

ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ

ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ 2018 № 3



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2018 № 3

20
лет
журналу

ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ

№ 3 2018

Учредитель журнала:

ЗАО «Солигорский Институт проблем
ресурсосбережения с Опытным
производством»

Научно-технический журнал

Издается с декабря 1998 г.
Выходит четыре раза в год

Редакция:

Главный редактор
Прушак Виктор Яковлевич

Заместитель главного редактора
Петровский Борис Иванович

Редакционная коллегия:

С.С. Андрейко (Россия), Е.И. Берестов (Беларусь), П.Н. Богданович (Беларусь),
Ц. Вутов (Болгария), В.А. Губанов (Беларусь), М.А. Журавков (Беларусь),
В.П. Зубов (Россия), Н.П. Крутько (Беларусь), Ф.И. Пантелеенко (Беларусь),
В.А. Струк (Беларусь), В.М. Шаповалов (Беларусь), В.К. Шелег (Беларусь),
А.О. Шимановский (Беларусь)



Адрес редакции:

ул. Козлова, 69, 223710, г. Солигорск, Минская обл., Республика Беларусь
Тел.: (+375 174) 26 35 32, (+375 174) 28 21 07, факс: (+375 174) 26 28 37
E-mail: onti@sipr.by

Журнал включен в перечень научных изданий РБ для опубликования результатов диссертационных исследований по научным направлениям: технические науки (геотехнология, материаловедение, машиностроение)
Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

© ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

- Петровский Б.И., Гарнишевский А.А., Гавриков А.А., Шафиков М.Г., Курчевский А.Н.** Использование автоматизированных систем мониторинга горного давления (СМГД) с программным обеспечением ПрОК для прогноза опасных обрушений кровли в слоевых лавах. Часть 1. Создание СМГД с функцией прогноза опасных обрушений кровли в слоевых лавах пласта Третьего калийного горизонта 5
- Капитонец Е.Ю., Басалай И.А.** Технологические и экологические особенности добычи и производства поваренной пищевой соли 17
- Казаченко Г.В., Басалай Г.А.** О производственном потенциале предприятия по добыче полезных ископаемых 27

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Шелег В.К., Довгалев А.М., Сухоцкий С.А., Свирепа Д.М.** Магнитно-динамическое, совмещенное и комбинированное накатывание плоских поверхностей 35
- Шимановский А.О., Кракова И.Е.** Механико-математическая модель колебаний деформируемого груза, перевозимого на автоплатформе 43
- Павлечко В.Н.** Скорости движения среды между лопастями осевой турбины 49
- Басалай Г.А.** Программно-технические средства измерения сил резания горной породы... 55
- Бублик М.Л., Бураченко В.П., Харламов В.Н.** Исследование работоспособности бесцепной системы подачи очистного комбайна SL300NE и речного става скребкового конвейера СПЗ-1-228 в условиях лавы № 99 рудника 1 РУ ОАО «Беларуськалий» 64

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Овчинников Е.В.** Физико-механические характеристики фторсодержащих покрытий, сформированных на подложках различной природы 70
- Шутова Е.А., Шаповалов В.М.** Физическое модифицирование композиционных материалов на основе вторичных термопластичных полимеров 79
- Лашкина Е.В.** Диффузионные процессы в полиэтиленовых пленках, модифицированных инсектицидами 86

На обложке: мобильная буровая установка МБУ «Медведь».

На 1-й стр.: барабан-гранулятор для гранулирования
НРК-удобрений.

На 3-й стр.: фильтр барабанный вакуумный для обезвоживания
продуктов обогащения калийного производства.

Свидетельство о государственной регистрации СМИ № 1000 от 12.01.2010 г.

Подписные индексы: **74933** (для индивидуальных подписчиков), **749332** (для организаций)

Ответственный секретарь О.М. Васькова

Подписано в печать 03.09.2018 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага «Navigator», А4, 80 г/м².

Заказ 3198. Усл. печ. л. 10,97. Тираж 120 экз.

Отпечатано Минским областным унитарным предприятием «Слуцкая укрупненная типография»,
ул. М. Богдановича, 7, 223610, г. Слуцк, Минская область, Республика Беларусь.

ЛП № 02330/0494181 от 03.04.2009 г.

MINING MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING

№ 3 2018

Founder of the Journal:

JSC “Soligorsk Institute of Resources
Saving Problems with Pilot Production”

Scientific and Technical Journal

Published since December, 1998

Issued four times a year

Edition:

Editor-in-Chief
Prushak Viktor Yakovlevich

Editor-in-Chief Deputy
Petrovsky Boris Ivanovich

Editorial Board:

S.S. Andreiko (Russia), E.I. Berestov (Belarus), P.N. Bogdanovich (Belarus),
Tz. Voutov (Bulgaria), V.A. Gubanov (Belarus), M.A. Zhuravkov (Belarus),
V.P. Zubov (Russia), N.P. Krutko (Belarus), F.I. Panteleenko (Belarus),
V.A. Struk (Belarus), V.M. Shapovalov (Belarus), V.K. Sheleg (Belarus),
A.O. Shimanovsky (Belarus)



Editorial Address:

Kozlova street 69, 223710, Soligorsk, Minsk region, Republic of Belarus

Tel: (+375 174) 26 35 32, (+375 174) 28 21 07, Fax: (+375 174) 26 28 37

E-mail: onti@sipr.by

The journal is included in the list of scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of dissertation studies on scientific directions: technical sciences (geotechnology, materials engineering, machine-building)
The magazine is included in Russian Science Citation Index

© JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production”, 2018

CONTENTS

GEOTECHNOLOGY

Petrovsky B.I., Harnisheuski A.A., Gavrikov A.A., Shafikau M.G., Kurcheuski A.N. Use of automated systems for monitoring rock pressure (SMGD) with the software PrOK for forecasting dangerous roof collapse in layered lavas. Part 1. Creating SMGD with the function of forecasting dangerous roof collapse in the layered lavas of the Third potash horizon	5
Kapitonets E.Yu., Basalai I.A. Technological and ecological peculiarities of common salt extraction and production	17
Kazachenko G.V., Basalai R.A. About the production potential of the enterprise mining and quarrying	27

MACHINE-BUILDING

Sheleg V.K., Dovgalev A.M., Sukhotskiy S.A., Svirepa D.M. Magnetic-dynamic, concurrent and combined rolling of flat surfaces	35
Shimanovsky A.O., Krakava I.E. Mechanical-mathematical model of oscillations of the deformable cargo transported by the automobile platform	43
Pavlechko V.N. On the fluid movement in the interlobe space of an axial turbine	49
Basalai R.A. Software and hardware for measuring rock cutting forces	55
Bublyk M.L., Burachonok V.P., Kharlamov V.N. The study of health chainless feed system of the shearer SL300NE and rack rod scraper conveyors SPZ-1-228 in conditions of lava no. 99 mine 1 RU, JSC “Belaruskali”	64

MATERIALS ENGINEERING

Auchynnika Ya.V. Physico-mechanical characteristics of fluorinating coatings formed on substrations of various nature	70
Shutova E.A., Shapovalov V.M. Physical modification of composite materials based on recycled thermoplastic polymers	79
Lashkina E.V. Diffusion processes in polyethylene films modified by insecticides	86

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.813.31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ (СМГД) С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ПРОК ДЛЯ ПРОГНОЗА ОПАСНЫХ ОБРУШЕНИЙ КРОВЛИ В СЛОЕВЫХ ЛАВАХ**Часть 1. Создание СМГД с функцией прогноза опасных обрушений кровли в слоевых лавах пласта Третьего калийного горизонта**

Петровский Б.И., Гарнишевский А.А., Гавриков А.А., Шафииков М.Г. (Унитарное предприятие «Институт горного дела», г. Солигорск, Беларусь), Курчевский А.Н. (ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск, Беларусь)

Описаны системы мониторинга горного давления (СМГД) с функцией прогноза опасных обрушений кровли, применяемые в разное время при отработке пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения слоевыми лавами, и отмечены их недостатки. Разработано программное обеспечение для прогноза опасных обрушений кровли (ПО ПрОК), особенностью которого является использование нового программного модуля, объединяющего интерфейс и методику технологической обработки данных всех применяемых на месторождении СМГД. Приведена структура автоматизированной СМГД PressCater польского производства с программно-аппаратными средствами ПрОК. Разработан алгоритм ПО ПрОК, включающий прогноз опасных обрушений кровли по совокупности сообщений и по сообщениям об опасном развитии горного давления. Кроме того, для прогноза использован метод визуального анализа за характером нагружения забойной крепи в каждом цикле очистных работ.

Ключевые слова: *слоевая выемка, лава, система мониторинга горного давления, программный модуль, алгоритм прогноза опасных обрушений кровли, программное обеспечение ПрОК.*

Введение

При слоевой выемке пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения в нижних лавах, отрабатывающих слои 2, 2-3, 3 после извлечения верхнего 4 сильвинитового слоя, имеют место интенсивные динамические проявления горного давления при обрушениях кровли. В некоторых случаях они сопровождаются посадкой забойной крепи «нажестко» с разрушением различных ее элементов и вывалами пород в призабойное пространство [1-3]. Кроме снижения объемов добычи руды подобные явления представляют большую опасность для обслуживающего персонала лавы. Несмотря на применение различных защитных мероприятий (разупрочнение кровли, создание «зон смягчения»), применение забойной крепи высокой несущей способности), полностью исключить описанные выше случаи до сих пор не удалось [4-8]. Аналогичная проблема возникла в 2016 году при выемке лавой верхнего 4 сильвинитового слоя после подработки ее выемочного столба нижней лавой по слоям 2, 2-3, 3 [9, 10].

Одновременно с применением в лавах защитных мероприятий научными организациями с 1989 года велись работы по созданию программно-аппаратных средств

контроля опасных обрушений кровли. В основу создания таких средств была положена установленная ранее закономерность взаимодействия забойной крепи с кровлей, которая заключается в том, что в двух-трех циклах очистных работ, непосредственно предшествующих опасному обрушению, скорость выхода гидростоек на рабочее сопротивление увеличивается в несколько раз по сравнению с обычными циклами [11].

В результате выполненных научно-исследовательских и экспериментальных работ был создан ряд автоматизированных СМГД с функцией прогноза опасных обрушений кровли в лавах (СКОК, ТСК-ОК, КоДаК, X-MAN, PressCater). Все указанные СМГД не в полной мере обеспечивают достоверность прогноза из-за ограниченного количества датчиков горного давления и многочисленных ложных срабатываний по выдаче сигнала тревоги (СКОК, ТСК-ОК), использования устаревших программно-аппаратных средств (КоДаК), упрощенного алгоритма прогноза и «закрытости» для пользователей программного обеспечения, что исключает возможность его доработки (технологической адаптации) – X-MAN, PressCater [12].

В связи с этим Унитарным предприятием «Институт горного дела» и ОАО «Беларуськалий» были разработаны алгоритм и программное обеспечение ПрОК нового поколения.

Этапы создания СМГД с функцией ПрОК

К числу первых разработок программно-аппаратных средств (1992 год) относится система контроля опасных обрушений кровли в лавах СКОК [11, 13]. Она состояла из датчика горного давления, устанавливаемого в лаве, блока обработки сигналов и регистрирующих самописцев, находящихся в диспетчерской рудника. Обработка данных с датчика горного давления заключалась в определении в каждом цикле очистных работ скорости выхода крепи на рабочее сопротивление. При достижении или превышении в цикле предельной заранее заданной скорости система автоматически включала световой (в диспетчерской) и звуковой (в лаве) сигнал об опасном развитии горного давления.

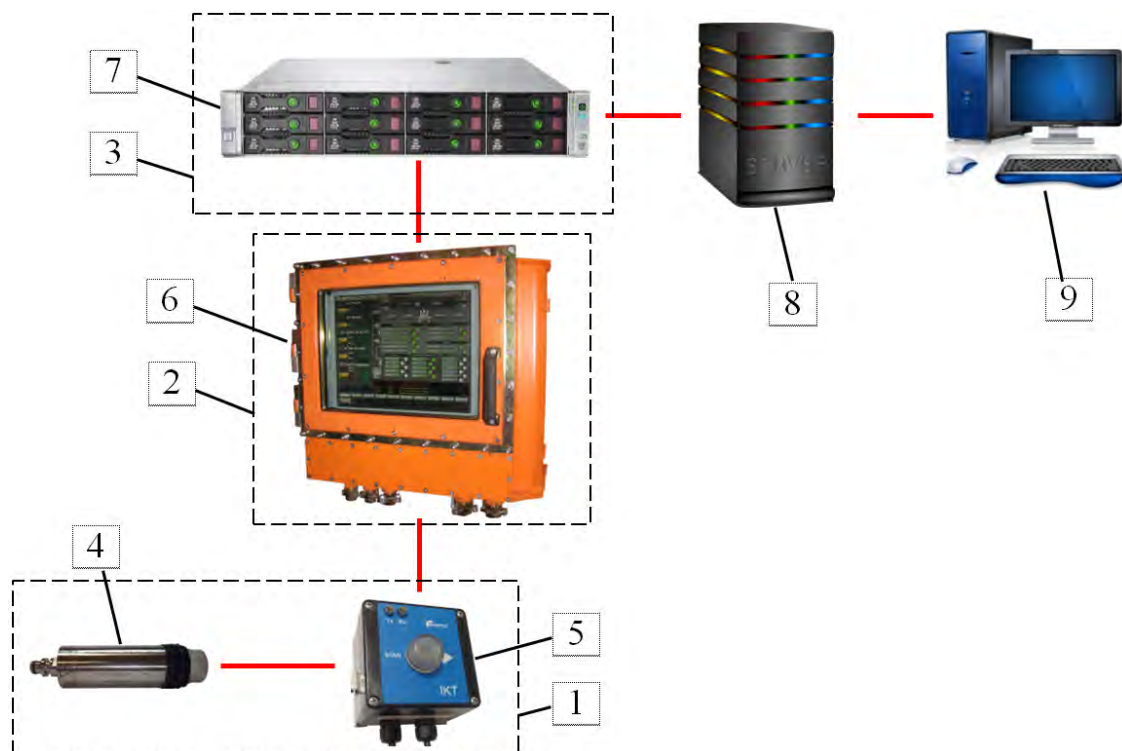
В 2000 г. была создана автоматизированная система контроля горного давления (ТСК-ОК), в состав которой входили шахтный контроллер типа ЛСУ-Ш, более надежные датчики горного давления в количестве 10 штук. Вывод и обработка данных осуществлялась на ПЭВМ, расположенной в диспетчерской рудника. В основу программного обеспечения ТСК-ОК был положен модернизированный алгоритм СКОК.

В течение следующих двух лет совершенствовались методика автоматизированного сбора, передачи и обработки данных, алгоритм и программное обеспечение, используемые в ТСК-ОК. Новые технические решения и программно-аппаратные средства были реализованы в автоматизированной системе КоДаК, которая также имеет 10 датчиков горного давления и функционирует до сих пор в нижних слоевых лавах [14-16].

