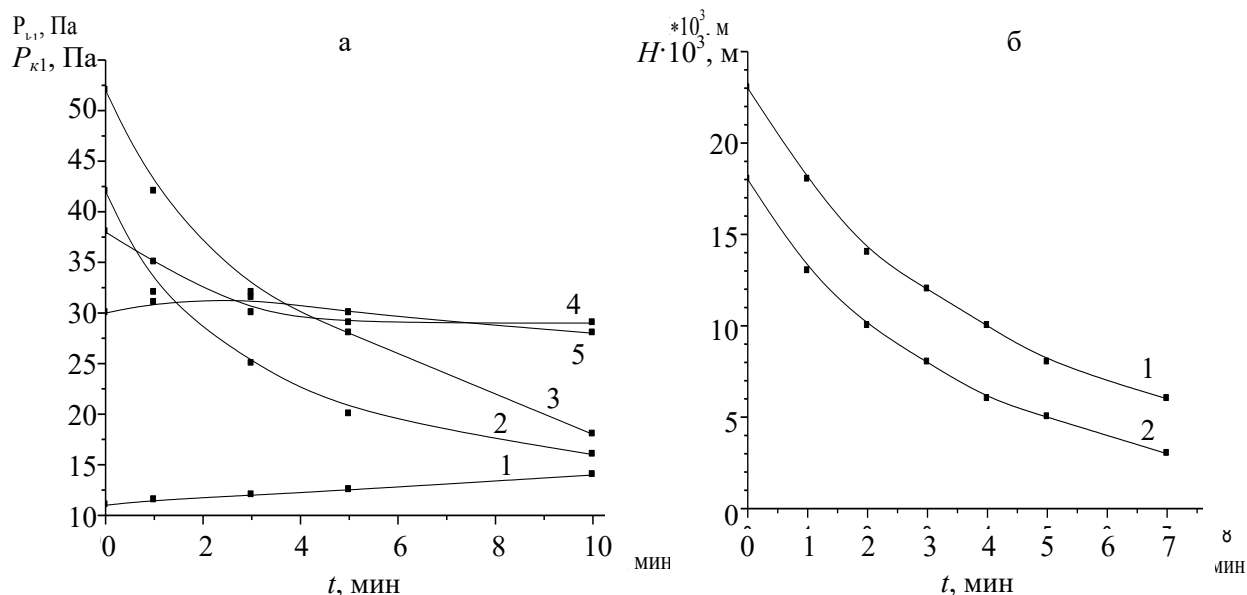
Исследования процесса образования коагуляционных структур материалов в различных условиях показали [3, 4], что механическое, ультразвуковое воздействие, гидротермальная и термическая обработка позволяют изменять структурно-механические характеристики дисперсий в широких пределах, в том числе, в необходимом для технологии направлении. Также выявлено, что снижение структурообразования в глинисто-солевых суспензиях может быть достигнуто разрушением пространственной структурной сетки при механическом воздействии. При этом размер сфлюктурированных агрегатов частиц уменьшается, что создает благоприятные условия для лучшего уплотнения концентрированных дисперсий и уменьшения потерь КСІ в операциях обезвоживания.

Известно, что структуры дисперсных систем делятся на коагуляционные (тиксотропно-обратимые) и конденсационно-кристаллизационные. Для первого типа структур характерны малая прочность, ярко выраженные пластично-вязкостные и эластичные свойства, способность к релаксации напряжений и тиксотропному восстановлению прочности во времени. Конденсационно-кристаллизационные структуры отличаются упруго-хрупкими свойствами, высокой прочностью и необратимостью свойств при разрушении. Определить тип структур в дисперсных системах можно путем измерения их характеристики в широком интервале напряжений сдвига.

При интенсивном механическом перемешивании дисперсий глин калийных солей в отсутствие высокомолекулярных реагентов прочность структур от времени перемешивания незначительно увеличивается, так как при этом имеет место рост концентрации глинистых частиц в единице объема вследствие разрушения агрегатов частиц. Для структур, возникших при введении в глинисто-солевые дисперсии небольших количеств высокомолекулярных реагентов (КМЦ, ПАА, крахмал), характерно резкое уменьшение прочности при механическом воздействии, особенно заметное в начальный период воздействия (рисунок 4).

Значительного уменьшения прочности структур дисперсий можно достичь исходя из типа структур, возникших в глинисто-солевых суспензиях под действием высокомолекулярных соединений. Прочность этих структур, как уже отмечалось выше, определяется числом «мостиков» из макромолекул реагентов между частицами глины и их агрегатами, а также взаимодействием частиц между собой посредством ван-дер-ваальсовских сил. При наложении на суспензию механического воздействия в первую очередь происходит разрыв «мостиковых» связей между агрегатами частиц. Свободные концы макромолекул и их ассоциатов под действием высоких концентраций солей быстро глобулизируются и практически не участвуют во вторичном образовании «мостиков». Это приводит к тому, что в состоянии покоя суспензии прочность ее структуры не принимает первоначального значения. Уменьшение тиксотропности дисперсий глин особенно заметно по мере увеличения добавок в суспензию высокомолекулярных гидрофильных соединений, гелеобразные защитные оболочки которых предотвращают возникновение прочных коагуляционных структур, которые быстро глобулизируются и

практически не участвуют во вторичном образовании «мостиков». И как следствие – после оставления суспензии в состоянии покоя прочность ее структуры не принимает первоначального значения. Это свидетельствует о том, что структуры дисперсий соленосных глин, обработанных высокомолекулярными полиэлектролитами, по своим свойствам занимают промежуточное положение между коагуляционными и конденсационно-кристаллизационными структурами [5].



1 – исходная суспензия; 2 – суспензия, обработанная 10 мг КМЦ; 3 – суспензия, обработанная 15 мг КМЦ; 4 – суспензия, обработанная 6 мг крахмала; 5 – суспензия, обработанная ПАА 1 мг/г глины. Молекулярная масса ПАА: 1 – $1,6 \cdot 10^6$; 2 – $1,3 \cdot 10^6$

Рисунок 4 – Зависимость предельного статического напряжения сдвига (а) и высоты осадка (б) 20 %-ной суспензии соленосной глины от времени ее перемешивания

Разрушение пространственных структур при механическом воздействии на суспензии, содержащие высокомолекулярные флокулянты, способствует повышению эффективности последних стадий обезвоживания глинисто-солевых отходов калийного производства (рисунок 4). Особенно заметное увеличение скорости фильтрации наблюдается в первоначальный период перемешивания суспензий. Установлено, что в зависимости от интенсивности перемешивания максимальная скорость фильтрации шламов достигается после 1-5 мин с начала перемешивания. Как видно из рисунка 4, за это время достигается наиболее заметное разрушение пространственной структурной сетки. При разрушении последней большая часть иммобилизованной внутри сеток жидкости проходит через осадок, который после обезвоживания имеет меньшую влажность.

При механическом воздействии на глинисто-солевые дисперсии, обработанные ПАА, наряду с разрушением структур происходит разрушение крупных рыхлых флокул глинистых частиц, что создает благоприятные условия для лучшего уплотнения концентрированных суспензий на шламохранилищах. Сооружение дополнительных устройств для перемешивания суспензий перед подачей их на шламохранилища, а также частичная замена высокомолекулярных депрессоров низкомолекулярными позволит ускорить формирование плотных, малофильтруемых глинистых защитных экранов и сократить потери КСI с отходами производства.

Заключение

Показано, что глинисто-солевые дисперсии, образующиеся при обогащении сильвинитовых руд флотационным методом, отличаются низкой агрегативной и кинетической устойчивостью и в зависимости от содержания твердой фазы представляют собой либо структурированные жидкости, либо системы псевдопластичной структуры различной прочности. Установлено, что прочность структур глинисто-солевых дисперсий, а также объемы сформировавшихся осадков находятся в прямой зависимости от молекулярной массы применяемых реагентов-модификаторов. Для этих структур характерно необратимое уменьшение прочности при механическом воздействии на дисперсии, а величина обезвоженного материала находится в прямой зависимости от прочности структур дисперсий. Показано, что низко- и среднемолекулярные реагенты-модификаторы оказывают меньшее структурообразующее действие, чем КМЦ или крахмал, что способствует повышению эффективности обезвоживания глинисто-солевых дисперсий.

Список использованных источников

1. **Можейко, Ф.Ф.** Физико-химические основы обогащения высокоглинистых забалансовых сильвинитовых руд / Ф.Ф. Можейко, Т.Н. Поткина // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2008. – № 4. – С. 25-32.
2. Физикохимия селективной флотации калийных солей / Х.М. Александрович [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1983. – 272 с.
3. **Круглицкий, Н.Н.** Основы физико-химической механики / Н.Н. Круглицкий. – К.: Вища шк., 1975. – 267 с.
4. **Урьев, Н.Б.** Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Н.Б. Урьев. – М.: Химия, 1988. – 256 с.
5. **Ребиндер, П.А.** Избранные труды: в 2 т. / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1978-1979. – 2 т.

Mozheiko F.F., Potkina T.N., Shevchuk V.V., Stsefanovich S.Ch.

The influence of structurization of clay-salt slime, produced at silvinit ore enrichment by flotation method, on their dewatering efficiency

The structural and rheological properties (limiting statistical and dynamic shear stress, viscosity, plasticity) of clay-salt dispersions (CSD) formed at Starobin deposit sylvinite ore desliming, as well as the reagents modifiers and flocculants effect on these properties and the degree of dewatering of clay-salt dispersions were studied. It was determined that the CSD structures strength, as well as the amount of generated precipitation dependent on the reagents modifier molecular weight. It was shown that low-and mediummolecular reagents-modifiers have less structurization effect than carboxymethylcellulose or starch, thereby increasing the efficiency CSD dewatering.

Поступила в редакцию 10.10.2014 г.

УДК 678.5.026.046.3(047)(476)

МОДИФИЦИРУЮЩИЙ МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СИЛИКАТНЫХ ЧАСТИЦ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ

Овчинников Е.В. (Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия), Лиопо В.А., Струк В.А. (Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь), Григорьева Т.Ф. (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия)

В статье исследована структура и технология формирования механоактивированных композиционных материалов с заданными параметрами функциональных характеристик на основе органических и неорганических соединений. Показано, что легирование полиамидной матрицы механоактивированными смесями «полимер-силикат» обуславливает реализацию комплексного эффекта увеличения реологических и прочностных характеристик.

Введение

Перспективным подходом при формировании полимерных нанокомпозиционных материалов является управление параметрами структурообразования данных систем, основанного на создании нанокомпозиционных материалов, с определенным образом сформированной оптимизированной структурой на заданном уровне организации. Проводимые системные исследования композиционных материалов, содержащих в том числе и ультрамалые по геометрическим размерам добавки и модификаторы, на основе различных матриц, свидетельствуют о том, что роль данных объектов в процессах структурирования, формообразования, контактных процессов в динамических и статических системах различного химического строения, состава, структуры очень высока [1]. Например, ставшие в настоящее время классическими, исследования по особенностям модифицирующего влияния коллоидных металлов (по нынешней терминологии «наноразмерных металлических частиц») на полимерные матрицы [2] показали возможность эффективного управления не только кинетикой формирования молекулярных и надмолекулярных структур, но и интенсивностью термоокислительных и деструкционных процессов в олигомерных и полимерных матрицах, и изнашивания изделий из композитов в трибосистемах [3]. Таким образом, одним из основных направлений в области создания новых композиционных материалов на базе полимеров является применение наноразмерных частиц. Применение данного класса веществ обусловлено их высокой активностью в результате строения отличного от строения блочных материалов того же химического состава.

Целью данного исследования является разработка теоретических представлений влияния модифицирующего действия активированных композиционных силикатных частиц в полимерных матрицах во взаимосвязи с физико-механическими характеристиками.

Методика исследований

В качестве объектов исследований использовали полиамид ПА 6, структурная формула $5-(\text{NH}-[\text{CH}_2]_5-\text{CO})_n$, слоистый силикат – каолинит $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$. Механическую активацию проводили в шаровой мельнице планетарного типа марки АГО-2 с водяным охлаждением. В качестве полимерной матрицы для модифицирования использовали ПА 6-210/310, в качестве модифицирующего агента механоактивированную

смесь полиамид 6-каолинит с процентным соотношением 30 мас. % : 70 мас. %. Механоактивация смеси проводилась в течение 4 минут, при ускорении 60 g. Процентное содержание модификатора в композиции составляло от 0,5 мас. % до 5 мас. %. Изучение структуры и физико-механических свойств проводили с применением стандартных методов исследований [4-7].