В настоящее время в связи с развитием электроники и горной науки появилась возможность не только заменить и расширить элементную базу программно-аппаратных средств, но и реализовать более сложное программное обеспечение для прогноза опасных ситуаций. Совместно с КоДаК в лавах ОАО «Беларуськалий» на данный момент функционируют современные автоматизированные системы мониторинга горного давления польского производства X-MAN фирмы EMAG (в одной лаве) и PressCater фирмы KOPEX (в четырех лавах), позволяющие контролировать давление в гидростойках как по всей длине лавы, так и на отдельных ее участках [17].

Описание структуры и интерфейса СМГД PressCater с программным обеспечением ПрОК

Структурная схема СМГД PressCater с программным обеспечением ПрОК показана на рисунке 1. В СМГД использован трехуровневый программно-аппаратный комплекс.



1 – нижний уровень; 2 – средний уровень; 3 – верхний уровень;
 4 – датчик горного давления; 5 – конвертер передачи данных; 6 – шахтный компьютер;
 7 – сервер СМГД; 8 – сервер ПрОК; 9 – пользователь ПрОК

Рисунок 1. – Структурная схема СМГД PressCater с программным обеспечением ПрОК

Нижний аппаратный уровень состоит из датчиков горного давления, имеющих автономное электрическое питание в виде элементов питания, встроенных в корпус датчика. К этому уровню относятся также устройства звуковой и световой сигнализации, ретрансляторы, концентраторы канала связи. Информационный канал связи является беспроводным.

Средний программно-аппаратный уровень включает в себя шахтный компьютер, расположенный на энергопоезде лавы. На этом уровне с помощью специального программного обеспечения выполняется первичная обработка данных (фильтрация, сглаживание, архивирование) для передачи на верхний уровень.

Верхний уровень состоит из технологического сервера, на котором установлено программное обеспечение, в функции которого входит технологическая обработка данных, формирование базы данных, экспорт-импорт данных и визуализация технологического процесса. Также сюда входит программное обеспечение для пользователей, в обязанности которых входит проведение оперативного контроля за соблюдением технологического процесса в очистном забое и техническое обслуживание программно-аппаратного комплекса.

Данные с сервера СМГД поступают на сервер ПО ПрОК. Для универсального интерфейса с пользователем и единого методического подхода к обработке данных и

представлению материала в ПО ПрОК использован новый программный модуль, объединяющий интерфейс и методику технологической обработки данных всех применяемых на месторождении СМГД. Это позволяет сформировать единую базу данных для контролируемых слоевых лав в ОАО «Беларуськалий».

Для контроля горного давления в ПО ПрОК заложен программный модуль с вновь разработанными предвестниками и признаками опасных обрушений кровли, задача которых пользователю предусмотрена в автоматическом режиме.

Помимо этого в ПО ПрОК имеется возможность, используя данные любой СМГД, контролировать состояние гидросистемы крепи, технологию выемки полезного ископаемого и соблюдение паспорта крепления и управления кровлей в очистном забое: направление движения и местонахождение комбайна, передвижку забойной крепи и т.д.

При начальной загрузке ПО ПрОК запускается с общей для всех лав конфигурацией настроек. На рисунке 2 показана экранная форма диалогового окна «Выбор лавы, типа и параметров технологических диаграмм», которая появляется при запуске пользователем ПО ПрОК.

Выбор лавы и параметров	
Выбор лавы	Згу_620m_11-3Presscater 01/11/16-31/12/18
Выбор параметра 1	Давление
Выбор параметра 2	Скорость роста давления
Выбор параметра 3	Скорость подвигания лавы
Выбор параметра 4	Скорость роста давл.(фильтр)
Выбор параметра 5	Пригрузка/подвигание
Выбор параметра 6	Неисправности и опасности
Выбор параметра 7	Пригрузка за сутки
Начальная дата	14/06/2018 00:40:00
Конечная дата	15/06/2018 00:39:59
Ввод пароля >>	Копир. файлов
Загруз.конфиг.	Загруз.конфиг.лавы
Инициал.конфиг.	Удал.с кон.даты

Сброс даты Экспорт Уср.скор.(мин) 0
Применить

Рисунок 2. – Окно выбора лавы и отображаемых для нее параметров в ПО ПрОК

Из рисунка 2 видно, что пользователю ПО ПрОК предоставляется возможность выбора для прогноза до семи параметров, а именно:

1. Давление – значение давления в поршневой полости гидростоек секций крепи, бар.
2. Скорость роста давления – скорость изменения давления в поршневой полости гидростоек крепи, бар/мин.
3. Скорость подвигания лавы – количество технологических циклов, выполненных лавой за сутки, цикл/сутки.
4. Скорость роста давления (фильтр) – рассчитанная средняя скорость роста давления в поршневой полости гидростойки за определенный технологический цикл, бар/мин.
5. Пригрузка/подвигание – отношение скорости роста давления в поршневой полости гидростоек к скорости подвигания лавы.
6. Неисправности и опасности – сообщения об отклонениях в работе гидростоек крепи и превышениях уставок скоростей пригрузок, рассчитанные по заложенным алгоритмам.
7. Пригрузка за сутки – скорость роста давления в поршневой полости гидростоек за сутки, бар/сут.

Следует отметить, что все параметры могут быть отображены за любой выбранный пользователем период времени.

Для работы с индивидуальной конфигурацией настроек администратором выдается, а пользователем вводится соответствующий пароль (рисунок 2). При изменении настроек они сохраняются в каталоге конфигурации на сервере. Для работы с той или иной конфигурацией имеется возможность выбора файла из списка.

Для дополнительного анализа данных в стороннем приложении ПО ПрОК предусмотрена возможность экспорта показателей давления и скоростей пригрузки секций крепи за любой выбранный пользователем период.

На рисунке 3 приведены диаграммы трех наиболее весомых при прогнозе опасных обрушений кровли параметров ПО ПрОК: «Давление», «Скорость роста давления» и «Неисправности и опасности».

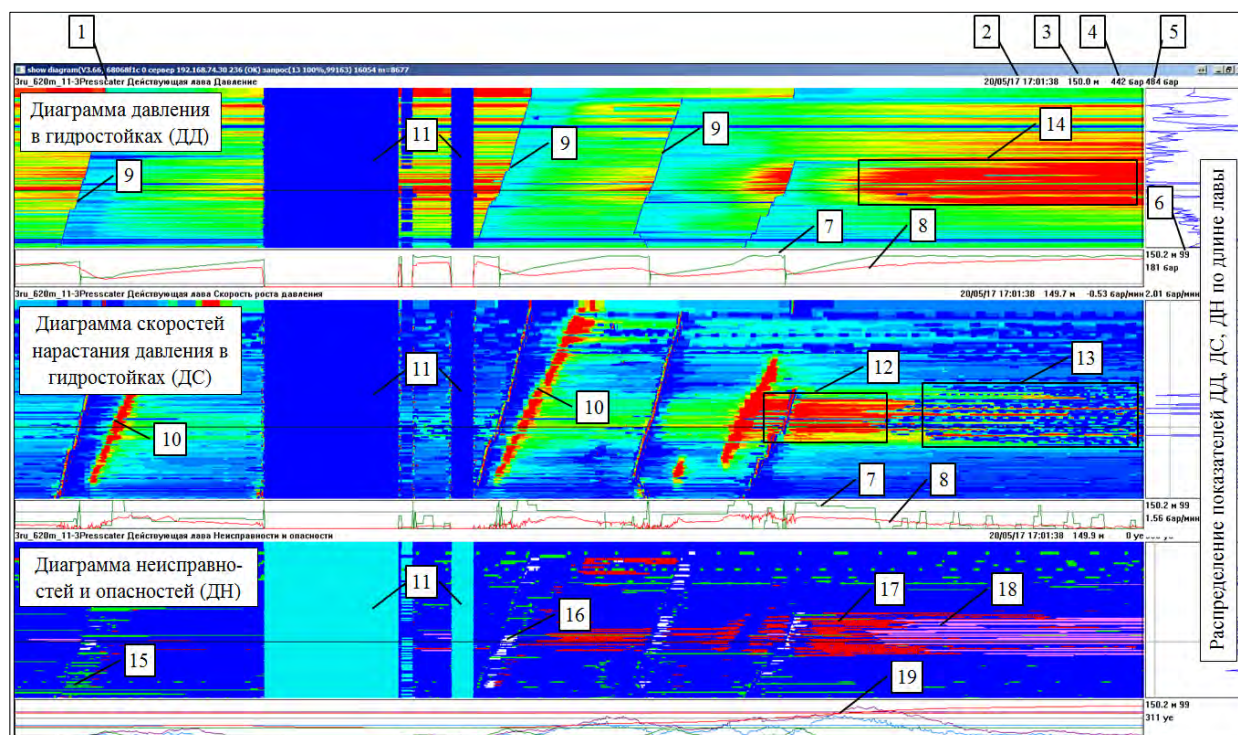


Рисунок 3. – Скриншот экрана ПО ПрОК с обозначением элементов интерфейса и анализа ситуации в лаве

На диаграммах выделены следующие элементы интерфейса и анализа ситуации в лаве:

- 1 – номер рудника, горизонта, наименование лавы, статус лавы, наименование диаграммы;
- 2 – дата и время точки на диаграмме, на которой установлен курсор;
- 3 – расстояние от конвейерного штрека лавы до указанного курсором места на диаграмме;
- 4 – мгновенное значение показателя в точке на диаграмме, на которой установлен курсор;
- 5 – верхний предел шкалы оси ординат на диаграмме;
- 6 – номер указанной курсором секции на диаграмме;
- 7 – линия графика показателя по секции крепи, на которую указывает курсор;
- 8 – линия графика среднего значения показателя по длине лавы;
- 9 – передвижка забойной крепи;
- 10 – проход комбайна;

- 11 – отсутствие связи;
 12 – повышенные скорости пригрузки крепи;
 13 – работа крепи в режиме рабочего сопротивления;
 14 – повышенные значения давления в гидростойках крепи;
 15 – низкий начальный распор крепи;
 16 – превышение уставки скорости нарастания сопротивления непосредственно после передвижки крепи вне зоны влияния комбайна;
 17 – превышение уставок скоростей при проходе комбайна и после прохода комбайна в зоне и вне зоны его влияния;
 18 – завышенный порог срабатывания предохранительного клапана;
 19 – превышения суммами сообщений уставок пределов 1, 2, 3.
- Цветовая гамма 2D карт задается по спектру радуги: от синего цвета (минимум значений) до красного (максимум).
- Для каждого отображаемого параметра после ввода пароля доступна возможность изменения уставок. Пример экрана ввода уставок для параметра «Неисправности и опасности» приведен на рисунке 4.

Уставки параметра: Неисправности и опасности			
векторизация[100-1000]	100	кон.секция контроля[1-200]	150
мин.давление распора[бар][50-300]	200	диапазон секций[1-50]	20
макс.давление[бар][300-600]	520	количество секций[1-50]	15
мин.давление клапана[бар][300-600]	420	контрольное время[мин][10-60]	15
макс.ход клапана[бар][5-60]	30	контрольная скорость[бар/мин]*10[1-40]	25
длительность неисправности[мин][1-20]	5	контрольное время клапан[мин][10-60]	20
ускорение старта комбайна[бар/мин2]*100[100-1000]	150	контрольная скорость клапан[бар/мин]*10[1-40]	25
макс.время роста скорости[мин][5-30]	15	количество секций клапан[1-50]	15
макс.скорость V0 при проходе комбайна[бар/мин]*10[50-200]	140	снижение скорости[бар/мин2]*10[1-40]	70
время после прохода комбайна T1[мин][5-100]	5	диапазон секций групповой разгрузки[1-50]	20
макс.скорость V1[бар/мин]*10[1-100]	35	количество секций групповой разгрузки[1-50]	50
время после прохода комбайна T2[мин][5-100]	15	диапазон времени[мин] групповой разгрузки[1-20]	5
макс.скорость V2[бар/мин]*10[1-50]	26	макс.скорость[бар/мин]*10 групповой разгрузки[-80-0]	10
время после прохода комбайна T3[мин][5-100]	30	максимум[бар] групповой разгрузки[1-200]	100
макс.скорость V3[бар/мин]*10[1-30]	21	разброс по времени[сек] групповой разгрузки[1-200]	60
время после прохода комбайна T4[мин][5-100]	50	диапазон секций групповой пригрузки[1-50]	20
макс.скорость V4[бар/мин]*10[1-20]	18	количество секций групповой пригрузки[1-50]	50
длительность превышения скорости[мин][1-20]	5	диапазон времени[мин] групповой пригрузки[1-20]	5
диапазон 1 суммирования опасностей[мин][1-20]	1	мин.скорость[бар/мин]*10 групповой пригрузки[1-80]	30
диапазон 2 суммирования опасностей[мин][20-60]	30	максимум[бар] групповой пригрузки[1-200]	100
диапазон 3 суммирования опасностей[час][1-48]	24	разброс по времени[сек] групповой пригрузки[1-200]	60
предел 1 суммы опасностей[1-50]	20	цвет[110] мин.давление	
предел 2 суммы опасностей[1-100]	60	цвет[120] макс.давление	
предел 3 суммы опасностей[1-500]	400	цвет[130] мин.давление клапана	
Кусилениа1 суммы опасностей +/-[1-10]	10	цвет[140] макс.ход клапана	
Кусилениа2 суммы опасностей +/-[1-10]	7	цвет[150] нет данных	
Кусилениа3 суммы опасностей +/-[1-10]	1	цвет[310] макс.скорость V0 проход комбайна время T0	
усреднение[0-усреднение 1-максимум]	1	цвет[320] макс.скорость V1 время T0-T1	
смещение скоростей V0-V4[бар/мин]*10[1-20]	0	цвет[330] макс.скорость V2 время T1-T2	
коэффициент скоростей V0-V4[бар/мин]*100[1-500]	65	цвет[340] макс.скорость V3 время T2-T3	
макс.скорость после перезагрузки[бар/мин]*100[1-100]	10	цвет[350] макс.скорость V4 время T3-T4	
время начала контр.скорости после перезагр.[мин][1-60]	1	цвет[360] макс.скорость V5 время >T4	
время конца контр.скорости после перезагр.[мин][1-60]	15	цвет[370] макс.скорость после распора крепи	
мин.время[мин] до прохода комб.после перезагр.[1-100]	15		
нормальное давление клапана[бар][300-500]	480		
диапазон 4 суммирования опасностей[мин][20-100]	15		
предел 4 суммы опасностей[1-500]	30		
Кусилениа4 суммы опасностей +/-[1-10]	5		
наличие сигнализации[0/1]	0		
нач.секция контроля[1-200]	50		

Рисунок 4. – Окно назначения уставок параметра «Неисправности и опасности»

В настройку интерфейса ПО ПрОК входят настройка фона, шрифтов, цвета линий графиков, пропорции осей ординат 2D карт и графиков. Все настройки также записываются в каталог конфигураций пользователя на сервере ПО ПрОК.

Автоматически при возникновении опасной скорости пригрузок крепи (а также при нажатии на клавиатуре клавиши «А») загружается форма журнала сообщений об опасности за диапазон времени, отображаемый на экране (рисунок 5).