Результаты исследований

Из проведенных ранее исследований [1-3, 8, 9] следует, что важнейшим фактором модифицирующего действия дисперсных частиц наполнителей различного состава, габитуса и технологии получения является их энергетическое состояние, обуславливающее изменение структуры граничного слоя связующего под действием силового поля. Это изменение проявляется в преимущественной пространственной ориентации макромолекул или их составляющих (сегментов, участков цепей) в периферии частицы наполнителя с образованием слоя с более высокой степенью упорядочения по сравнению с другими участками матрицы [2, 9]. В настоящее время перспективными низко-размерными модификаторами различных веществ являются механоактивированные силикатные частицы [10, 11]. Однако на данный момент существующих представлений о механизме модифицирующего действия таких частиц в полимерных матрицах не достаточно.

Монофазные частицы веществ могут иметь различные поперечные размеры l от нескольких нанометров до значений, превышающих 1 м. У всех частиц есть поверхность, которая является их границей в смеси с другими объектами. Наличие поверхности позволяет отделить частицу из смесей механическими способами. Количественными параметрами линейного размера частиц является величина $\sigma = -\lg l$. Если $l_{\max} \geq 1$ м, $l_{\min} \leq 1$ нм, то $\sigma_{\max} = 0$, $\sigma_{\min} = 9$. Тогда все частицы можно разделить на 10 классов. Принято считать, что при $l = 100$ нм объект является наночастицей, то есть в разряд наночастиц попадают объекты 8, 9, 10 классов. Но к наночастицам предъявляются дополнительные требования: численные значения параметров физических свойств S зависят от их размера. Многочисленные литературные данные говорят о том, что эта зависимость описывается функцией, приведенной на рисунке 1. Табличное значение параметра S остается постоянным до некоторых значений размеров частиц L_0 . При дальнейшем уменьшении линейного размера $S(r)$ начинает меняться.

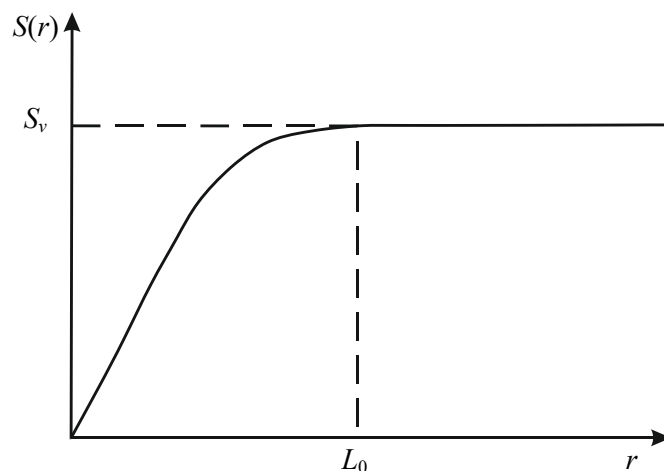


Рисунок 1 – Зависимость параметров физических свойств $S(r)$ от размера наночастицы r . S_v – физические свойства, соответствующие макрообъекту

Следовательно, существует граница между макро- и наносостояниями. При $r > L_0$ – это макросостояние, при $r < L_0$ – наносостояние. Граница L_0 не является резкой. Чем сильнее r отличается от L_0 , тем ярче проявляются свойства соответствующего состояния.

Если на рисунке 1 $S(r)$ заменить на $C_v(T)$ ($C_v(T)$ – зависимость теплоемкости при постоянном объеме от температуры), то эта кривая полностью соответствует известным почти 100 лет зависимостям $dv(T)$. В этом случае роль L_0 играет температура Дебая Θ_D . При $T > \Theta_D$ для описания термодинамических процессов достаточно использовать классическую статистику Максвелла-Гиббса-Больцмана. При $T < \Theta_D$ нужна квантовая статистика. Наряду с Θ_D используются дебаевские параметры: ω_D – циклическая частота, ν_D – частота, P_D – импульс, λ_D – длина (волны), E_D – энергия.

Эти параметры связаны зависимостью

$$E_D = h\nu_D = \hbar\omega_D = k\Theta_D = \frac{P_D^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{\lambda_D^2} 2m, \quad (1)$$

где $h, \hbar$ – постоянная Планка;

k – постоянная Больцмана;

m – масса электрона.

Дебаевская длина рассчитывается для определенного направления в кристалле. Если вещество изотропное, то $P^2 = 3P_D^2$. Тогда получим

$$L_0 = \frac{\sqrt{1,5h}}{\sqrt{km}} \Theta_D^{1/2}. \quad (2)$$

Подставив в условие (2) значения физических констант, получим:

$$L_0 = \lambda_D = 2,3 \cdot 10^{-7} \left[\text{мК}^{\frac{1}{2}} \right] \Theta_D^{-\frac{1}{2}} = 230 \Theta_D^{-\frac{1}{2}}, [\text{нм}]. \quad (3)$$

Значения Θ_D известно для многих веществ и может быть определено экспериментально. Данные, приведенные в литературе, позволяют найти $(L_0)_\text{э}$. Их величины и значения, рассчитанные по формуле (3), практически совпадают друг с другом:

$$\left| \left[(L_0)_\text{э} - (L_0)_{\text{выч}} \right] / (L_0)_{\text{выч}} \right| \leq 10 \%.$$

Зависимость $S(r)$ может быть описана формулой

$$S(r) = \frac{S_v}{\left| \exp \left[\alpha \left(\frac{1-x}{x} \right)^{3/2} \right] \right|}, \quad (4)$$

где $x = r/L_0$;

α – параметр, зависящий от изучаемого свойства.

Дебаевская длина λ_D определяет область действия электрона в веществе. Следовательно, при $r \leq L_0$ меняется механизм поведения электрона. Одноэлектронное приближение можно заменить на модель «электронного желе». В ряде работ указывается на то, что λ_D определяет среднюю длину свободного пробега фонона. То есть, при $r \leq L_0$

в частице наблюдается состояние фононного вакуума. Все это объясняет применение значений параметров физических свойств, а иногда и появление свойств, не имеющих-ся у макроскопических аналогов того же вещества.

Точечная симметрия объемных полуфабрикатов, диспергирование которых позволяет получать наночастицы, влияет на форму этих частиц. При малых размерах полиэдров правильных форм вследствие значительного воздействия поверхностной энергии происходит сглаживание ребер. Частицы приобретают одну из форм: с – сфера, 1Э – одноосный эллипсоид (вращения), 3Э – трехосный эллипсоид, В – вискер (наностержень), Ч – чешуйка. Возможные формы наночастиц для кристаллов различных сингоний приведены в таблице. Знак «+» указывает на возможность возникновения соответствующей формы.

Таблица – Возможные формы наночастиц для кристаллов различных сингоний

Сингония	С	1Э	3Э	В	Ч
кубическая	+				
средние	+	+		+	+
низшие	+	+	+	+	+

Сфера с радиусом $r < L_0$ – трехмерная наночастица. Вискер с линейным размером $l > L_0$ и диаметром $d < L_0$ – это двухмерная наночастица. Чешуйка с толщиной $h < L_0$ и с линейными размерами в плоскости $S > L_0$ является одномерной наночастицей. Следует учитывать, что и Θ_D и λ_D зависят от скорости фононов, которая является фиксированной величиной. Следовательно, дебаевские параметры в общем случае – анизотропные величины.

Типичными представителями одномерных нанокристаллов являются слоистые силикаты с совершенной или весьма совершенной спайностью. Все они имеют структуры, описываемые двумя основными сетками. Одна из них определяется двумя слоями плотно упакованных атомов кислорода, в октаэдрических пустотах которых располагаются атомы металлов (бруситовый мотив). Эти полиэдры формируют октаэдрическую сетку O_k . Между тремя атомами кислорода внешних граней октаэдров располагаются сетки внешнего слоя кислорода так, что они образуют треугольники, формирующие гексагональные лунки. Эти три атома кислорода с внутренним атомом кислорода формируют тетраэдры Т, в пустотах которых располагаются атомы кремния. Последовательность ...Т- O_k -Т- O_k ... формирует структуры, свойственные каолиниту, тальку и др. Последовательность ...Т- O_k -Т-Т- O_k -Т... соответствует группе слюд.

Слоистые силикаты обладают общими свойствами, главные из которых – это склонность к изоморфизму и наличие слабой (Ван-дер-Ваальсовой) связи между слоями. Это и обуславливает их спайность. В межслоевые промежутки могут внедряться различные атомы и молекулы воды. Последнее объясняет наличие различных гидратированных типов кристаллов слоистых силикатов. Диспергирование кристаллов слоистых силикатов создает чешуйчатые кристаллы с одномерной наноразмерностью.

Поверхности таких чешуек созданы основаниями тетраэдров (слюды), либо тетраэдров и октаэдров (каолинит и т.п.). В каолините, как и в отдельных слоистых силикатах, на их поверхности формируются участки электростатической (зарядовой) мозаики, обусловленной дефектами замещения и смещения. Наличие полярного гидрооксидов в структуре каолинита и отсутствие центра симметрии способствует возникновению активных поверхностных центров. Чешуйчатые нанокристаллы с наноразмерной толщиной и линейными размерами 5-7 класса крупности являются достаточно эффективными наполнителями полимерных композитов. Для повышения модифицирующей ак-

тивности необходимо провести такую обработку наночастиц (чтобы в них уменьшить структурные дефекты), которая приведет к усилению зарядовой активности центров. Для этих целей могут быть использованы, например, метод ионной имплантации, лазерная обработка и механическая активация.

Наличие ячеек зарядовой мозаики на поверхности слоистых силикатов, увеличение их концентрации при механической активации и активация их модифицирующих свойств подтверждается экспериментальными данными, полученными в ходе проведенных исследований.

Проведение механоактивации согласно данным работы [12] приводит к разрыву связей Al-OH в каолините, что нарушает связи в окто- и тетраэдрических сетках слоя [13]. В результате на поверхности каолинита образуются, в основном, активные центры кислотного характера и в меньшем количестве – основного [14]. Данные зарядовые центры могут устанавливать связи с группами -CONH – полиамида 6 за счет слабого электромагнитного Ван-дер-Ваальсового взаимодействия в процессе механоактивации. В результате чего образуется инкапсулированная механоактивированная частица, состоящая из минерального ядра, на поверхности которого формируется тонкий слой механоактивированного полиамида подобно углеродным оболочкам «onion-like carbon» для моночастиц углеродных нанокластеров детонационного синтеза [15]. Данная модель подтверждается результатами растровой электронной микроскопии (рисунок 2). Согласно полученным данным, частицы, обладая высокой активностью, взаимодействуют между собой с образованием кластерных структур от 10 до 80 мкм. Данные кластерные структуры состоят из композиционных частиц с латеральным размером начиная от ~80 нм до 500 нм.

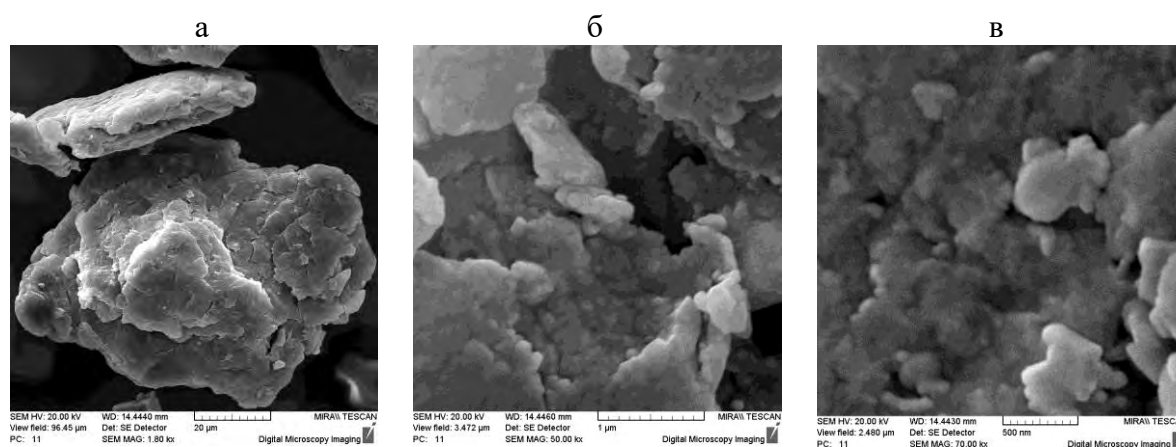


Рисунок 2 – Морфология кластеров механоактивированных частиц полиамид 6 – каолинит (30 мас. % ÷ 70 мас. %, время механоактивации 4 мин, ускорение 60 г) при различных значениях увеличения

В инфракрасном спектре (ИКС) смеси полиамид (30 мас. % + каолинит) после механической активации в течение 4 мин [12], как и в случае механической активации чистого каолинита [12], наблюдается уменьшение интенсивности полос валентных и деформационных колебаний связей: ν , δ (Al)-OH; ν , δ Si-O-(Al), Si-O-Al соответственно области $3800\text{--}3600\text{ см}^{-1}$, $950\text{--}850\text{ см}^{-1}$, $850\text{--}780\text{ см}^{-1}$ и с максимумом 545 см^{-1} .

На дифрактограмме полимерного композита основные рефлексы каолинита сохраняются, уменьшается лишь их интенсивность: $d_1 = 7,17\text{ \AA}$ ($I/I_s = 100$), $d_2 = 3,57\text{ \AA}$ ($I/I_s = 80$) и $d_3 = 3,37\text{ \AA}$ ($I/I_s = 35$) (d_1 , d_2 , d_3 – межплоскостные расстояния соответствующих рентгеновских рефлексов; I , I_s – интенсивность исследуемого и максимального рефлекса соответственно) [12]. Рефлексы полиамида налагаются на серию рефлексов каолинита в

области $d = 4,47-3,74$, поэтому нельзя судить о каких-либо изменениях параметров рефлексов полиамида [12]. При увеличении содержания полиамида в смеси, например, до 60 %, картина изменений полос каолинита и полиамида в ИКС после механической активации 4 мин становится совершенно иной. После активации не исчезают полосы, соответствующие колебаниям ν_{as} и ν_s (ν_s, ν_{as} – частоты валентных симметричных и ассиметричных колебаний) Si-O-Si связей тетраэдров кремнекислородного каркаса, область $1150-1050 \text{ см}^{-1}$ и с максимумом 685 см^{-1} . Происходит лишь уменьшение интенсивностей и уширение всех полос каолинита. Не наблюдается смещения полос полимера, так же как и появления новых полос. В данном случае происходит, по-видимому, постепенная аморфизация каолинита. Однако в присутствии полимера разрушение структуры силиката происходит не так активно. На дифрактограмме такого образца имеются очень слабые, но четкие рефлексы от базальных плоскостей каолинита: (001), $d_1 = 7,17 \text{ \AA}$ и (002) $d_2 = 3,57 \text{ \AA}$. Рефлексы полиамида уширяются и сливаются в один с двумя максимумами $d_1 = 4,4 \text{ \AA}$ и $d_2 = 3,7 \text{ \AA}$, что свидетельствует об определенных нарушениях структуры полимера [12]. Таким образом, проведенные исследования механической активации смесей полиамид ПА-6 + силикат показали, что характер связей, образующихся между компонентами в композитах, зависит от % (мас.) содержания силиката в смеси. При содержании полимера в смеси ≤ 30 % (мас.) происходит механохимическое взаимодействие компонентов смесей, в ходе которого зарядовые центры силиката взаимодействуют с зарядовыми центрами полимера. Это взаимодействие сказывается на реологических и прочностных характеристиках полимера при введении данных механоактивированных модификаторов. Согласно данным, полученным методом определения показателя текучести расплава термопластов, который характеризует скорость течения расплавленного термопласта через капилляр стандартных размеров при заданных температуре и давлении, определяют реологические характеристики полимеров, при этом наблюдается изменение значений вязкости при модифицировании базового полиамида 6 механоактивированными частицами (рисунок 3).

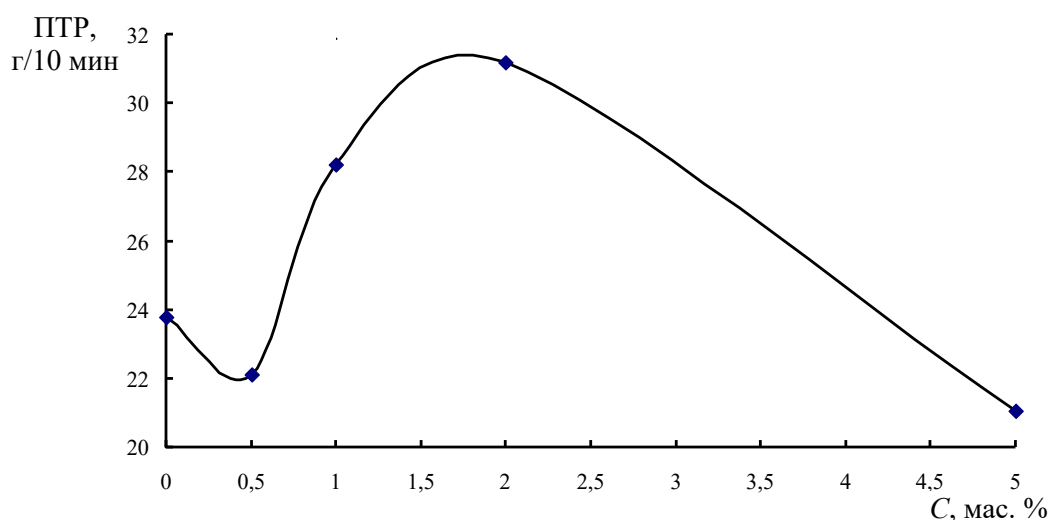


Рисунок 3 – Зависимость показателя текучести расплава (ПТР) полиамида 6, модифицированного смесью механоактивированных частиц полиамид 6 – каолинит, от концентрации модификатора

Наибольший интерес представляет минимум кривой зависимости ПТР композиционного материала на базе полиамида от концентрации механоактивированного модификатора, наблюдаемого при 0,5 мас. %. Так уменьшение значений ПТР свидетель-

ствуется об увеличении вязкостных характеристик. Возрастание вязкости композиционного материала возможно объяснить исходя из представлений о формировании лабильных физических связей в структуре композита. Объемная сетка узлов физических взаимодействий, формируемых вследствие адсорбционного взаимодействия механоактивированных частиц полиамид 6 – каолинит с активными центрами полиамида 6, играет роль физических препятствий микрорезанию и пластическому деформированию поверхностных слоев полимерной матрицы как в процессе трения, так и в процессе механического разрушения. Данное предположение подтверждается результатами исследований по определению прочностных характеристик разработанного композиционного материала при растяжении (рисунок 4).

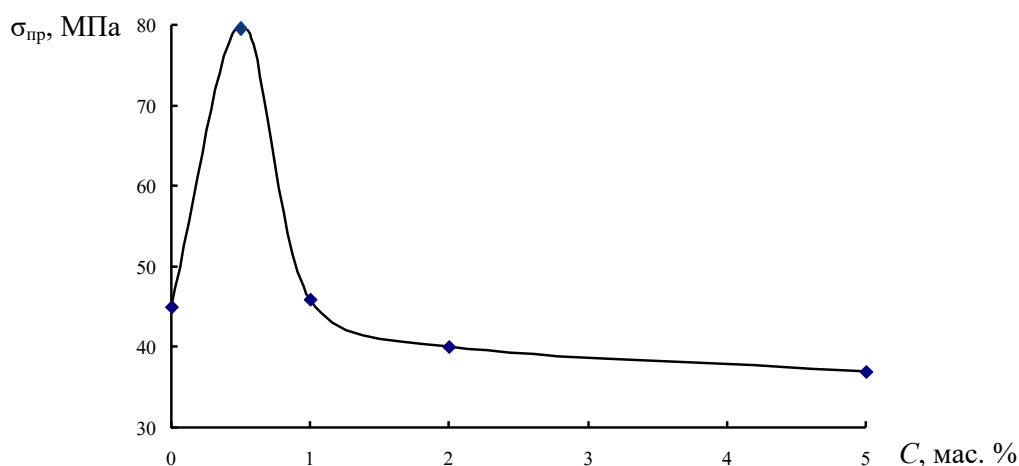


Рисунок 4 – Зависимость предела прочности при растяжении полиамида 6, модифицированного смесью механоактивированных частиц полиамид 6 – каолинит, от концентрации модификатора

В области концентрации модификатора 0,5 мас. % наблюдается возрастание прочностных характеристик до 80 МПа. Дальнейшее увеличение концентрации модификатора в полимерной матрице приводит к уменьшению значений предела прочности при растяжении. Это обусловлено взаимодействием между собой зарядовых кластеров, образованием крупных агломератов механоактивированных частиц с низкой когезионной прочностью в объеме полиамидной матрицы, что и приводит к снижению прочностных характеристик.

Заключение

Таким образом, на базе физических представлений показано возникновение в каолините, как и в отдельных слоистых силикатах, образование на их поверхности участков электростатической (зарядовой) мозаики, обусловленной дефектами замещения и смещения. Наличие полярного гидроксила в структуре каолинита и отсутствие центра симметрии способствует возникновению активных поверхностных центров. Чешуйчатые нанокристаллы с наноразмерной толщиной и линейными размерами 5-7 класса крупности являются достаточно эффективными наполнителями полимерных композитов. Исследована структура и технология формирования механоактивированных композиционных материалов с заданными параметрами функциональных характеристик на основе органических и неорганических соединений. Показано, что легирование полиамидной матрицы механоактивированными смесями «полимер-силикат» обуславливает реализацию комплексного эффекта увеличения реологических и прочностных характеристик.

Список использованных источников

1. Гольдаде, В.А. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем / В.А. Гольдаде, В.А. Струк, С.С. Песецкий. – М.: Химия, 1993. – 240 с.
2. Фторсодержащие ингибиторы изнашивания металлополимерных трибосистем / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Струка. – Минск: Тэхналогія, 2011. – 270 с.
3. Новые ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы / Ф.Г. Ловшенко [и др.]. – М.: Энергоатомиздат; Гомель: БелГУТ, 2004. – 519 с.
4. Смит, А. Прикладная ИК-спектроскопия / А. Смит. – М.: Мир, 1965. – 328 с.
5. Уэндладт, У. Термические методы анализа / У. Уэндладт. – М.: Мир, 1978. – 528 с.
6. Скрышевский, А.Ф. Структурный анализ жидкостей и аморфных тел / А.Ф. Скрышевский. – М.: Высш. школа, 1980. – 328 с.
7. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я.С. Уманский [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
8. Скаскевич, А.А. Структура и технология малонаполненных машиностроительных материалов на основе конструкционных термопластов, модифицированных углеродными нанокластерами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.06 / А.А. Скаскевич. – Минск, 2000. – 18 с.
9. Лиопо, В.А. Геометрические параметры наночастиц / В.А. Лиопо // Наноразмерные системы-2. – Гродно: ГрГУ. – 2003. – С. 4-11.
10. Механоактивированные наполнители для полимерных нанокомпозитов на основе регенерированных термопластов / Т.Ф. Григорьева [и др.] // Веснік ГрДУ. Сер. 6. – 2011. – № 1 (116). – С. 25-28.
11. Нанодисперсные инкапсулированные ингибиторы изнашивания / Е.В. Овчинников [и др.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. тр. / ДонНТУ. – Донецк, 2012. – Вып. 1, 2 (43). – С. 233-240.
12. Структурные особенности механоактивированной системы «полиамид ПА-6 и силикат» / И.А. Ворсина [и др.] // Веснік ГрДУ. Сер. 6. – 2013. – № 3 (158). – С. 6-11.
13. Механохимический синтез дисперсных слоистых композитов на основе каолинита и ряда органических и неорганических кислот. Исследование методом ИК-спектроскопии / Т.Ф. Григорьева [и др.] // Неорг. материалы. – 1996. – Т. 32, № 2. – С. 214-220.
14. Ikekawa, A. Mechanochemistry of organic optical isomers / A. Ikekawa, S. Nayaakawa // Сибирск. хим. журнал. – 1991. – Вып. 5. – С. 19-24.
15. Введение в физику нанокомпозиционных машиностроительных материалов / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Лиопо, В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 439 с.

Auvchynnikau Ye.V., Liopo V.A., Struk V.A., Grigorieva T.F.

Modifying action mechanism of composite mechanoactivated silicate particles in polymeric matrixes

The paper investigates the structure and forming technology of mechanoactivated composite materials with stated parameters of functional characteristics on the bases of organic and inorganic compounds. It is shown that polyamide matrix alloying by «polymer-silicate» mechanoactivated mixtures identifies realization of a complex effect of increasing rheological characteristics and strength properties.

Поступила в редакцию 06.11.2014 г.