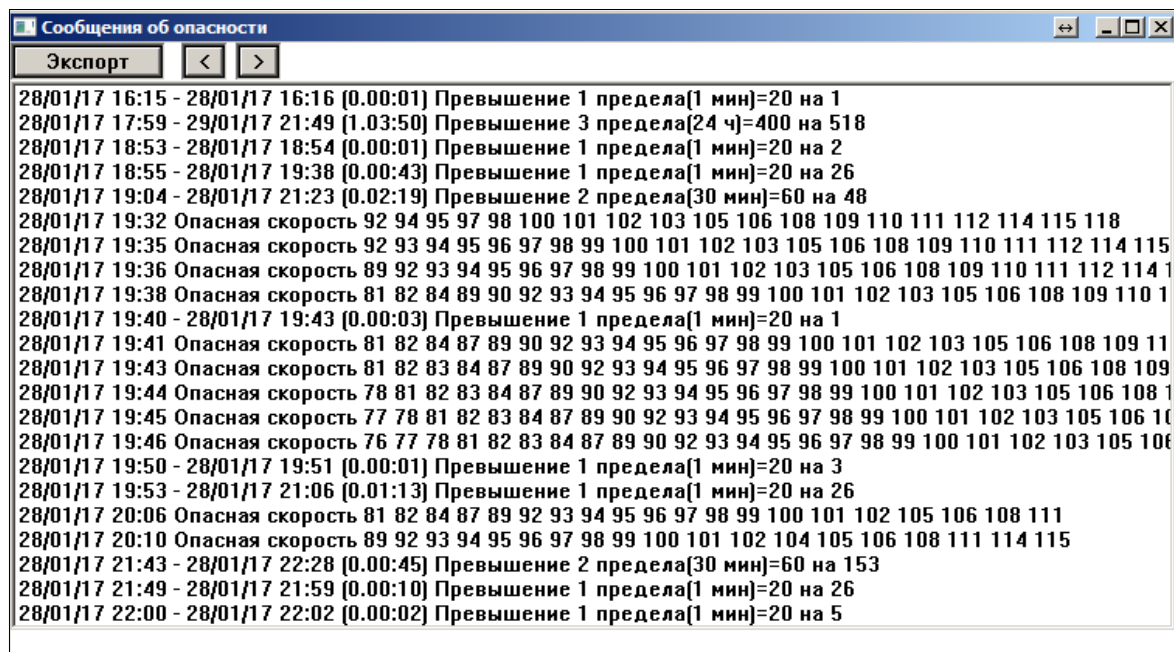


Рисунок 5. – Пример журнала сообщений об опасности ПрОК, используемых для прогноза опасного обрушения кровли

Примеры скриншотов диаграмм для контроля технологии выемки полезного ископаемого и соблюдения паспорта крепления и управления кровлей в очистном забое приведены на рисунке 6.

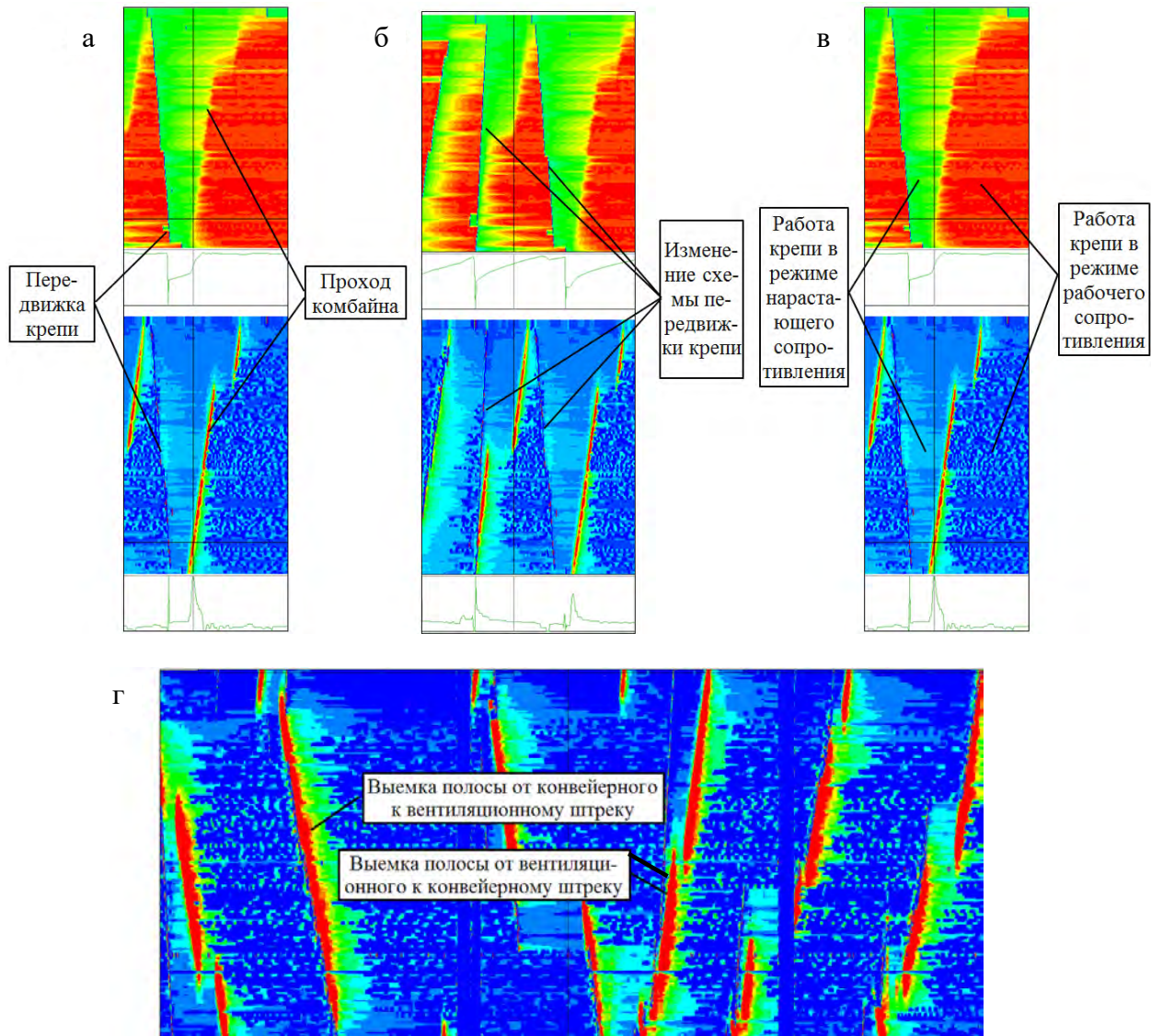
Описание алгоритма прогноза опасных обрушений кровли

Алгоритм, заложенный в ПО ПрОК, включает в себя прогноз опасных обрушений кровли по совокупности сообщений и по сообщениям об опасном развитии горного давления в лаве. Кроме того, некоторые процессы, происходящие в лаве, достаточно сложно алгоритмизировать для программного обеспечения, поэтому для прогноза наряду с разработанным алгоритмом предусмотрено применение метода визуального анализа.

Суть прогноза по совокупности сообщений заключается в следующем:

- выполняется анализ полученных трендов давления в гидростойках по определенным алгоритмам и рассчитываются максимальные скорости нарастания пригрузки гидростоек крепи непосредственно после передвижки секций вне зоны влияния комбайна, при проходе комбайна, после прохода комбайна в зоне и вне зоны его влияния;
- производится сравнение полученных максимальных скоростей с заданными уставками. При достижении или превышении максимальными скоростями значений уставок срабатывает счетчик, суммирующий количество сообщений по перечисленным

выше показателям. Таким образом, формируется матрица сообщений, которая отражается в виде 2D карты и графика на экране. Далее рассчитываются суммы сообщений за определенные периоды времени, и превышения этими суммами уставок фиксируются как предвестники возможных опасных обрушений кровли в лаве.



а – передвижка забойной крепи и влияние прохода комбайна; б – изменение схемы передвижки забойной крепи в лаве; в – режимы работы забойной крепи; г – изменение направления очистной выемки в лаве

Рисунок 6. – Использование диаграмм давления и скорости пригрузки в гидростойках забойной крепи для контроля технологических режимов работы лавы

Уставки для каждой лавы устанавливаются перед началом отработки выемочного столба, исходя из накопленного статистического материала по другим лавам, находящимся в схожих горно-геологических и горнотехнических условиях. На основе данных, полученных в результате анализа первого и последующих опасных обрушений кровли, уставки корректируются, что позволяет во всех случаях своевременно получать достоверную информацию о приближении опасных обрушений кровли.

О приближении опасного обрушения кровли по совокупности сообщений свидетельствует появление в течение очистного цикла двух и более предвестников, которыми являются:

- превышение суммой сообщений уставок пределов 1, 2, 3 – сообщения о превышении скоростей пригрузок при проходе комбайна, а также после его прохода в зоне и вне зоны его влияния; сообщения суммируются за различные периоды времени (1-20 минут, 20-60 минут и 12-48 часов, соответственно);

- превышение суммой сообщений уставки предела 4 – сообщения о превышении скорости пригрузки непосредственно после передвижки крепи вне зоны влияния комбайна; сообщения суммируются за период 10-60 минут.

Прогноз по сообщениям об опасном развитии горного давления в лаве осуществляется по нарастанию скорости пригрузки на крепь выше заданной критической скорости (уставки) и по увеличению частоты срабатывания предохранительных клапанов гидростоек в группе из 15-35 секций за определенный промежуток времени, различный для каждой лавы. При этом частота срабатывания клапанов в алгоритме преобразуется в скорость пригрузки и также сравнивается с критической скоростью. Эти показатели рассчитываются без учета влияния комбайна и являются непосредственными признаками опасных обрушений кровли.

Метод визуального анализа включает наблюдение за характером нагружения крепи в каждом цикле очистных работ с фиксированием на экране ПО ПрОК групповых (не менее 10 секций) разгрузок или пригрузок крепи (свидетельствуют об ухудшении геомеханической ситуации в лаве), а также появление в 1-3 циклах очистных работ степенного закона нарастания давления в гидростойках группы из 3-5 секций (признак опасного обрушения).

Описание алгоритма оценки работоспособности гидростоек крепи

При осуществлении автоматизированной оценки работоспособности гидростоек крепи важно выделять неисправности, которые относятся к СМГД. Применяемые в ПО ПрОК алгоритмы позволяют определять следующие неисправности системы:

- отсутствие связи от датчиков до шахтного компьютера на штреке;
- отсутствие связи от шахтного компьютера до аппаратного сервера при работоспособном состоянии программно-аппаратных устройств в лаве. Причинами отсутствия данных могут являться обрыв кабеля, отключение электроэнергии и сбой программно-аппаратного комплекса PressCater;

- искажение показаний от датчиков (выход из строя чувствительного элемента датчика, сбой настройки или повреждение линии связи), вследствие чего происходит резкое увеличение или уменьшение значения отдельного сигнала, не соответствующее истинному давлению.

Оценка работоспособности гидростоек крепи в ПО ПрОК осуществляется с помощью алгоритма контроля давления, в котором предусматривается выявление моментов отклонений давления в гидростойках от технических характеристик в процессе эксплуатации крепи, которые формируются в диаграммы по следующим сообщениям:

- постоянное снижение давления после прекращения распора – текущее давление в гидростойке ниже предыдущего значения;

- недостаточное давление начального распора – давление в гидростойке при начальном распоре ниже значения, предусмотренного в технической характеристике;

- низкое давление в течение цикла – в течение контрольного времени текущее давление в гидростойке ниже минимального значения;
- низкий порог срабатывания клапана – давление срабатывания клапана ниже допустимого;
- завышенный порог срабатывания клапана – в течение контрольного времени текущее давление в гидростойке превышает допустимое;
- разница между порогами открытия и закрытия клапанов – разница между порогом открытия и закрытия предохранительного клапана превышает допустимый предел.

Выявленные неисправности и отклонения от технических характеристик отображаются различными цветами на диаграмме параметра «Неисправности и опасности» (рисунок 3).

Уставки, используемые для выявления неисправностей гидростоек, устанавливаются, исходя из технической характеристики забойной крепи.

Заключение

В применяемых на рудниках ОАО «Беларуськалий» системах мониторинга горного давления польского производства заменена и расширена элементная база программно-аппаратных средств, однако использованное в них программное обеспечение не в полной мере соответствует современным требованиям к качеству прогноза опасных обрушений кровли в слоевых лавах на пласте Третьего калийного горизонта.

В разработанном программном обеспечении ПрОК реализованы новые программные модули и алгоритмы технологической обработки данных, контроля горного давления и оценки работоспособности гидростоек забойной крепи, которые пригодны для использования во всех СМГД. Это позволяет формировать единую базу данных для контролируемых слоевых лав и должно обеспечить повышение достоверности прогноза и безопасности ведения горных работ.

Во второй части статьи будут представлены результаты применения ПО ПрОК в автоматизированных системах мониторинга горного давления для прогноза опасных обрушений кровли в слоевых лавах.

Список использованных источников

1. Анализ случаев динамических проявлений основной кровли на призабойное пространство нижних лав при слоевой выемке Третьего калийного пласта / В.А. Губанов [и др.] // Горная механика. – 1999. – № 2. – С. 12-16.
2. Губанов, В.А. О механизме обрушения пород кровли при слоевой выемке Третьего калийного пласта / В.А. Губанов // Горная механика. – 2002. – № 3-4. – С. 50-64.
3. Исследование проявлений горного давления при слоевой выемке Третьего калийного пласта / В.А. Губанов [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2003. – Т. 8, № 1. – С. 84-92.
4. Губанов, В.А. Прогнозирование динамических проявлений горного давления при слоевой выемке калийных пластов / В.А. Губанов, А.Л. Поляков, Н.А. Дакуко // Горный информационно-аналитический бюллетень. Региональное приложение Белоруссия. – 2006. – Вып. 1. – С. 156-165.

5. Способ снижения динамических проявлений труднообрушаемой кровли на призабойное пространство / В.Я. Щерба [и др.] // Горная механика. – 2006. – № 1. – С. 68-74.

6. Губанов, В.А. Об одном из возможных способов снижения динамических проявлений горного давления при слоевой выемке Третьего калийного пласта / В.А. Губанов, А.К. Саяпин, И.А. Подлесный // Горная механика. – 2006. – № 3. – С. 92-98.

7. Опыт разупрочнения кровли валовых лав на рудниках Старобинского месторождения в начальной стадии отработки выемочных столбов / Б.И. Петровский [и др.] // Горная механика. – 2006. – № 4. – С. 50-55.

8. Волков, Б.А. Пути повышения эффективности управления кровлей при слоевой выемке Третьего калийного пласта на Старобинском месторождении / Б.А. Волков, Б.И. Петровский // Минеральные ресурсы и человек: сб. докл. междунар. конф., Варна, 17-19 сент. 2002 г. – С. 43-48.

9. Способ двухслоевой разработки мощного пологого пласта полезного ископаемого сложного строения: пат. 7653 Респ. Беларусь, МПК E21C41/00 / Б.А. Волков; заявитель ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством». – № а 20020007; заявл. 04.01.02; опубл. 30.12.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 4 (47), ч. I. – С. 207-208.

10. Исследование проявлений горного давления в подготовительных и очистных выработках при выемке подработанных и оставленных запасов в IV сильвинитовом слое и междустолбовом целике опытной лавой № 11-3 горизонта –620 м рудника 3 РУ ОАО «Беларуськалий» / В.А. Губанов [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 2. – С. 5-18.