УДК 532.021:022;539.021

ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОСТИ ЧАСТИЦ НА ИХ ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА

Лиопо В.А.¹, Овчинников Е.В.², Струк В.А.¹, Прушак Д.А.³, Прушак А.С.⁴¹ Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь² Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия³ ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь⁴ Унитарное предприятие «Институт горного дела», г. Солигорск, Беларусь

Проведен анализ спектров поглощения наночастиц золота. При уменьшении диаметра сферических частиц происходит смещение максимума поглощения в сторону наименьших длин волн. При этом уменьшается полуширина резонансного максимума. Объясняется это на основе дипольной модели взаимодействия с плазмонами. Однако, при размерах наночастиц $d < 20$ нм наблюдается обратный эффект. Максимум уширяется и смещается в сторону длинных волн. Имеющиеся в литературе данные пытаются объяснить этот эффект в рамках усовершенствованной дипольной модели. Однако, представленные исследования содержат ряд противоречий. В связи с чем, высказано предположение о привлечении методов квантовой физики для объяснения указанных эффектов.

Введение

Существенное значение в появлении активных зарядовых центров (АЗЦ) играют различные структурно-химические дефекты: нульмерные (замещения, смещения, вакансии), одномерные (дислокации), двухмерные (поверхности), трехмерные (различные включения других фаз). Эти дефекты достаточно долгоживущие, поэтому временной фактор хотя и принимается в расчет, но не играет существенной роли. Наряду с указанными дефектами возможны и такие, которые связаны динамическими процессами в конденсированных средах. Все вещества рассматриваются обычно с позиций равновесных атомно-молекулярных систем. Атомы, точнее их ядра, колеблются вокруг своих равновесных положений. В кристаллах эти точки распределяются в соответствии с симметрией решетки. Электроны формируют свою электронную систему квантового электронного газа, в котором находятся ионы. В неметаллах свободных электронов нет. Взаимодействие между атомами определяется соответствующими конфигурациями электронных орбиталей. Электроны почти в 2000 раз легче нуклона, эти частицы более подвижны и сильнее реагируют на внешние воздействия. При этом, ядра атомов тоже испытывают эти воздействия, что может привести к увеличению их тепловых колебаний, то есть увеличить (или уменьшить) их энергию. Изменение взаимного расположения ядер вызывает изменения в электронном поле и наоборот.

Целью данной работы является изучение влияния наноразмерности на электронные свойства частиц.

Результаты исследований

В равновесном состоянии происходит взаимное влияние всех атомов и электронов, чтобы их общая полная энергия была неизменной. Это самосогласованное поле в

равновесной среде сохраняет значение усредненных параметров (энергию колебаний, частоту процессов диффузии, скорость электронов, локальные колебания электрических полей, структуру энергетических зон и т.д.). Однако локальные изменения возможны. Это создает соответствующие участки возбуждения. Если величины локальных изменений значений энергии связаны, например, с изменением плотности заряда, то изменение состояния отдельного атома и даже электрона повлияет на соседние атомы (электроны). Следовательно, возникают условия для распределения поля возбуждения атомом различной природы. Для таких полей, особенно в трансляционных атомных системах, по аналогии с электромагнитным полем вводится понятие кванта соответствующего поля с энергией этого кванта E , импульсом P , скоростью распространения U , частотой ω , длиной волны λ . Как и для фотонов (квантов электромагнитного поля) для этих «частиц» выполняется уравнение де Бройля

$$E = \hbar\omega, \quad (1)$$

$$P = \frac{2\pi\hbar}{\lambda} = k\lambda, \quad (2)$$

где k – волновой вектор.

Эти «кванты» существуют только в атомно-молекулярных системах. Они не могут быть вне вещества, то есть в свободном состоянии. Общая энергия поля возбуждения E' определяется условием

$$E' = N\hbar\omega, \quad (3)$$

где N – число этих «как бы квантов», то есть «как бы частиц».

Именно поэтому «как бы кванты» называются квазичастицами. Для каждого возбуждения вещества можно ввести (и они введены) соответствующие квазичастицы. Введение квазичастиц значительно упрощает анализ динамических процессов. Самосогласованность полей возбуждения позволяет не рассматривать всю совокупность атомов. Их плотность в веществе равна $n \approx 10^{23} \text{ см}^{-3}$. Кроме того отдельное возмущение со своей квазичастицей может вызвать появление квазичастиц другого типа. Взаимодействие различных реальных возмущений возможно описать как взаимодействие квазичастиц. Общее число квазичастиц не сохраняется. Квантовое описание их поведения потребовало введение операторов рождения ($\hat{a}^+$) и уничтожения ($\hat{a}$), аналоги которых отсутствуют в классической физике [1]. При низких температурах, когда поле возбуждения слабое, взаимодействие квазичастиц также невелико, следовательно, в этом случае можно говорить о газе таких квазичастиц и использовать для описания их поведения представления классической физики.

При абсолютном нуле энергия атомно-молекулярной системы минимальна и равна E_0 . Эта энергия соответствует основному состоянию.

При наличии возмущения значения энергии системы определяются условием:

$$E = E_0 + \sum_{ij} n_{ij} \varepsilon_{ij}, \quad (4)$$

где n_{ij} – число квазичастиц i -того типа в энергетическом состоянии j ;

ε_{ij} – энергия отдельной квазичастицы (число заполнения).

Квазиимпульсы частиц i -того типа описывается определенной функцией распределения P_i , называемой дисперсией или дисперсионным соотношением для волновых векторов:

$$P_i = f(w_i). \quad (5)$$

Зная функцию $\varepsilon(k_i)$ и $P(k_i)$ можно определить скорость распространения волны возбуждения как скорость соответствующих квазичастиц

$$U(k) \approx 2 \frac{\partial \varepsilon(k)}{\partial P(k)}. \quad (6)$$

Поведение и активность квазичастиц позволяет найти величину, аналогичную понятию масс

$$m^*(k) = \frac{P^2}{2}. \quad (7)$$

Величина m^* имеет смысл квазимассы и называется эффективной массой квазичастицы.

Квазичастицы возникают и исчезают при столкновениях. Время между этими событиями определяет время жизни квазичастиц. Это время вместе со скоростью квазичастицы определяет длину ее свободного пробега.

Квазичастицы, как и обычные элементарные частицы, могут обладать состоянием, называемым спиновым. Спин квазичастиц может быть целым. Частицы такого типа описывается статистикой Бозе-Эйнштейна и называются бозонами. Если спин имеет полуцелое значение, то такие частицы называются фермионами, так как они подчиняются статистике Ферми-Дирака.

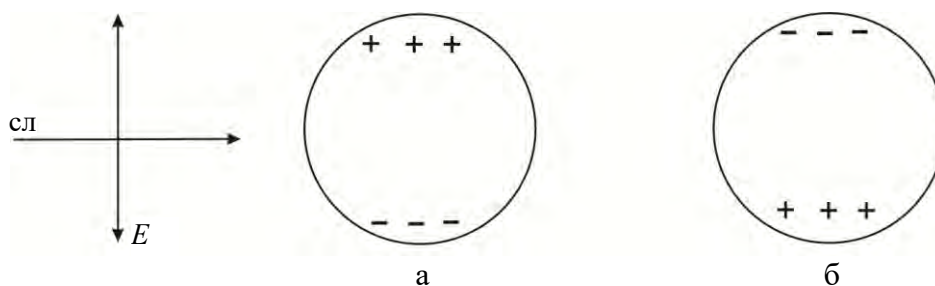
Предположим, что все атомы в кристалле находятся в равновесном положении. Если один из них вывести из этого положения, а затем убрать внешние воздействия, то этот атом, возвращаясь в начальное положение, окажет воздействие на соседний атом, тот, в свою очередь, повлияет на своих соседей.

В этом случае по кристаллу пойдет волна возбуждения. Квантовой частицей волны механического возбуждения является квазичастица, называемая фононом. Название обусловлено тем, что фононы ответственны за передачу звука в конденсированных средах. Возникают они как при механических воздействиях на вещество, так и при различных термических процессах. Естественно, если частота колебаний атомов не соответствует акустическому диапазону, то такой «звук» не будет восприниматься человеком. Но термин фонон используется для всего интервала частот волн механических колебаний. В прозрачных конденсированных средах скорость v зависит от частоты, то есть $n = c/v$ (c – скорость света в вакууме). Скорость фононов, точнее их квазиимпульс P также зависит от длины волны фонона λ . Обычно вместо λ используют величину волнового вектора фононов $q = 2\pi/\lambda$. Функция $P(q)$ называется дисперсионным соотношением фононов.

Колебания могут определяться положением соседних ячеек кристалла относительно друг друга q_a , либо колебаниями атомов в пределах одной ячейки q_o . Волновые векторы q_a описывают так называемые акустические колебания, q_o – оптические. Кроме того колебания атомов могут быть как в направлении волны (продольные фононы), так и в перпендикулярных направлениях $\vec{U}$ (поперечные фононы).

Распределение электронов вблизи поверхности отличается от объемного, так как в этой области электростатическое поле перестает быть сферическим. Это поле становится анизотропным. Поверхностный резонанс фононов определяется поведением свободных электронов в зоне проводимости и их осцилляциями вследствие взаимодействия с внутренними областями кристалла. Если размер металлической наночастицы меньше длины волны падающего излучения, то поверхностный фононный резонанс надо рассматривать как обычные электронные осцилляции в металлических пленках.

На рисунке 1 приведена схема возникновения плазменных осцилляций на поверхности наночастиц.



а, б – электрическое зарядовое состояние частиц через время $t = 0,5T$,
 T – период электромагнитной волны светового луча

Рисунок 1 – Электрическое поле E светового луча (с/л) вызывает поляризацию металлической наночастицы

Поверхностные плазмоны возникают в металлах при падении на них световых лучей. Под действием электромагнитного поля света происходит поляризация электронного газа вследствие различных результатов влияния поля на электроны и на ионы решетки. Созданная поляризация создает возбуждение в области свободных электронов. Возникшие при этом силы приводят электроны в колебательное движение с определенными частотами. Следовательно, поверхностный плазмонный резонанс обусловлен возникновением дипольных моментов между возбуждением отрицательно заряженными участками электронного газа и положительными зарядами в участках решетки. Естественно, плазмоны могут возникать в металлах спонтанно вследствие флуктуационных колебаний в решетке. То есть, такие плазмоны возникают в результате взаимодействия электронов с фононами. Плазмоны создают возбуждения в электронном газе. Их релаксация носит безизлучательный характер, но сам факт их существования подчеркивает сложность динамических процессов в металле даже в стационарном состоянии.

Энергия плазмонного резонанса зависит от величины электронной плотности в металле и от диэлектрических свойств среды, окружающей наночастицу. У инертных металлов резонансные частоты соответствуют видимому диапазону.

Еще в 1908 году Май [2] объяснил на основе максвелловской теории электромагнитных волн красный цвет коллоидных частиц золота. Из решений уравнений Максвелла было установлено следующее условие:

$$\sigma_{\text{ext}} = \frac{2\pi}{|k|^2} \sum (2L+1) \text{Re}(a_L + b_L);$$

$$\sigma_{\text{sca}} = \frac{2\pi}{|k|^2} \sum (2L+1) \text{Re}(|a_L|^2 + |b_L|^2),$$

где

$$\sigma_{\text{ext}} - \sigma_{\text{sca}} = \sigma_{\text{abc}};$$

$$a_L = \frac{m\psi_L(mx)\psi'_L(x) - \psi'_L(mx)\psi_L(x)}{m\psi_L(mx)n'_L(x) - \psi'_L(mx)n_L(x)}; \quad (8)$$

$$b_L = \frac{\psi_L(mx)\psi'_L(x) - m\psi'_L(mx)\psi_L(x)}{m\psi_L(mx)n'_L(x) - m\psi'_L(mx)n_L(x)}, \quad (9)$$

где σ_{ext} – сечение экстинкции;

σ_{sca} – величина определяемая как $\eta \cdot \sigma_{\text{ext}}$, где η – квантовый выход;

$m = n/n_m$;

n – комплексный показатель преломления частиц;

n_m – действительная составляющая коэффициента преломления среды, в которой находится наночастица;

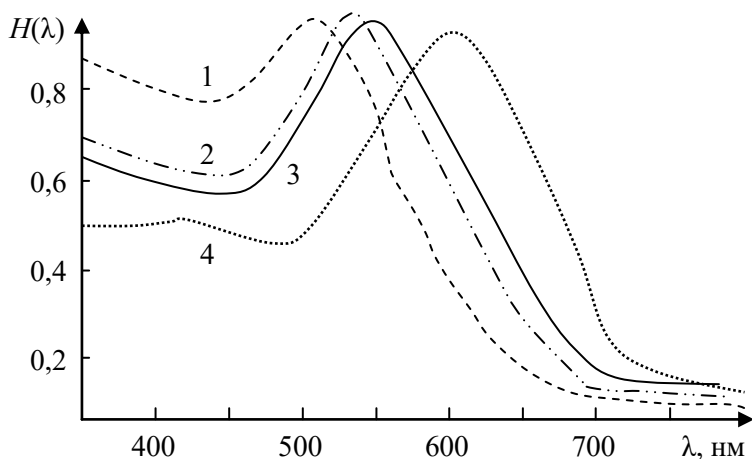
$|k|$ – модуль волнового вектора;

$x = kr$, r – радиус сферической наночастицы;

ψ_L и n_L – цилиндрические функции Рикатти-Бесселя [2];

L – индекс волновых мод, по которому производится суммирование.