11. Система контроля опасных обрушений кровли в лавах (СКОК-2) на рудниках ПО «Беларуськалий» / Б.А. Волков [и др.] // Горная механика. – 1998. – № 1. – С. 15-16.

12. Прушак, В.Я. Опыт применения автоматизированных систем мониторинга горного давления и прогноза опасных обрушений основной кровли в лавах калийных пластов Старобинского месторождения / В.Я. Прушак, А.А. Гарнишевский, А.А. Гавриков // Инновационное развитие горнодобывающей отрасли: материалы междунар. научн.-техн. интернет-конф., ГВУЗ «Криворожский национальный университет», 14 дек. 2016 г. – Кривой Рог, 2016. – С. 89.

13. Способ оповещения об опасных обрушениях кровли в лавах и устройство для осуществления способа: пат. 1234 Респ. Беларусь, E21C39/00 / Б.А. Волков, П.А. Калугин, А.С. Кириченко, В.А. Сычевский, В.И. Щербина, Б.И. Петровский; заявитель Институт проблем ресурсосбережения. – № 1020 А; заявл. 20.11.93; опубл. 14.06.96 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведомства Рэсп. Беларусь. – 1996. – № 2. – С. 113.

14. Гавриков, А.А. Автоматизированная система управления и контроля горного давления, результаты работы и анализ полученных экспериментальных данных / А.А. Гавриков, А.Н. Курчевский, О.Э. Хаустович // Горная механика. – 2002. – № 1. – С. 71-80.

15. Гавриков, А.А. Опыт, некоторые результаты эксплуатации и перспектива развития автоматизированной системы управления и контроля горного давления в очистных забоях / А.А. Гавриков, А.Н. Курчевский, О.Э. Хаустович // Горная механика. – 2005. – № 2. – С. 19-26.

16. Новая автоматизированная система контроля горного давления в очистных забоях и перспективы развития технологии управления кровлей лав / А.А. Гавриков [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 6. – С. 7-14.

17. Система наблюдения за давлением EH-PressCater [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.korex.com.pl/upload/user/ELGOR_2014/RU/A/RU_EH_PressCater_Korex.pdf. – Дата доступа: 30.07.2018.

Petrovsky B.I., Harnisheuski A.A., Gavrikov A.A., Shafikau M.G., Kurcheuski A.N.

Use of automated systems for monitoring rock pressure (SMGD) with the software PrOK for forecasting dangerous roof collapse in layered lavas. Part 1. Creating SMGD with the function of forecasting dangerous roof collapse in the layered lavas of the Third potash horizon

Mining pressure monitoring systems (SMGD) with a forecast function for dangerous roof collapse are described, applied at different times during the development of the layer of the Third potash horizon of the Starobinsky deposit by layered lavas and their shortcomings are noted. The software for forecasting dangerous roof collapse (software) has been developed, the feature of which is the use of a new software module that combines the interface and data processing techniques of all SMGD fields used in the field. The structure of the automated SMGD PressCater of Polish production with the software and hardware of the PrOK. The algorithm of the PrOK software is developed, including the forecast of dangerous roof collapse on the totality of reports and reports on the dangerous development of rock pressure. In addition, for the forecast, a method of visual analysis of the nature of the loading of the face support in each cycle of clearing works was used.

Keywords: layered excavation, lava, monitoring system for rock pressure, software module, forecast algorithm for dangerous roof collapse, software PrOK.

Поступила в редакцию 03.08.2018 г.

УДК 504.06+622.2+661.833.321

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОБЫЧИ И ПРОИЗВОДСТВА ПОВАРЕННОЙ ПИЩЕВОЙ СОЛИ

Капитонец Е.Ю. (РУП «Бел НИЦ «Экология», г. Минск, Беларусь), Басалай И.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В работе рассмотрены особенности добычи поваренной соли бассейновым (самосадочным), подземным (шахтным или скважинным) способами, а также технологии ее переработки, применяемые в странах СНГ. Изучены основные виды воздействий, оказываемых на компоненты окружающей среды производственной деятельностью по добыче и переработке поваренной пищевой соли.

Ключевые слова: поваренная соль, шахтный способ добычи, скважинный способ добычи, метод вакуум-выпарки, воздействие на окружающую среду.

Введение

Каждая страна мира в том или ином объеме ведет добычу и переработку поваренной пищевой соли. На рынке поваренной пищевой соли стран СНГ основными производителями данного продукта являются предприятия России, Беларуси, Украины, Казахстана и Туркмении. Применяемые технологии производства поваренной пищевой соли в данных странах зависят в первую очередь от типа и характера месторождения соли, его географического положения, от качества исходного сырья и присутствия различных примесей, а также от требований потребителя к качеству соли.

В настоящее время производство поваренной пищевой соли основывается на различных способах ее добычи и переработки, и мировой рынок ее растет по оценкам специалистов на 1 % в год. Вместе с тем растет и техногенное воздействие на окружающую среду, которое вносит свой отрицательный вклад в ухудшение ее состояния [1].

В связи с этим, целью данной работы является изучение особенностей производства поваренной пищевой соли, а также анализ основных воздействий его на окружающую среду.

Основная часть

На территории стран СНГ применяются бассейновый (самосадочный) и подземный (шахтный и скважинный (подземное выщелачивание)) способы добычи поваренной соли. От вида получаемого сырья (твердая соль (каменная) или хлоридно-натриевый рассол) зависит технология ее переработки.

Бассейновый (самосадочный) способ добычи поваренной соли и технология ее переработки. Бассейновый способ используется для добычи самосадочной (озерной) соли, образующейся в воде морей и озер. В результате естественного испарения под действием солнечного тепла летом или в результате охлаждения зимой на соленых озерах и лиманах происходит кристаллизация солей. Исходным сырьем для производства соли является рапа.

Добыча самосадочной соли может производиться ручным и механическим способами. Ручной способ добычи соли требует тяжелого физического труда. Поэтому на крупных соляных промыслах при значительной толщине слоя соли используют исключительно механические способы добычи соли: применяют скреперы, тракторные погрузчики, бульдозеры, одно- или многоковшовые экскаваторы, солесосы (солекомбай-

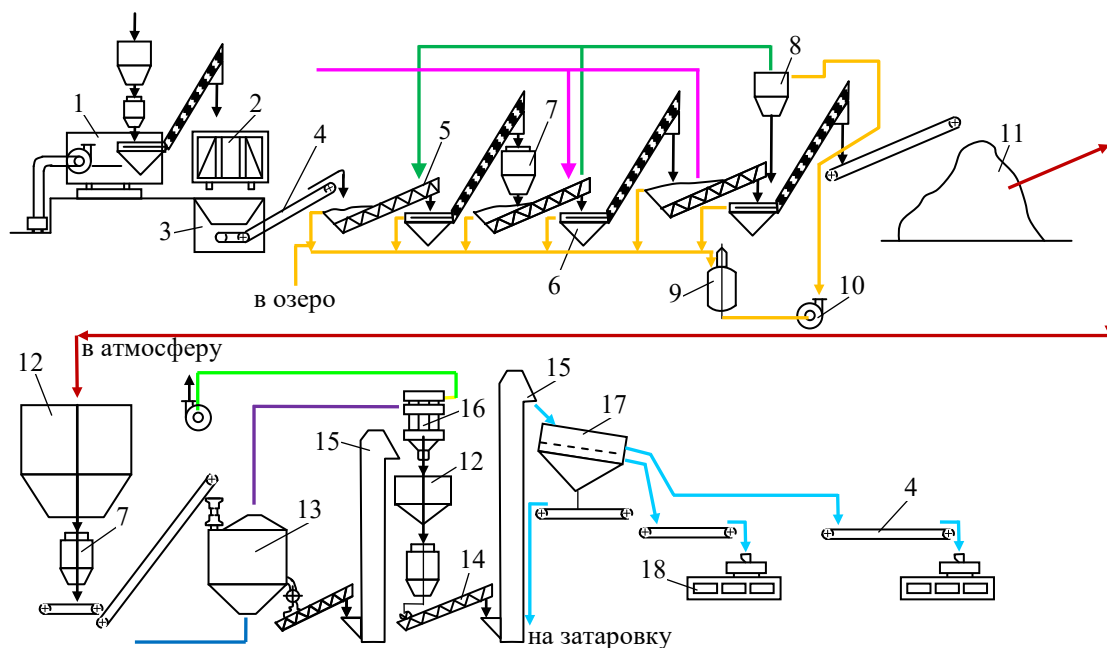
ны). Технологические схемы добычи соли включают процессы разрушения пласта, подборки разрушенной соли, обогащения, обезвоживания, погрузки и транспортирования [2].

В странах СНГ бассейновая добыча соли осуществляется следующими предприятиями: в России (оз. Баскунчак, Бурлинское) ОАО «Бассоль» и Бурлинским солепромыслом, (оз. Сиваш) Крымский содовый завод и ПК «Галит»; в Казахстане (оз. Джаксы Клыч, Калкаман, Таволжан, Индер) комбинат «Аралсоль» и ТОО «Павлодарсоль»; в Туркмении (оз. Куули) комбинат «Куулисоль».

Следует отметить, что на всех этих месторождениях технологии добычи и переработки соли принципиально не отличаются.

Например, на Крымском содовом заводе рапу (насыщенный раствор соляных озер) забирают в специально подготовленные бассейны. Там вода отстаивается, и под воздействием солнца ненужные примеси оседают, а лишняя влага испаряется. Затем проводится вторичная очистка соляного раствора от неблагоприятных примесей. В результате испарения озерной воды под действием солнца и ветра вода выпаривается и остается слой соли до 11 сантиметров [3].

На рисунке 1 представлена технологическая схема добычи и переработки озерной соли на предприятии ОАО «Бассоль» (Россия), где указаны направления движения основных компонентов данного процесса, таких как рапа из озера, рассол после промывки, промывной рассол, влажная соль, очищенный воздух, аэросмесь, горячий воздух, сухая смесь [4].



- рапа из озера; — рассол после промывки; — промывной рассол; — влажная соль;
 — очищенный воздух; — аэросмесь; — горячий воздух; — сухая смесь;
 1 – солекомбайн; 2 – вагон; 3 – завальная яма; 4 – ленточный конвейер; 5 – корытная мойка; 6 – ковшовый элеватор; 7 – дробилка; 8 – гидроциклон; 9 – емкость с мешалкой;
 10 – насос; 11 – бугор соли; 12 – бункер; 13 – сушилка; 14 – винтовой конвейер;
 15 – элеватор; 16 – циклон; 17 – грохот; 18 – фасовочный автомат

Рисунок 1. – Технологическая схема добычи и переработки поваренной соли на ОАО «Бассоль»

Технологическая схема фабрики по переработке озерной соли на предприятии ТОО «Павлодарсоль» (Казахстан) состоит из участка обогащения, помола соли, сушки соли, участка заполнения и отгрузки, участка отгрузки соли навалом, склада соли.

Технологические схемы переработки озерной соли ТОО «Павлодарсоль» и ОАО «Бассоль» похожи, основными процессами в них являются: обогащение соли, ее измельчение и сушка.

Шахтный способ добычи поваренной соли и технология ее переработки. При данном способе добычи соли применяется панельная или этажная выработка. При панельном способе на месторождении каменной соли создаются два или более шахтных ствола круглого сечения. По ним передвигаются два клетьевых подъемника, перемещающих людей, механизмы, инструменты и т.п. Здесь же размещаются скиповые подъемники, которые транспортируют добытую продукцию.

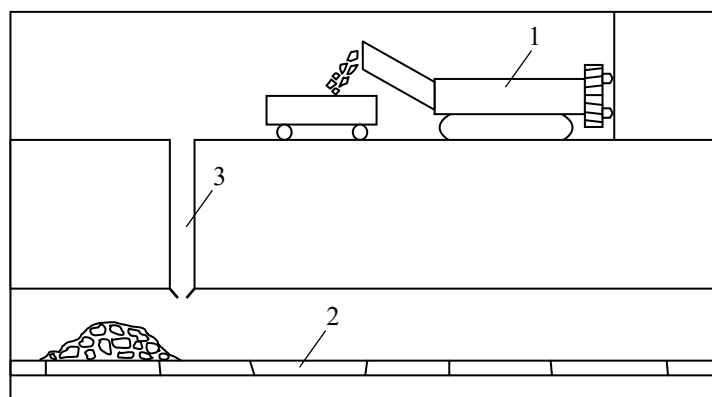
При этажном способе добычи пласт разрабатывается на отдельных «этажах» снизу вверх или сверху вниз. Важное условие для организации высокой производительности и сохранения безопасности при этом способе добычи каменной соли – правильное вентилирование шахты, которое обеспечивает своевременное отведение отработанного воздуха на поверхность.

Панельным способом добывают поваренную соль в Украине, Беларуси и России, где применяется камерная система разработки месторождения.

Добыча соли в камерах осуществляется двумя способами: выемкой камерных запасов соли при помощи буровзрывных работ и комбайновым (машинным) способом без применения буровзрывных работ.

Например, на ОАО «Беларуськалий» и ГП «Артемсоль» применяют комбайновый способ добычи.

В условиях Артемовского солерудника отработка камерных запасов соли ведется сверху вниз послойно на всю высоту камеры (рисунок 2). Добыча каменной соли в камерах осуществляется соледобычными машинами со специальной режущей головкой, на которой установлены резцы. Добытая в камере каменная соль транспортерами доставляется к стволу для последующего подъема на поверхность [2, 5].



1 – комбайн; 2 – скребковый конвейер; 3 – солеспускные скважины

Рисунок 2. – Схема комбайновой добычи соли на Артемовском солеруднике

На примере ОАО «Беларуськалий» рассмотрим технологическую схему производства поваренной пищевой соли, добытой шахтным способом, которая представлена на рисунке 3.



Рисунок 3. – Технологическая схема производства пищевой соли на ОАО «Беларуськалий»

Добыча каменной соли производится на 1 Рудоуправлении, затем добытая каменная соль транспортируется на обогатительную фабрику для переработки.

Технологический процесс производства соли каменной поваренной пищевой на ОАО «Беларуськалий» включает в себя операции, представленные на схеме (рисунок 3) [6].

На ОАО «Тыретский солерудник» (Россия) также добывают соль шахтным способом. Добыча соли в шахте производится на глубине 580 м с помощью горнопроходческих комбайнов, добытая соль транспортируется на солефабрику. Технология переработки соли включает такие этапы как: многоступенчатое измельчение, сепарация или грохочение, обеспыливание для долгого хранения и предотвращения слеживания, совмещенное с сушкой, обогащение йодирующей добавкой KIO_3 .