Анализ формул (8) и (9) выполнен в работе [2]. Установлено, что резонансные максимумы смещаются при уменьшении радиуса нанокристаллических сферолитов в сторону меньших длин волн и при этом уменьшается полуширина этих максимумов, определяемым по спектрам поглощения (рисунок 2). В спектрах плазмонных резонансов отчетливо виден фактор размерного влияния на электронные свойства нанокристаллов.



1 – диаметр частиц 9 нм; 2 – 22 нм; 3 – 48 нм; 4 – 99 нм;

$H(\lambda)$ – коэффициенты поглощения; λ – длина волны падающего света

Рисунок 2 – Абсорбционные оптические спектры сферических наночастиц золота с различными радиусами

Границы и положение максимумов плазменных оптических спектров поглощения показывают, что в интервале диаметров наносферических частиц золота от 99 нм

до 22 нм максимумы смещены в коротковолновую область с уменьшением дины волн падающего излучения. При этом уменьшается их ширина (рисунок 3)

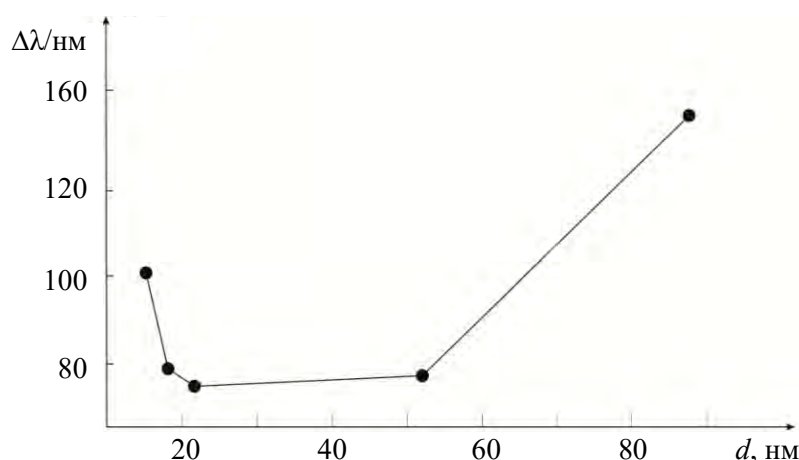


Рисунок 3 – Зависимость ширины полосы плазмонного поглощения $\Delta\lambda$ от диаметра d наночастиц золота [2]

Изменение положения полос в плазмонных спектрах поглощения в интервале размеров $d > 20$ нм основано на том, что, во-первых, с увеличением размера начинают появляться частотные моды с меньшей энергией, а, во-вторых, уменьшается когерентность колебаний плазмонов. Заметим, что граница между нано- и макросостоянием, определенная по описанной в работе [3] методике, для золота равна $17,6 \text{ \AA}$. Однако, если это «красное смещение» при увеличении размера наночастиц находит объяснение, то увеличение полуширины и длины волны рассматривается как некий мешающий внешний фактор. Механизм изменения в полосе плазмонного спектра объясняется тем, что размер частиц $d \ll \lambda$, и при $d \leq 0,1\lambda$ начинает проявляться размерный эффект, который обусловлен взаимным наложением лучей рассеянных последовательно на нескольких наночастицах. Выяснилось, что описать причину изменения спектров плазмонных поглощений на частицах очень маленьких размеров только в рамках представлений о дипольном механизме взаимодействия излучения с наночастицей оказалось невозможным, имеется в виду, что размеры $d \ll \lambda$ или $d < 0,1\lambda$, где λ – длина волны падающего на частицу светового луча. В рамках дипольной теории Мая были сделаны следующие допущения:

$$\sigma_{\text{ext}}(\bar{\omega}) = \frac{9\bar{\omega}\epsilon_m^{3/2}V\alpha\epsilon_2(\bar{\omega})}{c} \left\{ [\epsilon_1(\bar{\omega}) + 2\epsilon_m]^2 + \epsilon_2(\bar{\omega})^2 \right\}, \quad (10)$$

где V – объем частицы;

$\bar{\omega}$ – циклическая частота падающего светового излучения;

c – скорость света;

ϵ_m и $\epsilon(\bar{\omega}) = \epsilon_1(\bar{\omega}) + i\epsilon_2(\bar{\omega})$ – объемная диэлектрическая постоянная окружающей частицу среды и наночастицу соответственно. Первая величина ϵ предполагается постоянной, вторая – зависит от частоты (энергии) излучения и является комплексной

функцией. Условие резонанса выполняется когда $\varepsilon_1 = -2\bar{\omega} m$, и когда ε_2 малая величина или очень слабо зависит от $\bar{\omega}$.

Заключение

Из уравнения (10) следует, что рассеяние не зависит от размера частицы. Однако, экспериментально эта зависимость наблюдается. В теории Мая предполагается, что и электронная структура, и все электрические постоянные в наночастицах имеют те же значения, что и в объеме. Так как это допущение противоречит эксперименту, то теория Мая, как и большинство ее дубликатов, нуждаются в пересмотре с учетом квантовых представлений.

Список использованных источников

1. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – Наука, 1978. – 789 с.
2. Nanostructures and nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications. Guozhong Cao. Ying Wang. World scientific 2011. – 518 p.
3. Прогрессивные машиностроительные технологии: коллективная монография / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – Том II. – 336 с.

Liopo V.A., Auvchynnikau Ye.V., Struk V.A., Prushak D.A., Prushak A.S.

Effects of nanoparticles on their electronic properties

The analysis of the absorption spectra of gold nanoparticles was carried out. With decreasing diameter of the spherical particles is a shift of the absorption maximum in the direction of the smallest wavelength. This decreases the half-width of the resonance peak. This is explained on the bases of the dipole interaction model with plasmons. However, when nanoparticles of sizes less than $d < 20$ nm, there is the opposite effect. The maximum broadens and shifts to longer wavelengths. There is an attempt to explain available in the literature data through the improved dipole model. However, these studies contain a number of contradictions. Because of that, the suggested methods involves quantum physics to explain these effects.

Поступила в редакцию 10.11.2014 г.

УДК 621.892:620.3(047)(476)

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Овчинников Е.В. (Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия), Сластенов П.А. (Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Беларусь), Голушко С.Н., Гридюшко Д.В., Калинин Ю.В., Брижевнич А.В. (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь)

Проведенные исследования механизма модифицирующего действия низкоразмерных частиц различного состава, строения, технологии получения позволили установить общие закономерности реализации синергического эффекта в связующих, отличающихся молекулярной массой, строением, полярностью макромолекул. Созданы предпосылки для широкого промышленного использования конструкционных, триботехнических, защитных материалов и смазок в различных отраслях машиностроения, строительной индустрии, перерабатывающей промышленности.

Введение

Важнейшей проблемой современного машиностроения является увеличение эксплуатационного ресурса, безопасности и комфортности машин, механизмов и технологического оборудования. Существенная роль в решении этой проблемы принадлежит смазочным нанокompозитам – особому виду конструкционных материалов, применяемых для изготовления трибосистем различного типа. Многообразие составов смазочных материалов – масел, пластичных смазок, смазочно-охлаждающих технологических сред – тем не менее, не полностью обеспечивает потребности машиностроения, тенденции развития которого характеризуются увеличением нагрузочно-скоростных и температурных режимов эксплуатации при обеспечении максимального уровня безопасности. В связи с этим, задача создания смазочных композиционных материалов нового поколения является весьма актуальной. Для повышения эксплуатационных характеристик смазочных материалов их модифицируют присадками нового поколения – частицами с размерностью не более 100 нм, наномодификаторами. Технология синтеза таких наномодификаторов в последние десятилетия быстро развивается, и на рынок поставляются новые виды продуктов подобного типа: фуллерены, сиалоны, ультрадисперсные частицы политетрафторэтилена, оксиды, наноалмазы и др. [1, 2].

Целью данной работы является разработка составов смазочных материалов на базе отечественного сырья, модифицированных наноструктурными и нанодисперсными частицами органического и неорганического происхождения.

Методика эксперимента

В качестве базовых смазок были использованы многотоннажно выпускаемые пластичные смазки: ЦИАТИМ-201, Солидол Ж, Литол-24. Базовые смазки производятся в Беларуси и Российской Федерации. При разработке новых присадок и наполнителей, а также для их сравнения с ранее известными антифрикционными добавками в процессе исследований были использованы следующие материалы: для модифицирования базовых смазочных основ использовали наномодификаторы, получаемые по различным технологиям синтеза природные модификаторы ГМ (геомодификатор) – кре-

мень, содержащий 94,4 %-95,4 % оксида кремния и добавки Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CuO , Ni , Cu , Ti , Mn , Ba , Zr , B , Y [3], ультрадисперсный политетрафторэтилен. Содержание нанофазы в модификаторе не превышало 0,5 мас. %. Размер агломератов порошкообразного нанокompозита составлял 5-20 мкм. Анализ кинетики физико-химических процессов в модельных и реальных смазочных системах осуществляли с применением общепринятых методик (ИК-спектроскопии, термостимулированной спектроскопии (ТСТ), рентгеноструктурного исследования и т.д.).

Результаты исследований

Согласно существующим представлениям, наличие собственного заряда у частиц модификатора обуславливает протекание в среде смазки различных электрофизических процессов, оказывающих существенное влияние на ее структуру. Воздействие силового поля наночастицы приводит к формированию ориентированного слоя диэлектрической компоненты смазки. Величина этого слоя определяется величиной заряда наночастицы и особенностями строения молекул смазки. В некоторых случаях она может достигать больших размеров, соизмеримых с толщиной граничного слоя смазки. На рисунках 1, 2 приведены ИК-спектры пластичных смазок, модифицированных наноструктурным модификатором кремний. Исходя из представленных результатов, видно, что существенных изменений в спектре пластичных смазок, модифицированных кремнем, не наблюдается.

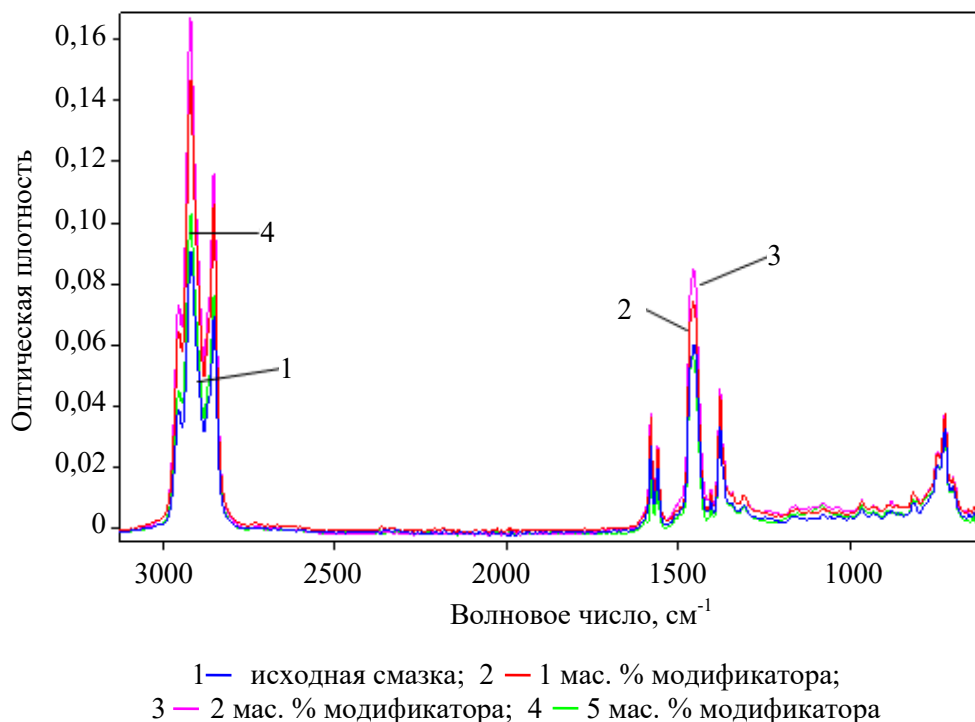
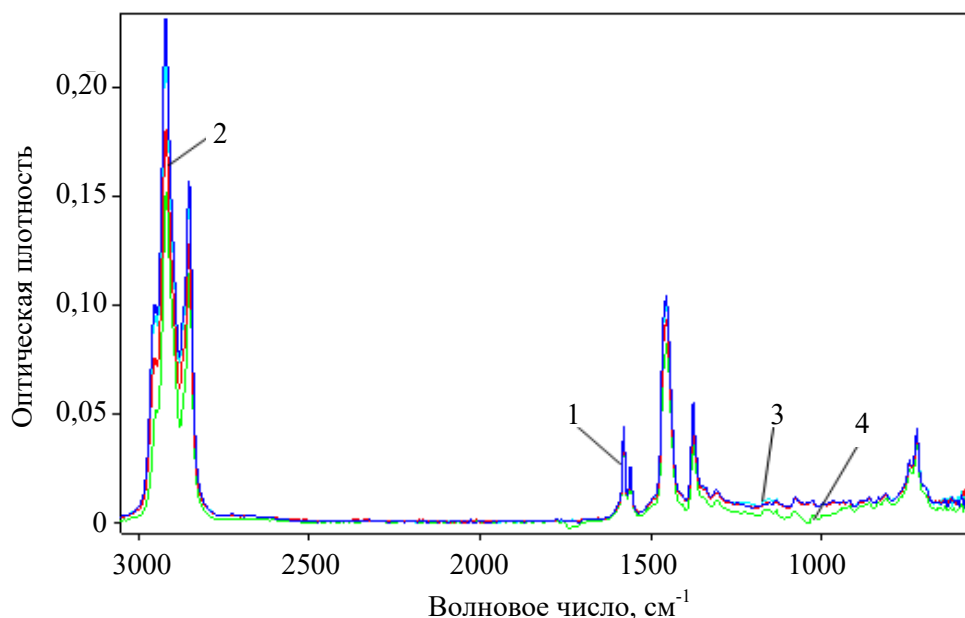


Рисунок 1 – ИК-спектры пластичной смазки Циатим-201, модифицированной нанофазной добавкой на базе слоистого силиката

Введение ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ) в пластичную смазку, так же как и в случае с кремнем, не приводит к изменениям в спектре пластичных смазок (рисунки 1, 2). Согласно данным ИК-спектроскопии в спектрах пластичных смазок Солидол; Циатим-201, модифицированных кремнем и УПТФЭ, не наблюдается

образование химических связей между частицами модификатора и молекулами смазки, что подтверждается отсутствием дополнительных полос поглощения или смещением интенсивных полос поглощения модифицированных смазок по отношению к базовому смазочному материалу.



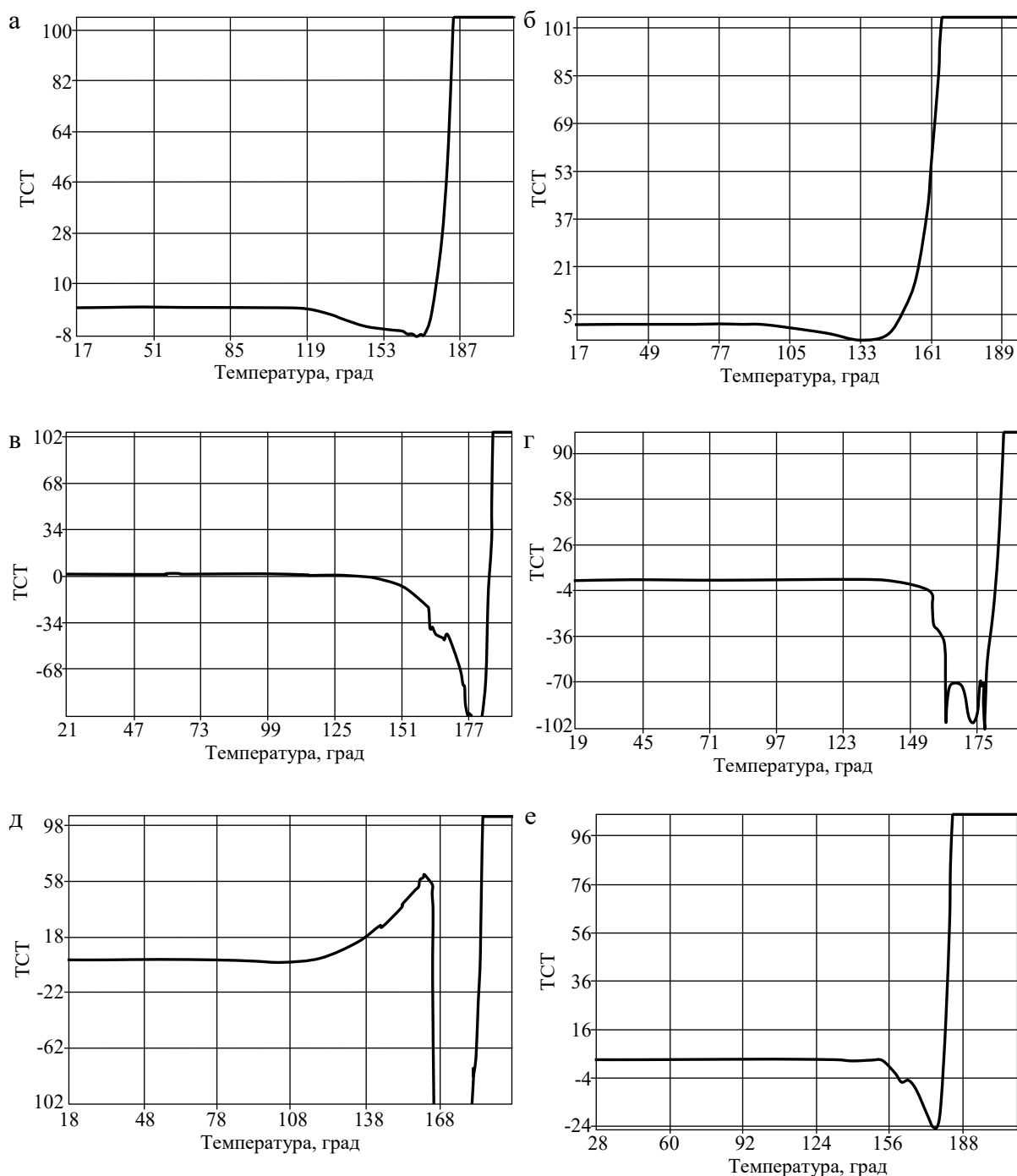
1 — исходная смазка; 2 — 1 мас. % модификатора;
3 — 2 мас. % модификатора; 4 — 5 мас. % модификатора

Рисунок 2 – ИК-спектры пластичной смазки Циатим-201, модифицированной нанофазной добавкой на базе УПТФЭ

Таким образом, для объяснения эффекта модифицирования базовых смазок Солидол Ж; Циатим-201 подходит модель, описанная в работе [4]. Одним из основных методов, позволяющих оценить активность действия нанодисперсных и наноструктурных модификаторов в полимер-олигомерных системах, является метод термостимулированной деполяризации (ТСД). Суть данного вида исследований заключается в регистрации разрядных токов во времени при программируемом нагревании электрета [5]. По зависимости токов от времени определяют параметры релаксации зарядов, величины гетеро- и гомозарядов. По площади, заключенной между кривой тока и осью времени, можно определить заряд, запасенный в электрете. На рисунке 3 приведены характерные зависимости тока ТСД от времени при увеличении поляризующей температуры для наноструктурных смазочных материалов. Исходя из полученных данных, смазкой, обладающей наибольшей активностью при повышенных температурах, является Циатим-201. Введение УПТФЭ в пластичную смазку Итмол-150Н приводит к смещению пиков термостимулируемых токов в область более низких температур (133 °С) в сравнении с базовой смазкой (170 °С). Введение в Итмол-150Н кремня так же снижает температуру появления термостимулированных токов в смазке Итмол-150Н (152 °С), однако в меньшей степени, чем при введении Форума, появляется второй пик в области 174 °С - 178 °С.

Модифицирование пластичной смазки Циатим-201 наномодификаторами уменьшает зарядовую активность смазки, что выражается в уменьшении интенсивности пиков тока в спектре ТСТ и смещает их в область более высоких температур (172 °С). Введение в смазочную основу нанодисперсных и нанофазных модификаторов

должно приводить к образованию агломератов в структуре смазки вследствие активности модификатора.

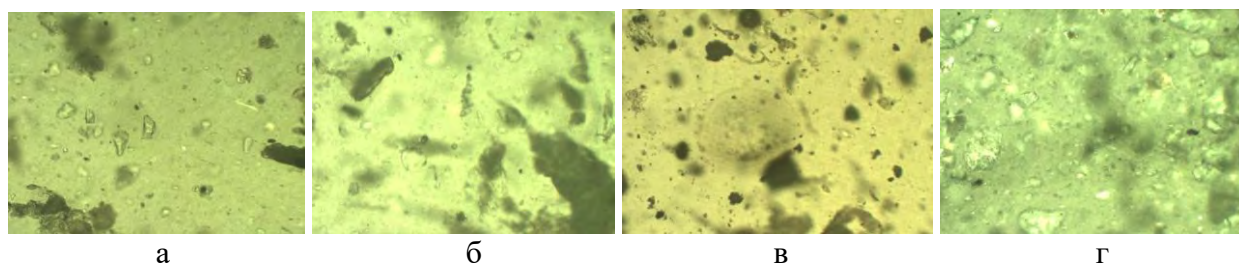


а, в, д – пластичные смазки Итмол-150Н, Литол-24, Циатим-201; б, г, е – пластичные смазки Итмол-150Н, Литол-24, Циатим-201, модифицированные 5 мас. % УПТФЭ

Рисунок 3 – ТСТ-спектры пластичных смазок, модифицированных нанодисперсными модификаторами

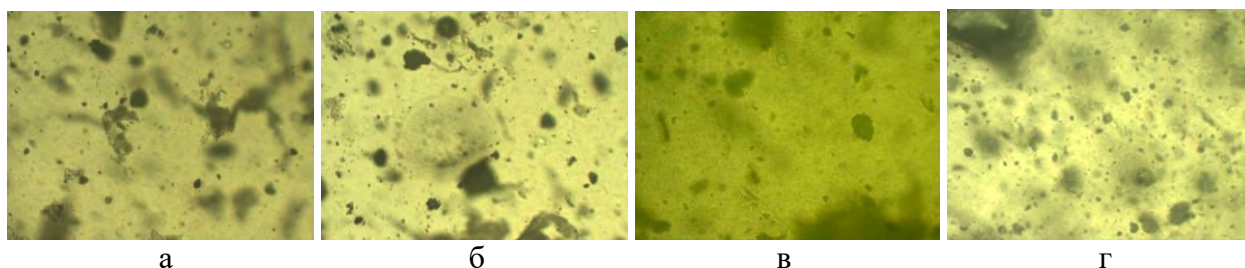
На рисунках 4, 5 представлены снимки распределения наномодификаторов в смазочном материале Солидол Ж. Исходя из представленных данных, с увеличением концентрации модификатора увеличивается размер и количество крупных агломератов

в структуре смазки. Данный характер распределения наномодификатора характерен и для других пластичных смазок (Циатим-201).



а – 0,5 мас. % кремня; б – 1 мас. % кремня; в – 2 мас. % кремня; г – 5 мас. % кремня. $\times 150$

Рисунок 4 – Морфология кластеров наномодификатора кремнь в пластичной смазке Солидол Ж



а – 0,5 мас. % УПТФЭ; б – 1 мас. % УПТФЭ; в – 2 мас. % УПТФЭ; г – 5 мас. % УПТФЭ. $\times 150$

Рисунок 5 – Морфология кластеров наномодификатора УПТФЭ в пластичной смазке Солидол Ж

Сравнительные испытания разработанных и традиционно применяемых смазочных материалов свидетельствуют о достаточной эффективности использования предлагаемых модификаторов для увеличения износостойкости (рисунок 6).