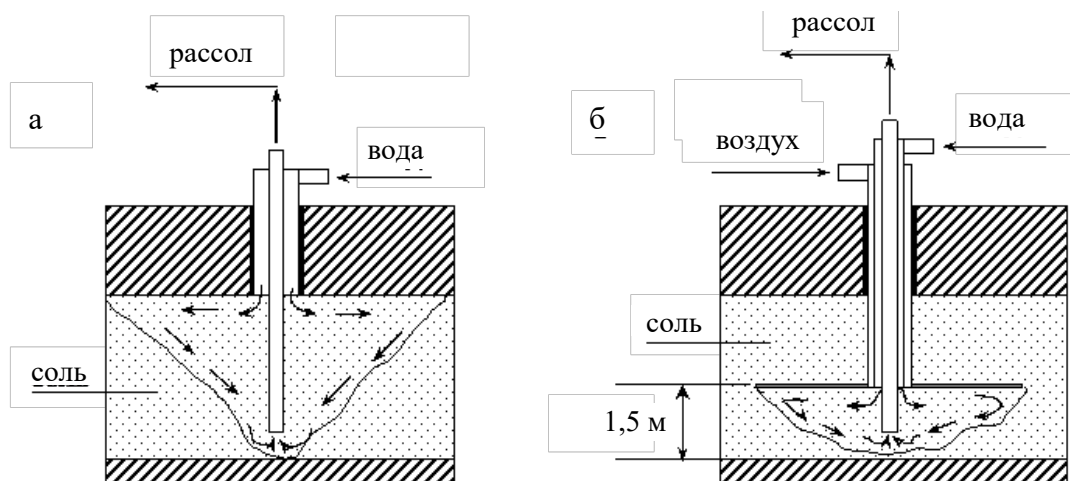
Технологический процесс добываемой шахтным способом соли на месторождении Илецкая соль ЦДПС Илецксолев ООО «Руссолев» не требует дополнительного обогащения добываемой соли, и поэтому ее переработка заключается в дроблении на

валцевых станках и сортировке по помолам методом грохочения [7, 8].

Добыча поваренной соли скважинным способом (подземное выщелачивание) и технология ее переработки. Данный метод добычи используется в тех случаях, когда пласты соли, залегающие в недрах Земли, размывают грунтовые воды, при этом образуется естественный подземный солевой рассол. Такие рассолы могут извлекаться на поверхность через колодцы или буровые скважины.

Образование соляных рассолов возможно при систематическом орошении водой и постепенном размывании подземных камер в солевом пласте, или затоплении камер. В таком случае, образующийся концентрированный рассол выкачивается насосами.

Также применяют более совершенный способ выщелачивания через буровые скважины. Данный способ заключается в том, что в скважину, закрепленную колонной стальных обсадных труб диаметром 150-250 мм, вставляется труба меньшего диаметра (75-100 мм). По одной из этих труб с помощью центробежного насоса высокого давления (20-25 атм.) в пласт соли нагнетается вода. Она растворяет соль и в виде рассола выдавливается на поверхность по другой трубе. Различают два режима работы скважин – противоточный, когда воду подают по наружной трубе, а рассол поднимается на поверхность по внутренней (рисунок 4а), и прямоточный, когда по внутренней трубе подают воду, а рассол выдавливается по наружной трубе. Более совершенной является эксплуатация скважин с гидроврубом (рисунок 4б). В этом случае вместе с водой в скважину нагнетают воздух или нефть [2].



а – противоток; б – гидровруб

Рисунок 4. – Схема выщелачивания пласта соли через буровую рассольную скважину

На территории России основным производителем поваренной пищевой соли, добываемой методом выщелачивания, является ЦДПС Усолъе ООО «Руссоль». Процесс добычи и переработки выварочной соли сорта «Экстра» насчитывает несколько этапов: добыча рассола, его очистка, выварка, сушка и фасование готового продукта (рисунок 5).

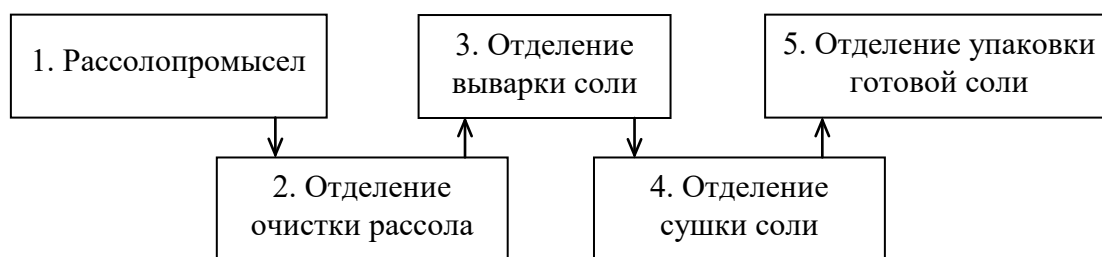


Рисунок 5. – Технологическая схема производства выварочной соли на ЦДПС Усолъе ООО «Руссоль»

Пласты соли вскрывают буровыми скважинами, средняя глубина которых доходит до 1380 метров. По специальной колонне подается вода, которая размывает соляной пласт. Насыщенный солью рассол в концентрации 305-315 г/л поднимается на поверхность по рассолозаборной колонне и поступает в отделение химической очистки. Там из него удаляют посторонние примеси. Очищенный рассол попадает в отделение выварки соли. Выпаренная соль отправляется на сушку и затем попадает в отделение упаковки и отгрузки соли [8].

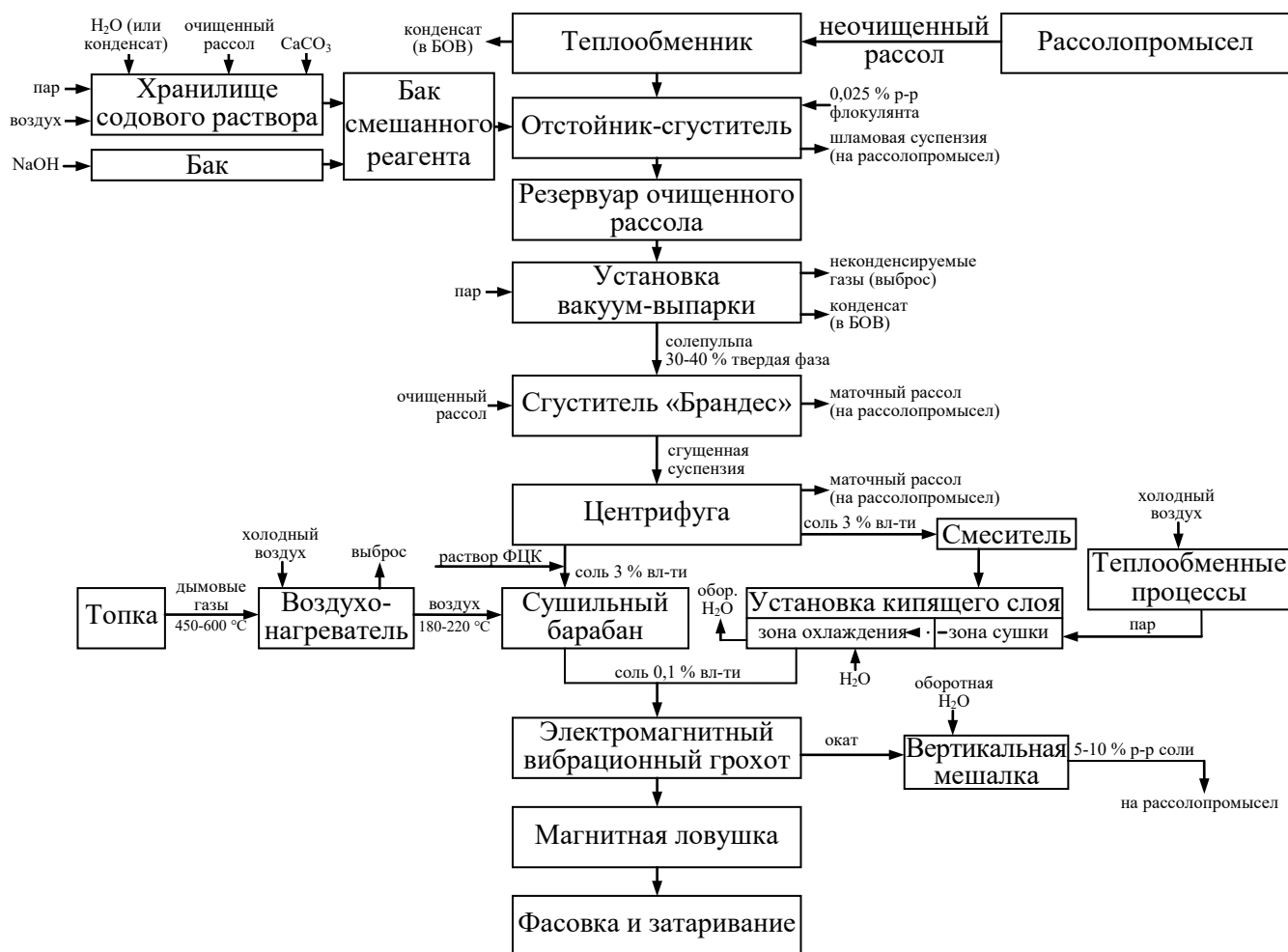
В настоящее время ведется реализация проекта по освоению Белбажского месторождения каменной соли ПАО «Соль Руси» (Россия). Осуществляется ввод в эксплуатацию объектов по добыче и производству поваренной пищевой соли из хлоридно-натриевых рассолов. Разработку месторождения предусмотрено выполнять методом подземного выщелачивания соляного пласта с последующей очисткой и транспортировкой рассола по трубопроводу в отделение выпарки солезавода.

Технология производства соли из сырого рассола, полученного методом подземного растворения, состоит из двух основных производственных стадий: стадия предварительной очистки сырого рассола; производство на солевыварочном заводе товарного продукта (соль экстра) из очищенного кондиционного рассола.

Первая стадия производства осуществляется на промплощадке рассолопромысла в отделении предварительной очистки сырого рассола. Продуктами переработки на этой стадии станут очищенный рассол, представляющий собой кондиционный продукт для дальнейшей переработки, и шламы, которые складываются в виде отходов.

На второй стадии производства, которая осуществляется на солевыварочном заводе, используется ряд технологических процессов – выпаривание, обезвоживание, сушка и упаковка готового продукта [9].

Рассмотрим процесс добычи и переработки поваренной пищевой соли в Республике Беларусь на ОАО «Мозырьсоль». Технологическая схема производства пищевой соли методом вакуум-выпарки на ОАО «Мозырьсоль» представлена на рисунке 6.



БОВ – бак осветленной воды; ФЦК – ферроцианид калия

Рисунок 6. – Технологическая схема производства пищевой соли на ОАО «Мозырьсоль»

Получаемые хлоридно-натриевые рассолы транспортируются на основную производственную площадку, где он проходит стадию очистки от солей жесткости и механических примесей в отделении рассолоочистки.

Очищенный рассол подается в отделение выпаривания, в результате чего получается солепульпа, которая проходит дальнейшие стадии сгущения, центрифугирования и сушки.

Сгущение солепульпы происходит в емкостях-сгустителях, куда для промывки соли от маточного рассола подается очищенный рассол.

Выделение твердой фазы осуществляется на фильтрующих горизонтальных центрифугах с пульсирующей выгрузкой осадка.

Сушка влажной соли происходит в прямоточных сушильных барабанах. Соль влажностью 0,1 % проходит через электромагнитные вибрационные грохота для удаления крупных частиц соли (более 1,2 мм) и комков.

Высушенная соль системой конвейеров поступает в цех фасовки и затаривания, где осуществляется введение специальных добавок и упаковка продукции в зависимости от конъюнктуры рынка и потребительского спроса [10].

Рассмотрев различные технологии производства поваренной пищевой соли, необходимо отметить, что физическое состояние исходного продукта требует определенных способов переработки. В твердом состоянии соль добывается бассейновым и шахтным способами, основными технологическими стадиями переработки которых являются ее измельчение до необходимого помола, классификация (обеспыливание), на некоторых производствах применяются производственные стадии очистки соли посредством промывания, а также обогащения.

Более сложным технологическим процессом является производство поваренной пищевой соли добытой скважинным способом, так как на данном производстве, кроме вышеперечисленных операций, необходим процесс выпаривания соли из хлоридно-натриевого рассола, что влечет за собой использование выпарных аппаратов и сушильных установок.

Анализ воздействий на окружающую среду предприятий по добыче и производству поваренной пищевой соли. Неизбежным следствием любого производства является нарушение естественного баланса в окружающей природной среде. Воздействие на окружающую среду при добыче поваренной соли определяется изъятием из окружающей среды:

- земельных ресурсов – пространственно-территориальных в границах земельного отвода;
- водных ресурсов – забор подземных вод для целей хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения;
- ресурсов растительного мира – уничтожение растительного слоя почв и травяной растительности;
- полезных ископаемых – добыча соли.

Любой способ добычи каменной соли значительно влияет на природную среду. Основное воздействие добыча поваренной соли различными способами оказывает на земельные ресурсы и почву (таблица 1).

Анализ влияния производства поваренной соли на окружающую среду показал, что процессы (источники) воздействия технологий производства соли из твердого исходного сырья, а это добыча соли бассейновым и шахтным способами, являются схожими. Есть некоторые различия, однако они зависят от используемой технологии производства, в частности, это касается процесса промывки соли, который на отдельных предприятиях отсутствует. Воздействия на окружающую среду от данной технологии и технологии производства соли из хлоридно-натриевых рассолов (методом вакуум-выпарки) представлены в таблице 2.

Таблица 1. – Воздействия на земельные ресурсы и почву при добыче поваренной пищевой соли

Способ добычи поваренной соли	Воздействия на земельные ресурсы и почву
бассейновый	- нарушение рельефа местности; - водная и ветряная эрозия; - загрязнение почв различными химическими соединениями (например, NaCl).
подземный (шахтный и скважинный способ)	- образованием отвалов пустой породы; - просадка грунтов, оседание земной поверхности над отработанными шахтными полями; - нарушение рельефа; - размещение рассолохранилища, как источника воздействия на земельные ресурсы (почву) (при добыче соли подземным выщелачиванием); - загрязнение почв различными химическими соединениями (например, NaCl).

Таблица 2. – Влияние технологий производства поваренной пищевой соли на окружающую среду

Технология производства поваренной пищевой соли	Технологический процесс	Воздействие на окружающую среду	Результат воздействия
1	2	3	4
из твердого исходного сырья	1 измельчение, обеспыливание, сушка, грохочение, транспортирование, фасовка, затаривание	выделение в атмосферный воздух и область рабочей зоны хлорида натрия (поваренная соль) в виде пыли	загрязнение атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны
	2 промывка исходного сырья (добытой соли) (не во всех технологиях)	потребление водных ресурсов, образование сточных вод, загрязненных NaCl, сброс сточных вод	потребление водных ресурсов; загрязнение поверхностных и подземных вод
	3 приготовление флокулянтов и других растворов согласно технологии		
	4 выделение хлоридно-натриевой пыли в результате пункта 1	образование отходов в результате накопления хлоридно-натриевой пыли	загрязнение окружающей среды
	5 технологические процессы производства	потребление сырьевых и энергетических ресурсов	изъятие сырьевых и энергетических ресурсов

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
из хлоридно-натриевых рассолов (методом выкуум-выпарки)	1 выпаривание, обеспыливание, сушка, грохочение, измельчение, транспортирование, фасовка, затаривание	выделение в атмосферный воздух и область рабочей зоны хлорида натрия (поваренная соль) в виде пыли	загрязнение атмосферного воздуха
	2 выделение хлоридно-натриевой пыли в результате пункта 1	образование отходов в результате накопления хлоридно-натриевой пыли	загрязнение окружающей среды
	3 обслуживание скрубберов, насосов, центрифуг, и другого оборудования	потребление водных ресурсов, образование сточных вод, загрязненных NaCl, возврат в систему / направление на объекты водоотведения	потребление водных ресурсов; загрязнение поверхностных и подземных вод
	4 приготовление флокулянтов и растворов для рассолоочистки		
	5 технологические процессы производства	потребление сырьевых и энергетических ресурсов	изъятие сырьевых и энергетических ресурсов
	6 химическая очистка исходного сырья (рассола)	образование шламовой суспензии	накопление отходов производства в шламохранилище
	7 эксплуатация шламохранилища	образование избыточных рассолов и их фильтрация	изъятие земель; загрязнение поверхностных, подземных вод, почв

Изучение технологий добычи и производства поваренной пищевой соли, а также анализ воздействия их на окружающую среду позволили выявить, что из исследуемых технологий наибольшую нагрузку на окружающую среду оказывает производство, основанное на выпаривании хлоридно-натриевых рассолов. Оно влечет за собой выбросы в атмосферный воздух в виде хлоридно-натриевой пыли, вовлечение большого количества водных и энергетических ресурсов, образование шламовых отходов, складированных в шламонакопитель, который, в свою очередь, также является объектом воздействия на окружающую среду.

Заключение

Изучив особенности производства поваренной пищевой соли и влияния добычи и переработки поваренной пищевой соли на окружающую среду, следует отметить, что данная деятельность оказывает влияние на многие природные компоненты, что влечет за собой ухудшение состояния окружающей среды.

В связи с этим главной экологической задачей развития горнодобывающей промышленности является внедрение современных и экологичных способов и технологий разработки и добычи поваренной соли, а также малоотходных (безотходных), ресурсо- и энергосберегающих технологий ее переработки.

Подход к решению экологических проблем должен быть комплексным, включающим долговременные и плановые мероприятия, направленные на все сферы жизни общества.

Список использованных источников

1. Рынок пищевой соли в России. Исследования рынков, бизнес-планы, комплексная информационная поддержка Вашего бизнеса «ГидМаркет». – М., 2015. – 15 с.
2. Способы добычи и очистки поваренной соли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newchemistry.ru/printletter.html>. – Дата доступа: 14.05.2018.
3. Крымские производители намерены увеличить добычу соли и выйти на экспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2018/03/13/reg-ufo/v-krymu-namereny-uvelichit-dobychu-soli-i-vyjti-na-eksport.html>. – Дата доступа: 14.05.2018.
4. Озерная добыча соли // Горная Промышленность. – 1996. – № 4. – С. 3-8.
5. Нагорный, В.П. Соль Земли / В.П. Нагорный, В.М. Глоба. – Киев: НАН Украины, Институт геофизики им. С.И. Субботина, 2013. – 154 с.
6. Технология производства технической, кормовой и пищевой соли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kali.by/production/technology/tehnologiya-proizvodstva-tehnicheskoy-kormovoy-i-pishchevoy-soli.html>. – Дата доступа: 14.05.2018.
7. Технология ОАО «Тыретский солерудник» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tiretsalt.ru/page/production/technology.html>. – Дата доступа: 15.05.2018.
8. Переработка соли – Руссольт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russalt.ru/pererabotka-soli.html>. – Дата доступа: 15.05.2018.
9. Компания «Соль Руси» – уникальное российское предприятие с инновационными промышленными технологиями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/company/10632-kompaniya-sol-rusi-unikalnoe-rossijskoe-predpriyatie-s-innovatsionnymi-promyshlennymi-tehnologiyami.html>. – Дата доступа: 15.05.2018.
10. Оценка воздействия на окружающую среду планируемой деятельности по объекту: «Реконструкция существующих мощностей ОАО «Мозырьсоль» с увеличением производительности до 480 тысяч тонн соли в год»: отчет о ОВОС (этап 2) / РУП «Бел НИЦ «Экология»; рук. В.В. Ходин и др. – Минск, 2013. – 78 с.

Капитонетс Е.Ю., Басалай И.А.

Technological and ecological peculiarities of common salt extraction and production

The article deals with the peculiarities of common salt extraction by the basin (salt) underground (mining or borehole) methods as well as the technologies of its processing used in the CIS countries. The main impacts on the environment exerted by the production of common salt are considered.

Keywords: common salt, mining, borehole mining, vacuum boil-off method, impact on the environment.

Поступила в редакцию 29.05.2018 г.

УДК 622.013.3(045)(476)

О ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОТЕНЦИАЛЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

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

В работе показан возможный способ оценки производственного потенциала и его основных показателей. Построена математическая модель развития региона, представленного комплексом компаний, осуществляющих добычу и переработку полезных ископаемых. Изучены условия роста производственного потенциала бассейна по добыче и переработке полезных ископаемых для ряда ситуаций и составлены соотношения между параметрами, влияющими на производственный потенциал.

Ключевые слова: *производственный потенциал, добыча полезных ископаемых, производительность месторождения.*

Введение

В Республике Беларусь добыча полезных ископаемых ведется во всех административных областях. Но масштабы извлечения различны по объему, экономическим результатам, различны и способы добычи. Разработка каждого месторождения (калийные соли, каменные соли, торф, нефть и т.п.) имеет технологические, экономические, социальные и другие особенности и оказывает влияние на экономику района, в котором она ведется. В этом отношении особое положение занимает разработка Старобинского месторождения калийных солей. Технологическое обеспечение ОАО «Беларуськалий», которое ведет добычу и переработку калийных руд, в настоящее время осуществляется рядом компаний, расположенных как в г. Солигорске, так и в других регионах Беларуси. Эти компании по приблизительным оценкам обеспечивают работой более десяти тысяч человек. Старобинское месторождение калийных солей не единственное в стране. В настоящее время начаты работы по разработке Петриковского месторождения в Гомельской области, а в перспективе – разработка Нежинского (Любаньский р-н) и Октябрьского месторождений. Разработка этих месторождений, прежде всего, обусловлена экономическими причинами, имеющими значение для всей страны. Главной из этих причин является расширяющиеся поставки калийных удобрений на мировые рынки. Внутренние потребности в таких удобрениях могут быть обеспечены одним из пяти действующих в объединении «Беларуськалий» рудников, расположенных на Старобинском месторождении. Мировой рынок калийных удобрений, где Беларусь является одним из лидеров, расширяется, поэтому освоение новых месторождений калийных руд и расширение производства калийных удобрений экономически оправдано и перспективно. Вместе с тем последствия добычи и переработки калийных руд с точки зрения экологической безопасности не всегда могут быть предусмотрены и, тем более, предупреждены.

Исследование и его результаты

Разработка моделей развития регионов, где добыча полезных ископаемых и их переработка составляет основную часть экономики, представляет важную научную и прикладную задачи. Еще более существенной проблемой является исследование таких моделей и их верификация в связи с недостаточностью информации об объектах иссле-

дования. Поэтому, нецелесообразно формировать математическую модель региона, охватывающую все стороны его жизни. Более рациональным представляется разработка и исследование комплекса моделей, и последующее обобщение результатов исследования этих моделей. Если поставить задачу прогнозирования развития региона на основе комплекса компаний, осуществляющих добычу и переработку полезного ископаемого, имеющегося в этом регионе, то, прежде всего, необходимо обозначить цель исследования и сформировать математическую модель для решения задачи. Эту модель можно построить путем формирования соотношений между рядом величин, характеризующих процесс функционирования бассейна по добыче и переработке полезного ископаемого. В качестве величин, определяющих процесс функционирования бассейна, можно выбрать:

B – запасы полезного ископаемого в бассейне;

B_i – запасы полезного ископаемого месторождения;

B_0 – начальные запасы полезного ископаемого в бассейне;

B_{i0} – начальные запасы полезного ископаемого месторождения;

G – извлеченные запасы бассейна;

G_i – извлеченные запасы месторождения;

Q – производительность бассейна по извлечению полезного ископаемого;

Q_i – производительность месторождения по извлечению полезного ископаемого.

Запишем некоторые очевидные соотношения:

$$B = \sum_1^n B_i; \quad B = B_0 - G; \quad B_i = B_{i0} - G_i;$$

$$G = \int_0^t Q dt; \quad G_i = \int_0^t Q_i dt; \quad Q = \frac{dG}{dt}; \quad Q_i = \frac{dG_i}{dt}, \quad (1)$$

где t – текущее время.

Эти соотношения характеризуют состояние бассейна добычи и переработки полезного ископаемого в настоящее время, а также в некоторой степени динамику его развития за период, предшествующий настоящему времени (рисунок 1).

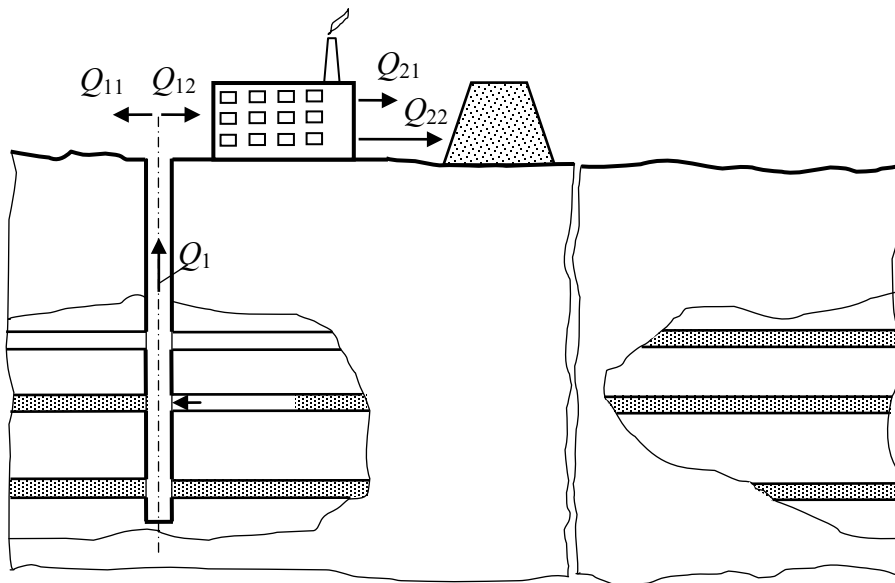


Рисунок 1. – Схема бассейна добычи полезного ископаемого

Рассматривая перспективы развития бассейна с возможностью сохранения и роста производственных и экономических характеристик, целесообразно оценить его потенциал. Под потенциалом бассейна или одной из горно-перерабатывающих компаний, ведущих разработку месторождений, понимается производственный потенциал, то есть некоторый комплекс показателей, характеризующих производственные, интеллектуальные и экономические возможности компании в конкретных условиях ее деятельности. К числу таких факторов, в первую очередь, относятся запасы полезного ископаемого, производственные мощности, возможность привлечения и подготовки специалистов, а также экономические результаты и экологические последствия добычи полезного ископаемого и его переработки.

Таким образом, производственный потенциал можно представить в виде некоторой функции этих характеристик:

$$P = f_p (B, M, L, \Phi), \quad (2)$$

где P – производственный потенциал;

B – запасы полезного ископаемого;

M – производственные мощности (техника и технологии);

L – производственный потенциал и менеджмент;

Φ – финансовые возможности бассейна с учетом затрат на ликвидацию и предупреждение экологических последствий.

Запасы полезного ископаемого в бассейне могут не только уменьшаться [1, 2], но также и возрастать за счет открытия новых месторождений. Далее считаем, разведка в бассейне завершена, и запасы полезного ископаемого только уменьшаются.

Производственные мощности включают два комплекса технологий и используемой техники: комплекс подготовки месторождений и добычи полезного ископаемого (выемка и первичный транспорт), комплекс переработки руды (обогащение, складирование, отгрузка). Эти комплексы в целом определяют производственные возможности бассейна по добыче и переработке полезного ископаемого, т.е. с ними напрямую связана теоретическая производительность бассейна. В первом приближении эту связь можно считать линейной [3, 4].

Производственный и управляющий персонал также непосредственно оказывает влияние на все составляющие производственного потенциала за исключением природных запасов полезного ископаемого. Расчет качественных и количественных характеристик персонала – наиболее сложная и едва ли объективно решаемая задача. Тем не менее, в рамках региона, где расположен бассейн, оценка качества производственного персонала может быть осуществлена сопоставлением уровня заработных плат в регионе. Финансовые возможности добывающих и перерабатывающих компаний определим с помощью внутренних (собственных) и внешних инвестиций, выделив в издержках производства отдельно экологический ущерб (затраты на устранение вредных экологических последствий деятельности горнодобывающих и перерабатывающих компаний).

Тогда финансовые возможности можно определить выражением:

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3 + \Phi_4, \quad (3)$$

где Φ_1 – общий доход от добычи и переработки полезного ископаемого в прогнозируемом периоде;

Φ_2 – издержки производства;

Φ_3 – затраты на ликвидацию и предотвращение экологических последствий добычи и переработки полезного ископаемого;

Φ_4 – инвестиции.

Конечно, наиболее интересными являются задачи прогнозирования развития бассейна на некоторый период. Подобные задачи нельзя считать полностью определенными. Это обусловлено тем, что их решение определяется не только начальными условиями (производственным потенциалом в настоящее время), но и целым рядом показателей этого потенциала, которые являются не всегда предсказуемыми и, в этом смысле, случайными. Мало того, характеристики этих показателей могут быть найдены лишь приближенно путем обработки статистических данных о функционировании бассейна за период от начала добычи до настоящего времени.

Полученные таким образом данные можно с некоторой степенью вероятности экстраполировать и на прогнозируемый период времени.

Если считать, что в прогнозируемом периоде цены остаются постоянными, то общий доход определяется соотношением:

$$\Phi_1 = C_1 \cdot G_{11} + C_2 \cdot G_{21}, \quad (4)$$

где C_1 – цена единицы руды, если руда продается;

C_2 – цена единицы продуктов переработки;

G_{11} – объем продаваемой руды;

G_{21} – объем продаваемых продуктов переработки.

Объем полезного ископаемого G_{11} , который может быть реализован без переработки, может появиться в том случае, когда мощности по добыче превышают мощности переработки и, кроме того, есть спрос на руду. Такая ситуация маловероятна, но если в бассейне работают несколько компаний, то это может иметь место для каких-то отдельных компаний.

Объем конечного продукта для реализации:

$$G_{21} = (G_1 - G_{11}) K_u, \quad (5)$$

где K_u – коэффициент извлечения конечного продукта из руды.

Издержки производства Φ_2 зависят от объемов добычи и переработки полезного ископаемого, т.е. Φ_2 можно считать некоторой функцией Φ_1 и ряда других факторов, влияющих на производственный потенциал. В первом приближении будем считать:

$$\Phi_2 = K_\phi \cdot \Phi_1, \quad (6)$$

где K_ϕ – коэффициент пропорциональности, определяющий величину Φ_2 в зависимости от Φ_1 в прогнозируемом периоде.

Необходимо обратить внимание на то, что издержки производства обычно растут с течением времени, так как обычно сначала извлекается та часть полезного ископаемого, добыча которого менее затратна. Поэтому коэффициент K_ϕ с течением времени возрастает. Вместе с тем новые технические средства и технологии могут его снижать.