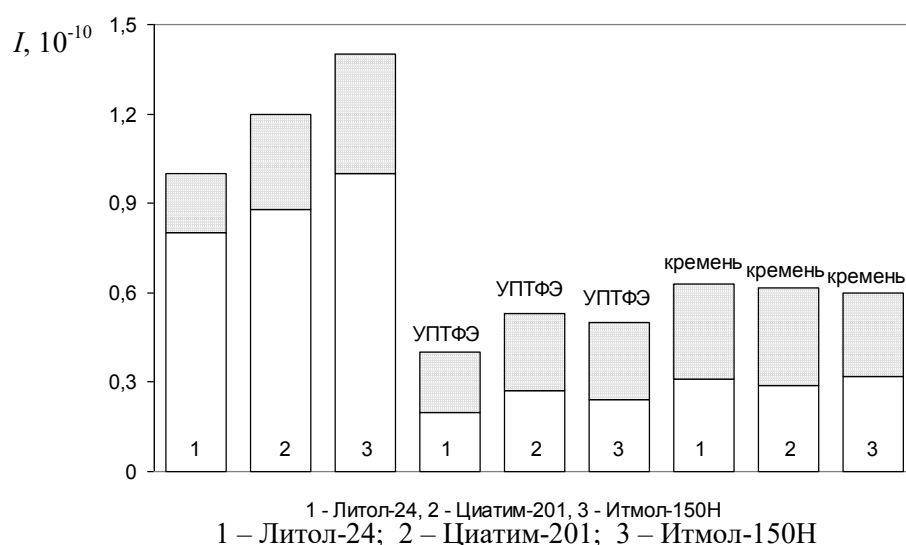


Рисунок 6 – Сравнительная интенсивность изнашивания I пары трения сталь 45 – сталь 60ПП при скорости скольжения 1 м/с и нагрузке 3,0 МПа (незаштрихованные столбцы) и 4,0 МПа (заштрихованные столбцы) при смазывании различными смазочными композициями с содержанием модификатора 5 мас. %

Модификатор вводили в базовую смазку механическим перемешиванием до получения однородного состава. Смазывание осуществляли фитильным способом, имитируя режим смазочного голодания.

Заключение

Модифицирование базовых смазок дисперсными частицами кремня и УПТФЭ обеспечивает значительное повышение износостойкости пары трения, что, вероятно, обусловлено формированием адсорбционных слоев олигомера на контактных поверхностях и образованием композиционной структуры с повышенной стойкостью к разрушению и термоокислительной деструкции. Разработаны составы смазочных нанокоспозиционных материалов на основе промышленно выпускаемых пластичных смазок для энергонагруженных узлов трения автомобильных и сельскохозяйственных агрегатов. Произведена оценка эксплуатационных характеристик наносмазок по критериям нагрузочной способности, износостойкости и долговечности трибосистем на модельных парах трения, стендах и в процессе натурных испытаний. Оптимизированы составы смазочных нанокоспозитов и технология их получения.

Список использованных источников

1. Особенности структуры нанокоспозиционных механоактивированных кремнийсодержащих частиц / Н.З. Ляхов [и др.] // Вестник ГрГУ. – 2012. – № 3 (137). – С. 32-40.
2. **Жорник, В.И.** Влияние наноразмерных алмазосодержащих добавок на структуру и свойства пластичных смазок / В.И. Жорник, А.В. Ивахник // Поликомтриб-2007: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 16-19 июля 2007 г. / ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2007. – С. 90-91.
3. **Мецик, М.С.** Физика расщепления слюд / М.С. Мецик. – Иркутск: Вост. Сиб. изд., 1967. – 278 с.
4. **Роземберг, Ю.А.** Влияние смазочных масел на надежность и долговечность машин / Ю.А. Роземберг. – М.: Машиностроение, 1970. – 312 с.
5. Пластмассы и пленки полимерные. Методы определения поверхностных зарядов электретов: ГОСТ 25209-82. – Введ. 01.07.83. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982. – 14 с.

Auvchynnikau Ye.V., Slaktionov P.A., Golushko S.N., Gridiushko D.V., Kalintsev Yu.V., Brizhevich A.V.

Nanocomposite lubricating materials

The carried out studies of mechanism of modifying action of low-dimensional particles of different composition, structure, fabrication method made it possible to establish general regularities of realization of synergistic result in bonding agents which are remarkable for their molecular weight, structure and macromolecular polarity. The necessary prerequisites are created for wide industrial use of structural, tribotechnical, protective materials and lubricants in different sectors of machine engineering, building and processing industry.

Поступила в редакцию 17.11.2014 г.

Перечень статей, опубликованных в журнале
«Горная механика и машиностроение» в 2014 году

№ 1

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

- Журавков М.А.** Техногенные динамические события в регионах крупномасштабного освоения подземного пространства. Часть 1. Возможно ли техногенное динамическое событие большой интенсивности как следствие крупномасштабного освоения подземного пространства? 5
- Пузанов Д.А., Мозговенко М.С., Губанов В.А.** Результаты исследования устойчивости вскрывающих выработок при их проведении в подработанном нижней лавой IV силвинитовом слое на руднике 3 РУ ОАО «Беларуськалий» 25
- Злотников И.И., Хило П.А., Прушак В.Я., Ахмадиева Л.В., Шаповалов В.М.** Исследование особенностей молекулярного взаимодействия при разрушении горных пород с использованием технологических жидкостей 34
- Губанов В.А., Пузанов Д.А., Мозговенко М.С., Михеев И.А.** Выбор мест заложения подготовительных выработок при их проведении в охранных междустолбовых целиках через 25-30 лет после завершения очистных работ в смежноотработанных лавах 43
- Березовский Н.И., Борисейко В.В.** Инновационные энерго- и ресурсосберегающие технологии производства брикетов из торфа 48
- Поляков А.Л., Мисников В.А., Лутович Е.А., Шафиков М.Г., Якубович Н.Н.** Анкерная крепь первого уровня крепления, пригодная для механизированной установки. Лабораторные испытания ее отдельных узлов и элементов 56

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Лустенков М.Е.** Обоснование выбора механических передач для работы в скважинах 64
- Кучик А.С., Михаленя В.Д., Щерба Е.В.** Сравнительный анализ устойчивости комбайнов избирательного действия 71
- Басалай Г.А.** Повышение эффективности работы спаренного планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна 83

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Екименко А.Н.** Сравнительная эффективность модификации фенолформальдегидных смол эпоксидами и полиорганосилоксанами в матрицах древесных пластиков 93

№ 2

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

- Журавков М.А.** Техногенные динамические события в регионах крупномасштабного освоения подземного пространства. Часть 2. Наведенные динамические срывы в областях разломов и зон разрывов 5
- Губанов В.А., Поляков А.Л., Пузанов Д.А., Петровский А.Б.** Расчет протяженности зоны опорного давления и ширины зоны разгрузки под лавой при столбовой системе разработки Старобинского месторождения калийных солей 20
- Березовский С.Н.** Исследование процессов переработки валунно-гравийно-песчаной смеси... 25
- Халявкин Ф.Г., Оника С.Г., Бабец М.А.** Совершенствование приборного обеспечения для контроля технологических параметров буровых промывочных жидкостей 36

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Таболич А.В., Воробьев В.В., Иванов Е.Н., Бондаренко С.Н. Получение высококачественного кубовидного щебня при применении технологии центробежно-ударного дробления	42
Таяновский Г.А., Басалай Г.А., Матусович Э.В., Загоровский Ю.В. Модернизация и средства анализа привода колес шахтного самоходного вагона	51
Кучик А.С., Михаленя В.Д., Камозин Д.А., Щерба Е.В. Анализ напряженного состояния подвижных секций конвейера проходческого комбайна при статическом нагружении	61

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Тимошенко В.В., Мельников С.Ф., Шаповалов А.В., Талецкий В.В., Тимофеев А.А., Шаповалов В.М. Влияние природы наполнителей в полимерных композиционных материалах на износ перерабатывающего оборудования	72
Барановский К.Э., Урбанович Н.И., Проворова И.Б., Басалай И.А. Повышение износостойкости хромистых чугунов	78
Екименко А.Н., Неверов А.С., Колдаева С.Н. Износ армированных композитов	82
Приходько И.В., Неверов А.С., Приходько А.П. Реологические и трибологические свойства пластичного смазочного композиционного материала на основе отработанной смазки	94
Константинов В.М. Коррозионная стойкость наплавленных износостойких покрытий из борсодержащих сплавов на железной основе	101

№ 3**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ**

Журавков М.А. Техногенные динамические события в регионах крупномасштабного освоения подземного пространства. Часть 3. Мониторинг техногенных динамических событий	5
Головатый И.И., Петровский А.Б., Петровский Ю.Б., Прушак В.Я., Петровский Б.И., Поляков А.Л., Гарнишевский А.А. Перспективные технологические схемы подготовки и отработки Третьего калийного пласта на шахтном поле Краснослободского рудника	24
Иголка Д.А., Иголка Е.Ю., Лукша Е.М., Кологривко А.А. Влияние температуры ледопородного ограждения при расчете крепи шахтных стволов	36
Хлебко А.А., Шутин С.Г., Плескунов В.Н., Морев А.Б. Совершенствование селективной выемки калийной руды на Старобинском месторождении	42
Лесун Б.В. Рациональное использование местных минеральных ресурсов	47
Березовский С.Н., Лесун Б.В. Оценка гранулометрического состава гравийно-песчаных месторождений Республики Беларусь и исследования теоретического распределения высоты уступов	56

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Богданович П.Н., Чернопяткин А.Е. Разрушение трибосопряжений при циклическом нагружении	67
Куземкин Д.М., Довгяло В.А. Способы снижения динамических нагрузок в конструкциях ленточных конвейеров (обзор)	73

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Павленко А.П. Композиционный материал на основе тарного стекла и алюмооксидной керамики	86
Барановский К.Э., Урбанович Н.И., Волосатиков В.И., Басалай И.А., Розенберг Е.В., Дувалов П.Ю. Износостойкость и механические свойства хромистых чугунов	96

№ 4

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А., Мозговенко М.С. Исследование проявлений горного давления в забоях лав при отработке Первого, Второго, Третьего калийных горизонтов на рудниках ОАО «Беларуськалий». Часть 1. Исследование конвергенции призабойного пространства	5
Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А., Пузанов Д.А. Исследование проявлений горного давления в забоях лав при отработке Первого, Второго, Третьего калийных горизонтов на рудниках ОАО «Беларуськалий». Часть 2. Исследование несущей способности забойной крепи	12
Губанов В.А., Поляков А.Л., Лутович Е.А. О несущей способности пород непосредственной кровли над призабойным пространством лав	18
Оника С.Г., Халявкин Ф.Г., Ковалева И.М., Куликовская О.Е. Геоинформационное обеспечение принятия решений при проектировании строительства и эксплуатации карьеров....	24
Басалай И.А., Бельская Г.В. Способы снижения засоления и рекультивации земель в районе деятельности ОАО «Беларуськалий»	29

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Таяновский Г.А., Басалай Г.А., Матусович Э.В., Загоровский Ю.В. Тягово-динамическая характеристика самоходного шахтного вагона	35
Конопляник И.А. Принципы согласования режимов работы приводов и натяжных устройств ленточных конвейеров	45
Кучик А.С., Михаленя В.Д., Щерба Е.В. Методика расчета нагрузок привода исполнительного органа комбайна избирательного действия	51
Конопляник И.А. Оптимизация параметров ленточных конвейеров методом построения модели формирования грузопотока с использованием β -распределения	60

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Можейко Ф.Ф., Поткина Т.Н., Шевчук В.В., Стефанович С.Ч. Влияние структурообразования глинисто-солевых шламов, образующихся при обогащении сильвинитовых руд флотационным методом, на эффективность их обезвоживания	66
Овчинников Е.В., Лиопо В.А., Струк В.А., Григорьева Т.Ф. Модифицирующий механизм действия композиционных механоактивированных силикатных частиц в полимерных матрицах	74
Лиопо В.А., Овчинников Е.В., Струк В.А., Прушак Д.А., Прушак А.С. Влияние наноразмерности частиц на их электронные свойства	82
Овчинников Е.В., Сластенов П.А., Голушко С.Н., Гридюшко Д.В., Калинин Ю.В., Брижевич А.В. Наноконпозиционные смазочные материалы	89

**A list of articles that have been published in the journal
«Mine mechanical engineering and machine-building» in 2014**

№ 1

GEOTECHNOLOGY

- Zhuravkov M.A.** Technogeneous dynamic events in the regions with a large-scale development of the mining area. Part I. Possibility of a large intensity technogeneous dynamic event as a result of a large-scale development of the mining area 5
- Puzanov D.A., Mozgoenko M.S., Gubanov V.A.** The results of stability research of openings at their driving in the sylvinitic layer IV worked by the lower lava in the mine 3 PU's of JSC «Belaruskali» 25
- Zlotnikov I.I., Khilo P.A., Prushak V.Ja., Akhmadieva L.V., Shapovalov V.M.** Analysis of peculiarities of molecular interaction at destruction of rocks with the usage of process liquids 34
- Gubanov V.A., Puzanov D.A., Mozgoenko M.S., Mikheev I.A.** Choice of points of emplacement of development workings at their driving in protective intercolumn pillars in 25-30 years after carrying out the winning operations in lavas worked-out contiguously 43
- Berezovski N.I., Boriseiko V.V.** Innovation energy- and resource saving technologies of peat briquettes production 48
- Polyakov A.L., Misnikov V.A., Lutovich E.A., Shafikov M.G., Jakubovich N.N.** Roof bolting of the first level of support applicable to the powered installation. Laboratory tests of its individual units and elements 56