Затраты на ликвидацию и предотвращение вредных экологических последствий производства зависят от величины отходов добычи полезного ископаемого в прогнозируемом и предыдущих периодах. При линейных зависимостях между Φ_3 и этими величинами можно записать:

$$\Phi_3 = K_{\phi 1} \cdot G_1 + K_{\phi 2} (1 - K_u) G_{21}, \quad (7)$$

где $K_{\phi 1}$ – коэффициент, учитывающий затраты на исключение экологических последствий вследствие образования полостей в земной коре;

K_{32} – коэффициент, учитывающий затраты на минимизацию экологических последствий образования отходов.

Наконец, четвертая составляющая Φ_4 финансовых возможностей – инвестиций – зависит как от трех предыдущих, так и от целого ряда внешних и внутренних возможностей инвестирования в развитие бассейна. Тем не менее, имеющиеся статистические данные, экспертные оценки, интуитивные предположения и т.п. позволяют с некоторой степенью вероятности предположить величину всех этих инвестиций.

Все рассматриваемые в этой статье величины по своей природе различны. Поэтому для возможности их сопоставления должны быть выражены некоторой общей единицей измерения, за которую чаще всего принимаются финансовые единицы.

Считаем, что способы измерения этих величин в финансовых единицах известны. Для формирования математической модели, имитирующей развитие бассейна по добыче и переработке полезного ископаемого, установим некоторые соотношения между величинами, характеризующими развитие бассейна, и не отраженными в соотношениях (1). При этом предполагается, что рассматривается процесс нарастания производственного потенциала бассейна в прогнозируемом периоде $(t - t_n)$, т.е.:

$$\frac{dP}{dt} > 0, \quad (8)$$

где t_n – граница периода прогнозирования.

Если рассматривать P как функцию многих переменных, то это условие можно переписать в виде:

$$\frac{\partial P}{\partial B} \frac{dB}{dt} + \frac{\partial P}{\partial M} \frac{dM}{dt} + \frac{\partial P}{\partial L} \frac{dL}{dt} + \frac{\partial P}{\partial \Phi} \frac{d\Phi}{dt} > 0. \quad (9)$$

Так как вид функции (2), чаще всего, в прогнозируемом периоде неизвестен, то последнее условие в явном виде записать невозможно, однако некоторые свойства членов условия можно установить. Эти свойства можно рассматривать в некоторых ситуациях, например, при линейном виде зависимости (2), которую запишем в виде:

$$P = K_B \cdot B + K_M \cdot M + K_L \cdot L + K_\Phi \cdot \Phi, \quad (10)$$

где K_B, K_M, K_L, K_Φ – весовые коэффициенты, значения которых обычно устанавливаются методом экспертных оценок.

Тогда условие (8) принимает вид:

$$K_B \frac{dB}{dt} + K_M \frac{dM}{dt} + K_L \frac{dL}{dt} + K_\Phi \frac{d\Phi}{dt} > 0. \quad (11)$$

Учитывая, что $\frac{dB}{dt} < 0$ и считая остальные производные по времени положительными известными, имеем:

$$K_M \frac{dM}{dt} + K_L \frac{dL}{dt} + K_\Phi \frac{d\Phi}{dt} > K_B \frac{dB}{dt}. \quad (12)$$

Это условие роста производственного потенциала бассейна представляет гораздо более широкие возможности для его изучения. Например, при нулевых значениях производных $\frac{dL}{dt}$ и $\frac{d\Phi}{dt}$ производственный потенциал бассейна растет, если

$$K_M \frac{dM}{dt} > K_B \frac{dB}{dt}. \quad (13)$$

Это значит, что рост производственных мощностей, умноженных на коэффициент K_M должен в этой ситуации превышать произведение интенсивности снижения запасов на коэффициент K_B . Если рассматривать ситуации функционирования бассейна, когда отсутствуют другие источники роста производственного потенциала, то можно определить условия обеспечения его роста в некоторых ситуациях. Эти условия для ряда ситуаций следующие.

1. Отсутствуют возможности наращивания производственной мощности. В такой ситуации $\frac{dM}{dt} = 0$ и $\frac{d\Phi}{dt} = 0$. Тогда условие роста производственного потенциала:

$$K_L \frac{dL}{dt} > K_B \frac{dB}{dt}. \quad (14)$$

2. Производственные мощности снижаются, т.е. ситуации $\frac{dM}{dt} < 0$ и $\frac{d\Phi}{dt} < 0$. В этой ситуации производственный потенциал может расти лишь при выполнении условия:

$$K_L \frac{dL}{dt} > K_B \frac{dB}{dt} + K_M \frac{dM}{dt} + K_\Phi \frac{d\Phi}{dt}. \quad (15)$$

Выполнение такого условия вряд ли возможно в реальной действительности. В связи с тем, что снижение производственной мощности и отсутствие новых инвестиций не привлекает новый и, тем более, высококвалифицированный персонал.

3. Бассейн функционирует в условиях снижения производственного потенциала. Здесь также возможны несколько ситуаций, которые требуют специального исследования в зависимости от критериев и условий оптимального функционирования бассейна в таких условиях.

Как внутренние так и внешние инвестиции в добычу и переработку полезного ископаемого зависят от производительности бассейна и его месторождений, а запасы полезного ископаемого при этом сокращаются. Таким образом, с одной стороны, рост производительности стимулирует развитие производственных мощностей, а с другой стороны, снижает производственный потенциал. Это иллюстрируется графически на рисунке 2.

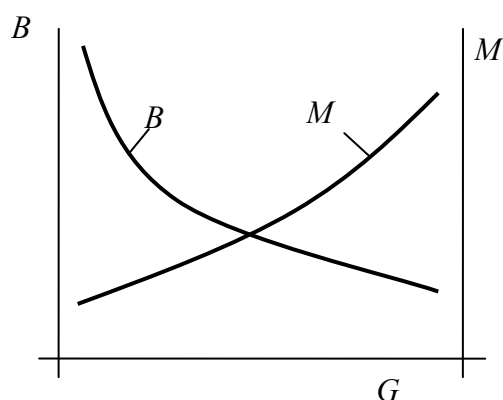


Рисунок 2. – Влияние извлечения полезного ископаемого на основные характеристики производственного потенциала

Кривые на рисунке 2 приведены в соответствии с соотношениями

$$B = B_0 - \int_0^t G(t) dt; \quad G = \int_0^t Q(t) dt;$$

$$M = M_0 + \int_0^t M(t) dt, \quad (16)$$

следующими из (1), и отображают изменение B и M лишь качественно.

Производственные мощности растут за счет внутренних и внешних инвестиций, которые, в первую очередь, зависят от производительности, а также от сокращающихся запасов полезного ископаемого.

Для горнодобывающих предприятий большое значение имеют издержки, связанные с мероприятиями по защите от экологических последствий добычи и переработки полезных ископаемых. При разработке соляных месторождений необходимо учитывать также агрессивную среду, в которой эксплуатируются производственные мощности, и высокие в связи с этим амортизационные отчисления. Как экологическая так и амортизационная части издержек производства определяются производительностью и рядом других условий. Кроме того, по мере снижения запасов полезного ископаемого издержки возрастают. Это является особенностью деятельности компаний, ведущих добычу полезных ископаемых. В связи с изложенным, целесообразно отдельно учесть эти издержки и их вклад в снижение производственного потенциала.

Полагая, что основным способом получения средств на эти издержки является повышение производительности, замечаем, что сохранение производственного потенциала бассейна или компании требует выполнения условия:

$$\frac{dQ}{dt} > 0. \quad (17)$$

Выполнение этого условия при достаточных запасах полезного ископаемого возможно путем наращивания производственного потенциала действующего производства и, прежде всего, за счет увеличения производственных мощностей. Другой путь увеличения производственного потенциала – освоение новых месторождений, что требует значительных инвестиций. Привлечение инвестиций – отдельная проблема, решение которой зависит от большого числа факторов, включающих финансовые, технические и другие условия. Эти условия здесь не исследуются.

Определяем основные условия первого пути. Так как (1)

$$B = B_0 - \int_0^t G dt,$$

то

$$\frac{dB}{dt} = -\frac{dG}{dt} = -Q, \quad (18)$$

где знак «−» указывает на то, что запасы полезного ископаемого уменьшаются.

Тогда для сохранения производственного потенциала в условиях отсутствия инвестиций необходимо выполнение равенства:

$$K_M \frac{dM}{dt} > K_B \frac{dG}{dt} = K_B \cdot Q. \quad (19)$$

Если при этом производительность сохраняется постоянной, то получаем значение затрат на производственные мощности, обеспечивающие выполнение этого условия:

$$M = Q \int_t^{t_n} \frac{K_B}{K_M} dt. \quad (20)$$

Соотношения (7-15) получены при условии, что производственный потенциал оценивается линейной функцией (10) четырех параметров, которые, к тому же, влияют друг на друга. Тем не менее, этот способ оценки производственного потенциала и его основных показателей позволяет проанализировать их изменения. Более надежная оценка может быть получена с использованием метода Монте-Карло. Для применения этого метода следует считать производственный потенциал P случайной величиной, зависящей от совокупности случайных величин, к которым необходимо отнести и коэффициенты K_B , K_M , K_L , K_Φ . Чтобы воспользоваться методом Монте-Карло, необходимо знать не только математические ожидания (усредненные значения) четырех характеристик производственного потенциала и упомянутых выше коэффициентов, но и за-

коны их распределения. Такие данные могут быть найдены путем статистической обработки результатов предшествующей деятельности компаний, эксплуатирующих бассейны, или результатов деятельности подобных компаний.

Такой способ исследования производственного потенциала возможен при наличии статистических данных о разработке месторождений бассейна. Возможно также исследование и прогнозирование развития бассейна путем установления функциональных зависимостей между величинами B , M , L и Φ , определяющими производственный потенциал P . Эти соотношения могут быть алгебраическими, дифференциальными и т.д. Условием возможности их использования является сведение этих соотношений в некоторую совместную систему уравнений. Такая система может быть применена для нахождения прогнозируемых значений параметров B , M , L и Φ , а также величины P .

Заключение

Представленная система может быть использована в качестве основы для имитационного моделирования развития производственного потенциала бассейна по добыче и переработке полезных ископаемых. Формирование таких функциональных зависимостей, а также сведение их в систему, нахождение решений и их анализ для конкретных бассейнов позволяют в совокупности рассмотреть все основные процессы, протекающие в различных областях внутренней среды предприятия, выработать системный взгляд на его деятельность, чтобы определить сильные и слабые стороны предприятия и на базе этого разработать стратегию повышения уровня использования его производственного потенциала и обеспечить рост конкурентоспособности и эффективности функционирования предприятий комплекса.

Список использованных источников

1. Карсунцева, О.В. Производственный потенциал предприятий машиностроения: оценка, динамика, резервы повышения / О.В. Карсунцева. – М.: Инфра-М, 2016. – 211 с.
2. Воронова, А.Е. Поддержка производственного потенциала предприятия / А.Е. Воронова, В.П. Пономарев, Г.И. Дибрис. – К.: Техника, 2000. – 152 с.
3. Смирнова, Т.Г. Развитие производственного потенциала сельского района / Т.Г. Смирнова, С.А. Селякова, Е.Н. Кожина; под ред. к.э.н. Т.В. Усковой. – Вологда: ИСЭРТ РАН, 2010. – 148 с.
4. Айвазян, С.А. Моделирование производственного потенциала на основе концепции стохастической границы. Методология, результаты эмпирического анализа / С.А. Айвазян, М.Ю. Афанасьев. – Изд.: Красанд, 2015. – 352 с.

Kazachenko G.V., Basalai R.A.

About the production potential of the enterprise mining and quarrying

The paper shows a possible way to assess the production potential and its main indicators. The mathematical model of the region development represented by a complex of companies engaged in mining and processing of minerals is constructed. The conditions for the growth of the production potential of the basin for the extraction and processing of minerals for a number of situations are studied and the correlations between the parameters affecting the production potential are drawn up.

Keywords: *production potential, extraction of minerals, field productivity.*

Поступила в редакцию 27.08.2018 г.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.793.044(045)(476)

**МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ, СОВМЕЩЕННОЕ
И КОМБИНИРОВАННОЕ НАКАТЫВАНИЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Шелег В.К. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Довгалев А.М., Сухоцкий С.А., Свирепа Д.М. (ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь)

В статье выполнен анализ существующих методов поверхностной упрочняющей обработки плоских поверхностей деталей, в том числе методов поверхностного пластического деформирования. Содержатся сведения о разработанных инновационных методах магнитно-динамического, совмещенного магнитно-динамического и комбинированного магнитно-динамического накатывания плоских поверхностей ферромагнитных деталей горно-шахтного оборудования. Представлены конструкции инструментов для реализации указанных методов, даны рекомендации по их применению в промышленности.

Ключевые слова: магнитно-динамическое накатывание, поверхностное пластическое деформирование, магнитная система, совмещенная обработка, деформирующие шары, импульсно-ударное деформирование, магнитное поле, наноразмерная субзеренная структура.

Введение

В горном машиностроении существует достаточно широкая номенклатура деталей, имеющих плоские рабочие поверхности, к качественным характеристикам и эксплуатационным свойствам которых предъявляются высокие требования. К числу таких деталей относятся: направляющие буровых установок, плиты, корпуса, клинья, сухари, ножи дробильных машин, пластины, скребки и др.

Для повышения износостойкости плоских поверхностей указанных деталей разработано большое количество методов поверхностного упрочнения: концентрированным потоком энергии (электронно-лучевая обработка, вакуумное ионно-плазменное упрочнение), лазерная обработка, плазменное и детонационное напыление, термическая и химико-термическая обработки, магнитная обработка (постоянным переменным и импульсным полем) и др. [1].

Однако многие из указанных методов поверхностного упрочнения сложны в реализации, осуществляются на специальном дорогостоящем оборудовании, имеют высокую трудоемкость и себестоимость или до настоящего времени не нашли широкого применения в машиностроении.

Особое место в отделочно-упрочняющей обработке плоских поверхностей отводится методам поверхностного пластического деформирования (ППД), которые являются универсальными, реализуются на обычном металлорежущем оборудовании, позволяют обеспечить упрочнение поверхностного слоя деталей и повысить их эксплуатационные свойства [2]. Среди методов ППД плоских поверхностей наибольший эффект упрочнения деталей обеспечивают динамические методы: обработка дробью, виб-

ронакатывание, вибровыглаживание, ультразвуковая, центробежно-ударная, пневмовибродинамическая обработки и др. [3, 4]. В тоже время и динамическим методам ППД характерны свои недостатки: для сообщения колебаний деформирующим элементам используются достаточно сложные технологические системы; имеет место относительно невысокая интенсивность деформирования исходных микронеровностей поверхности; не всегда обеспечиваются требуемые характеристики упрочнения поверхностного слоя и эксплуатационные свойства поверхностей деталей.

В связи с этим актуальной технологической задачей является разработка инновационных методов ППД плоских поверхностей деталей горно-шахтного оборудования, не имеющих указанных выше недостатков.

В соответствии с поставленной задачей разработаны следующие эффективные методы отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей: магнитно-динамическое накатывание, совмещенное магнитно-динамическое накатывание, комбинированное магнитно-динамическое накатывание.

Магнитно-динамическое накатывание

Магнитно-динамическое накатывание (МДН) осуществляется деформирующими шарами, взаимодействующими с упрочняемой плоской поверхностью, получающими энергию импульсно-ударного деформирования от приводных шаров посредством вращающегося магнитного поля инструмента [5].