MACHINE-BUILDING

- Lustenkov M.E.** Choice substantiation of mechanical transmissions working in the holes 64
- Kuchik A.S., Mikhaleyna V.D., Shcherba Ye.V.** The comparative analysis of stability of selective action roadheaders 71
- Basalay G.A.** Effectiveness increase of operation of the pared planetary-disk cutting device of the mining-and-roadheading machine 83

MATERIALS ENGINEERING

- Ekimenko A.N.** Comparative efficiency of phenolformaldehyde pitches modification by epoxides and polyorganosiloxanes in wood plastics matrixes 93

№ 2

GEOTECHNOLOGY

- Zhuravkov M.A.** Technogeneous dynamic events in the regions with a large-scale development of the mining area. Part II. Directed dynamic separations in fractured zones 5
- Gubanov V.A., Polyakov A.L., Puzanov D.A., Petrovski A.B.** Calculation of length of a support pressure area and width of a discharge area under the longwall by long-pillar system of working of the Starobin deposit of the potash salts 20
- Berezovski S.N.** Study of processing of a boulder-gravel-sand composition 25
- Haliavkin F.G., Onika S.G., Babets M.A.** Improvement of instrument supply in order to control technological parameters of drilling washing liquids 36

MACHINE-BUILDING

- Tabolich A.V., Vorobyov V.V., Ivanov E.N., Bondarenko S.N.** Production of high-quality cube-shaped crushed stone by using the technology of impact centrifugal crushing 42

Tayanovsky G.A., Basalai G.A., Matusovich E.V., Zagorovski Yu.V. Modernization and analysis tools of the wheels' drive of a mine self-powered vehicle	51
Kuchik A.S., Mikhalenya V.D., Kamozin D.A., Shcherba Ye.V. The analysis of stress condition of the conveyor movable sections of the roadheader at static loading	61

MATERIALS ENGINEERING

Timoshenko V.V., Melnikov S.F., Shapovalov A.V., Taletsky V.V., Timofeenko A.A., Shapovalov V.M. Influence of the nature of fillers in polymeric composite materials on the wear of the processing equipment	72
Baranovskiy K.E., Urbanovich N.I., Provorova I.B., Basalai I.A. Improvement of wear resistance of chromic cast irons	78
Ekimenko A.N., Neverov A.S., Koldaeva S.N. Wear of reinforced composites	82
Prihodzko I.V., Neverov A.S., Prihodzko A.P. Rheological and tribological properties of a plastic lubricating composite material on the basis of waste lubrication	94
Konstantinov V.M. Corrosion resistance of wearproof hard faced coatings made of boron containing alloys on the ferrous base	101

№ 3

GEOTECHNOLOGY

Zhuravkov M.A. Technogeneous dynamic events in the regions with a large-scale development of the mining area. Part III. Monitoring of technogeneous dynamic events	5
Golovaty I.I., Petrovsky A.B., Petrovsky Yu.B., Prushak V.Ja., Petrovsky B.I., Polyakov A.L., Garnishevsky A.A. Long-term manufacturing schemes of the development and mining the Third potash seam in the mine field of the Krasnoslobodsky mine	24
Igolka D.A., Igolka E.Yu., Luksha E.M., Kologrivko A.A. Influence of an ice wall temperature at calculation of the shafts lining system	36
Khlebko A.A., Shutin S.G., Pleskunov V.N., Morev A.B. Improvement of selective mining of potassium ore in the Starobin deposit	42
Lesun B.V. Rational use of local mineral resources	47
Berezovsky S.N., Lesun B.V. Granulometric composition evaluation of the gravel-sand deposits of the Republic of Belarus and study of theoretical distribution of the benches height	56

MACHINE-BUILDING

Bogdanovich P.N., Chernopyatkin A.E. Tribounit destruction at cyclic loading	67
Kuzyomkin D.M., Dovgalyo V.A. Ways of dynamic load reduction in designs of belt conveyors (review)	73

MATERIALS ENGINEERING

Pavlenko A.P. Composite material based on container glass and alumina ceramics	86
Baranovsky K.E., Urbanovich N.I., Volosatikov V.I., Basalai I.A., Rozenberg E.V., Duvalov P.Yu. Wear resistance and mechanical properties of the chromic cast irons	96

№ 4

GEOTECHNOLOGY

Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A., Mozgoenko M.S. Study of appearance of rock pressure in faces at working the First, the Second and the Third potash horizons of the JSC «Belaruskali»'s mines. Part I. Study of face space convergence	5
---	---

Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A., Puzanov D.A. Study of appearance of rock pressure in faces at working the First, the Second and the Third potash horizons of the JSC «Belaruskali»'s mines. Part II. Study of bearing capacity of face support	12
Gubanov V.A., Polyakov A.L., Lutovich Ye.A. About rock bearing capacity of the immediate roof above the longwall face space	18
Onika S.G., Khalyavkin F.G., Kovaleva I.M., Kulikovskaya O.Ye. Geographic informational support in decision-making at building designing and exploitation of quarries	24
Basalai I.A., Belskaya G.V. The ways of decrease of salinization and recultivation of soil in the areas of activity of JSC «Belaruskali»	29

MACHINE-BUILDING

Tayanovsky G.A., Basalai G.A., Matusovich E.V., Zagorovsky Yu.V. Traction-dynamic characteristic of the shaft self-moving vehicle	35
Konoplyanik I.A. Principles of operating regimes matching of drives and tensioning devices of belt conveyors	45
Kuchik A.S., Mikhalenya V.D., Shcherba Ye.V. The method of stress calculation of transmission of the cutting device of the selective action roadheader	51
Konoplyanik I.A. Belt conveyors parameter optimization by the method of stream of supply model making by using β -distribution	60

MATERIALS ENGINEERING

Mozheiko F.F., Potkina T.N., Shevchuk V.V., Stsefanovich S.Ch. The influence of structurization of clay-salt slime, produced at silvinit ore enrichment by flotation method, on their dewatering efficiency	66
Auvchynnikau Ye.V., Liopo V.A., Struk V.A., Grigorieva T.F. Modifying action mechanism of composite mechanoactivated silicate particles in polymeric matrixes	74
Liopo V.A., Auvchynnikau Ye.V., Struk V.A., Prushak D.A., Prushak A.S. Effects of nanoparticles on their electronic properties	82
Auvchynnikau Ye.V., Slaktionov P.A., Golushko S.N., Gridiushko D.V., Kalintsev Yu.V., Brizhevich A.V. Nanocomposite lubricating materials	89

Статьи, направленные в редакцию журнала, должны удовлетворять требованиям «Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации», утвержденной Постановлением Президиума Государственной ВАК РФ от 24.12.1997 г. № 178 (в редакции с изменениями и дополнениями, Постановление ВАК РФ от 22.02.2006 г. № 2 и Постановление ВАК РФ от 15.08.2007 г. № 4).

1. Материал статьи должен соответствовать профилю журнала и излагаться предельно ясно.
2. Поступившие в редакцию статьи проходят рецензирование. Основные критерии целесообразности опубликования – актуальность тематики, научная новизна.
3. Статья должна быть представлена в распечатанном и в электронном виде в формате текстового редактора Microsoft Word (97-2010). Шрифт текста Times New Roman, размер 12 п., интервал – 1.
4. В статье должны быть указаны индекс УДК, название статьи, фамилии авторов, наименования организаций, в которых работают авторы. Статья должна содержать: аннотацию (до 10 строк), введение, основную часть, заключение, завершаемое четко сформулированными выводами, список использованных источников. Аннотация и название статьи, а также фамилии авторов должны быть представлены на английском и русском языках.
5. Рисунки должны быть четкими и созданы в одном из графических редакторов (формат jpg, tif, pcx, bmp, gif, cdr, wmf, psd), графики присоединены с помощью табличного процессора «Excel» или «MS Graph» (встроенного в «Word»). Все обозначения на рисунках должны быть расшифрованы.
6. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. На все таблицы и рисунки следует давать ссылки в тексте. Формулы должны быть созданы в редакторе «Math Type».
7. Обозначения, приведенные в статье, расшифровываются непосредственно в тексте, кроме того, могут быть вынесены на отдельную страницу.
8. Размерность всех величин, приведенных в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращения, кроме общепринятых. Для обозначения физических величин используется курсивный шрифт, для математических символов типа cos, max, критериев вида Nu, Re и т.п., чисел, химических символов – прямой шрифт. Для русских и латинских букв в индексах используется прямой шрифт, если они не относятся к обозначениям физических величин, а являются сокращением слова, курсив – если принимают последовательные значения или служат для перечисления чего-либо, обозначения ряда чисел и т.п.
9. Список использованных источников должен быть приведен в конце статьи и содержать полные библиографические данные. Список должен быть составлен в порядке упоминания ссылок в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.
10. Авторам необходимо на отдельной странице предоставить о себе следующие сведения: фамилия, имя, отчество, почтовый адрес для переписки, место работы и занимаемая должность, а также номера телефонов, факсимильной и электронной связи.

1. The feature material should correspond to the magazine's profile and should be expounded very understandable.
2. The articles provided to the magazine editorial staff are reviewed. The main criteria of publishing feasibility are subjects' urgency and scientific novelty.
3. The article should be presented in printed out and electronic form in the Microsoft Word format (97-2010). The body text is Times New Roman, size 12, interval – 1.
4. The UDC number, article's title, authors' surnames, names of organizations where the authors work should be stated in the article. The article should contain annotation (till 10 lines), introduction, the basic part, the conclusion finished by accurately formulated consequences, and as well as the list of the used sources. The annotation, the article's title and as well as the authors' surnames should be presented in English and Russian languages.
5. The pictures should be well-defined and should be created in one of the graphic editors (format jpg, tif, pcx, bmp, gif, cdr, wmf, psd); in this case they are attached with tabular based pro-cessor Excel or MS Graph (built-in Word). All sym-bols in the figures should be deciphered.
6. The tables are placed directly in the text of the article. Each table should have the title. All tables and diagrams should have references in the text. Formulae should be done by «Math Type» editing program.
7. Symbols used in the article are deciphered directly in the text; in addition they could be taken out on a separate page.
8. Dimension of all sizes accepted in the article should correspond to the International System of Units (SI). The abbreviations except for the standards should not be used. Designations of physical quantities are given by Italic characters. Mathematical symbols such as cos, max, criteria of kind Nu, Re, etc., numbers, chemical symbols are given by Roman characters. Russian and Latin letters in indexes are given by Roman characters if they do not refer to designations of physical quantities and are word abbreviations, they are given by Italics if they accept successive values or serve for enumeration of something, sequence designation, etc.
9. The list of the used sources should be given at the end of the article and contain full bibliographic data. The list should be made in the order as the references are mentioned in the text. The references to the unpublished works are not allowed.
10. The authors should provide the following information on a separate page: surname, given name, patronymic name, and postal address for correspondence, place of employment and work status; as well as phone numbers, fax number, and e-mail address.

Подписные 749332
индексы: 74933

**Основные направления научно-исследовательской деятельности ЗАО «Солигорский
Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»:**

- разработка горношахтного подъемно-транспортного оборудования;
- разработка горного проходческого, очистного и бурового оборудования;
- разработка технологического горно-обогательного оборудования;
- разработка методов повышения надежности и долговечности деталей и узлов машин, работающих в условиях абразивных, химически активных сред горно-обогательных предприятий;
- разработка оборудования для комплексов по перегрузке и складированию сыпучих материалов;
- разработка высокопроизводительной технологии обогащения полезных ископаемых;
- разработка композиционных и теплозвукоизоляционных материалов;
- разработка конструкционных материалов и покрытий, предназначенных для использования в агрессивных химически активных, абразивных средах предприятий горной промышленности;
- совершенствование технологии добычи и повышение безопасности ведения горных работ на месторождениях полезных ископаемых;
- моделирование и автоматизированное проектирование горных машин, работающих на глубине более 1000 м во взрывоопасной среде и при больших давлениях кровли;
- разработка автоматизированных систем управления горношахтным добывающим и перерабатывающим оборудованием.

Адрес редакции:

223710, Республика Беларусь,
Минская обл., г. Солигорск, ул. Козлова, 69

Телефоны:

(+375 174) 26 28 37 главный редактор (приемная)
(+375 174) 26 35 32 ответственный секретарь

E-mail: ontiipr@tut.by

<http://www.sipr.by>

ISSN 1728-3841



9 771728 384000