МДН, в отличие от известных динамических методов ППД, обеспечивает интенсивное деформирование шероховатости упрочняемой поверхности, увеличение характеристик упрочненного поверхностного слоя (в том числе глубины), имеет высокую производительность, реализуется на существующих типах фрезерных и продольно-строгальных станков, оснащенных фрезерными (шпиндельными) бабками для закрепления инструмента.

Схема реализации МДН плоских поверхностей с применением двухрядного инструмента изображена на рисунке 1 [6].

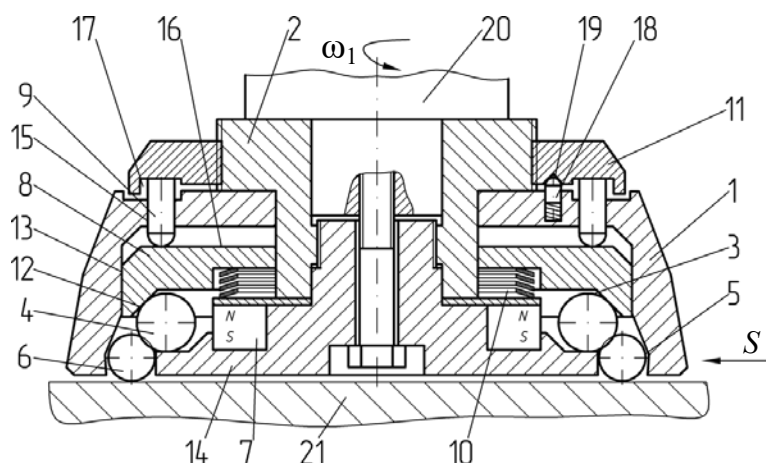


Рисунок 1. – Инструмент для МДН плоских поверхностей с устройством регулирования натяга между деформирующими и приводными шарами

Инструмент содержит: корпус 1 из немагнитопроводного материала; оправку 2; кольцевую камеру 3 с приводными шарами 4; кольцевую камеру 5 с деформирующими

шарами 6; кольцевой постоянный магнит 7 осевой намагниченности для разгона приводных шаров 4. В состав инструмента входит устройство регулирования натяга (величина перекрытия положения вершин деформирующих и приводных шаров, расположенная на отрезке, соединяющем их геометрические центры) между деформирующими 6 и приводными шарами 4, выполненное в виде направляющей втулки 8, толкателей 9, тарельчатых пружин 10 и лимба 11. На торце направляющей втулки 8 изготовлена внутренняя коническая поверхность 12 соосно оси инструмента. Направляющая втулка 8 установлена в отверстии 13 корпуса 1. Кольцевой постоянный магнит 7 закреплен на оправке 2 посредством стакана 14. Тарельчатые пружины 10 расположены между кольцевым постоянным магнитом 7 и торцом направляющей втулки 8. Толкатели 9, размещенные в аксиальных отверстиях 15 корпуса 1, одной стороной контактируют с торцом 16 направляющей втулки 8, а другой – входят в кольцевой паз 17 лимба 11. Лимб 11 установлен на оправке 2 и имеет возможность осевого перемещения посредством резьбового соединения. Для предотвращения произвольного поворота лимба 11 предусмотрен фиксатор 18, который закреплен в корпусе 1 и входит в одно из конусных отверстий 19 упомянутого лимба.

Инструмент работает следующим образом. Оправку 2 закрепляют в шпинделе 20, а обрабатываемую плоскую деталь 21 – на столе фрезерного станка. Оправке 2 сообщают вращение, а детали 21 – движение продольной подачи. Механическая энергия вращения оправки 2 передается приводным шарам 4 посредством магнитного поля, создаваемого кольцевым постоянным магнитом 7. В результате приводные шары 4 перемещаются в окружном направлении кольцевой камеры 3 с угловой скоростью ω_1 и периодически сталкиваются с деформирующими шарами 6. При этом последние под действием динамической силы от приводных шаров 4 внедряются в поверхность детали 21 и осуществляют ее многократное импульсно-ударное деформирование.

При переналадке инструмента на другой тип обрабатываемых деталей (или режим обработки) шпиндель 20 станка останавливают. Лимб 11 поворачивают относительно продольной оси инструмента на определенный угол. При повороте лимба 11 по часовой стрелке его торцовая поверхность давит на толкатели 9 и смещает на требуемую величину направляющую втулку 8. Внутренняя коническая поверхность 12 направляющей втулки 8 при этом изменяет радиальное положение приводных шаров 4, уменьшая величину их натяга с деформирующими шарами 6. Соответственно, при работе инструмента уменьшается и сила динамического воздействия деформирующих шаров 6 на обрабатываемую поверхность детали 21. Фиксатор 18 входит в конусное отверстие 19 и предотвращает вращение лимба 11 в процессе обработки. При повороте лимба 11 против часовой стрелки величина радиального расхождения приводных шаров 4 увеличивается, что приводит к увеличению натяга между шарами 4, 6 инструмента и силы динамического воздействия деформирующих шаров 6 на обрабатываемую поверхность детали 21.

Разработанный инструмент обеспечивает повышение производительности процесса упрочняющей обработки за счет уменьшения вспомогательного времени на его переналадку на другой динамический режим обработки. Инструмент позволяет регулировать силовые характеристики процесса упрочнения и тем самым управлять качеством обработки.

Однако метод МДН и инструмент для его осуществления не предусматривают комплексного энергетического воздействия на обрабатываемую плоскую поверхность ферромагнитной детали, что не в полной мере реализует эффект упрочняющей обработки.

Совмещенное магнитно-динамическое накатывание

Высокую эффективность отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей деталей обеспечивает разработанный метод совмещенного магнитно-динамического накатывания (СМДН). Согласно методу СМДН на поверхность ферромагнитной детали одновременно воздействуют вращающимся постоянным (переменным) магнитным полем и многократным импульсно-ударным деформированием [7-9]. Совмещение во времени процессов магнитной упрочняющей обработки и многократного импульсно-ударного деформирования обеспечивает положительное влияние процессов друг на друга и получение в поверхностном слое деталей наноразмерной субзеренной структуры, определяющей повышение их антифрикционных характеристик и эксплуатационных свойств.

Реализация метода СМДН на примере упрочнения плоских поверхностей ферромагнитных деталей с помощью комбинированного инструмента изображена на рисунке 2.

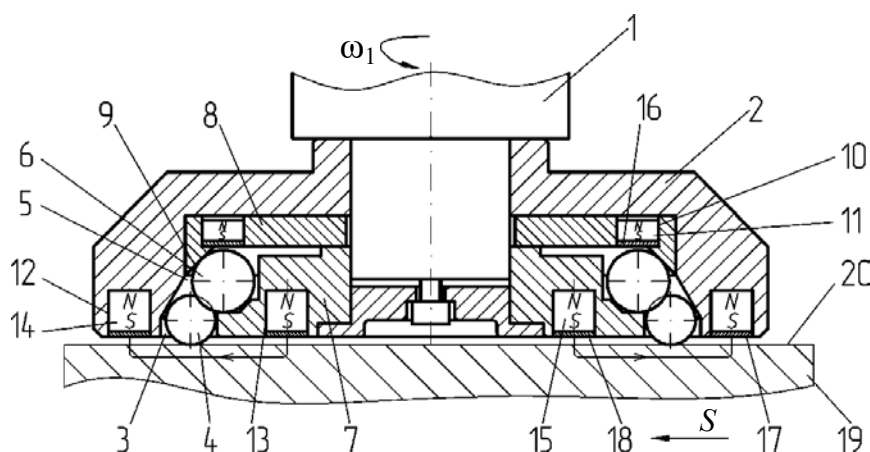


Рисунок 2. – СМДН плоских поверхностей ферромагнитных деталей комбинированным инструментом

Комбинированный инструмент для осуществления СМДН плоских поверхностей содержит оправку 1, корпус 2, кольцевую камеру 3 с деформирующими шарами 4, кольцевую камеру 5 с приводными шарами 6, стакан 7 и две магнитные системы. Первая магнитная система предназначена для разгона приводных шаров 6 и включает диск 8 с конической поверхностью 9 и аксиальными отверстиями 10, цилиндрические постоянные магниты 11, установленные в упомянутых аксиальных отверстиях. Другая магнитная система предназначена для воздействия вращающимся магнитным полем на плоскую поверхность ферромагнитной детали и состоит из установленных с равномерным угловым шагом в отверстиях 12, 13 цилиндрических постоянных магнитов 14, 15. С целью повышения долговечности цилиндрических постоянных магнитов 11, 14, 15 на их торцы нанесено тонкое пластмассовое покрытие 16, 17, 18. Все элементы инструмента (за исключением деформирующих 4 и приводных 6 шаров) выполнены из немагнитопроводных материалов.

Оправку 1 комбинированного инструмента устанавливают в шпинделе, а упрочняемую ферромагнитную деталь 19 с плоской поверхностью 20 закрепляют на столе фрезерного станка. Вертикальным перемещением стола станка деформирующие шары 4 вводят в контакт с упрочняемой поверхностью 20. Шпинделю сообщают вращение, а

столу станка – движение подачи. При вращении инструмента механическая энергия вращения оправки 1 передается приводным шарам 6 (посредством магнитного поля, создаваемого цилиндрическими постоянными магнитами 11). В результате приводные шары 6 разгоняются в окружном направлении кольцевой камеры 5 и периодически сталкиваются с деформирующими шарами 4. Под действием динамической силы от приводных шаров 6 деформирующие шары 4 внедряются в поверхность 20 детали 19 и осуществляют ее многократное импульсно-ударное деформирование. Одновременно с импульсно-ударным деформированием на поверхностный слой обрабатываемой ферромагнитной детали 19 действует вращающееся магнитное поле, создаваемое цилиндрическими постоянными магнитами 14, 15 (на рисунке 2 линии индукции магнитного поля показаны тонкими линиями). При установке в отверстиях 12, 13 цилиндрических постоянных магнитов 14, 15 с идентичным расположением полюсов N и S на элементарный участок обрабатываемой поверхности 20 детали 19 действует вращающееся постоянное магнитное поле. При установке цилиндрических постоянных магнитов 14 и 15 в отверстиях 12, 13 с чередованием полюсов N и S на элементарный участок поверхности 20 действует вращающееся переменное магнитное поле (с периодическим изменением направления линий индукции магнитного поля на 180°), что вызывает перемагничивание поверхностного слоя.

Комплексное магнитно-силовое воздействие на деформируемый слой металла способствует дроблению зерен до наноразмерной величины, увеличению числа дислокаций в структуре металла, способствует протеканию процессов диффузии и вызываемых ею фазовых и структурных преобразований в модифицируемом поверхностном слое упрочняемой детали 19. Таким образом, в результате СМДН в ферромагнитной детали 19 формируется модифицированный поверхностный слой с высокими качественными характеристиками и эксплуатационными свойствами.

Однако СМДН не предусматривает окончательную (финишную) упрочняющую обработку плоской поверхности ферромагнитной детали вращающимся магнитным полем, что несколько снижает глубину модифицированного поверхностного слоя.

Комбинированное магнитно-динамическое накатывание

Комбинированное магнитно-динамическое накатывание (КМДН) предусматривает последовательную упрочняющую обработку плоских поверхностей ферромагнитных деталей вращающимся постоянным (переменным) магнитным полем (опережающая магнитная обработка), многократным импульсно-ударным деформирующим и, в заключение, вращающимся постоянным магнитным полем (окончательная магнитная обработка) [9]. При комбинированном магнитно-динамическом накатывании имеет место особая модификация поверхностного слоя, при которой основная роль отводится магнитной упрочняющей обработке, а импульсно-ударному деформированию – вспомогательная функция, связанная с деформированием поверхностного слоя, уже измененного опережающей магнитной обработкой. При этом сказывается положительное влияние упомянутых процессов друг на друга, что приводит к увеличению диффузионных процессов в упрочняемом металле, активному протеканию фазовых и структурных преобразований в модифицируемом слое.

Для совмещения перечисленных процессов упрочняющей обработки в один переход технологической операции разработан инструмент, изображенный на рисунке 3.

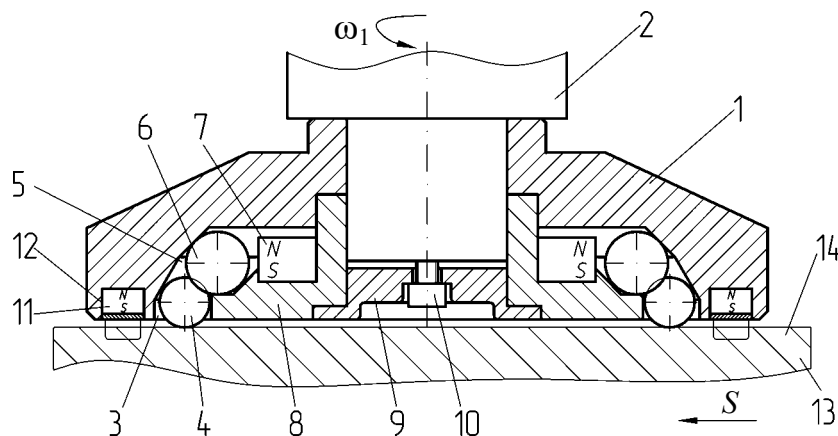


Рисунок 3. – Инструмент для КМДН плоских поверхностей ферромагнитных деталей

В состав инструмента входят: корпус 1, оправка 2, кольцевая камера 3 с деформирующими шарами 4, кольцевая камера 5 с приводными шарами 6, кольцевой постоянный магнит 7 (для воздействия на приводные шары 6), держатель 8, шайба 9, винт 10, цилиндрические постоянные магниты 11, установленные с равномерным угловым шагом в аксиальных отверстиях 12, выполненных в корпусе 1. Радиус расположения геометрических центров цилиндрических постоянных магнитов 11 превышает радиус расположения вершин деформирующих шаров 4. Все детали инструмента (за исключением деформирующих 4 и приводных 6 шаров) изготовлены из немагнитопроводных материалов.

Оправку 2 инструмента устанавливают в шпинделе, а деталь 13 закрепляют на столе фрезерного станка. Вертикальным перемещением стола станка вводят плоскую поверхность 14 детали 13 в контакт с вершинами деформирующих шаров 4, а затем устанавливают требуемую величину натяга между деформирующими 4 и приводными 6 шарами. Деталь 13 отводят в исходное положение. Инструмент вращают, а деталь 13 перемещают с подачей S . Первым на упрочняемую плоскую поверхность 14 воздействует вращающееся магнитное поле, создаваемое цилиндрическими постоянными магнитами 11, осуществляя первичную модификацию поверхностного слоя. Затем на упрочненную вращающимся магнитным полем поверхность воздействуют деформирующими шарами 4, осуществляющими импульсно-ударное деформирование. При этом деформирующие шары 4 получают энергию деформирования от приводных шаров 6 посредством вращающегося магнитного поля, создаваемого кольцевым постоянным магнитом 7. В процессе импульсно-ударного деформирования поверхностный слой детали 13 получает еще большую модификацию. Одновременно на плоской поверхности 14 формируется благоприятный маслоудерживающий микрорельеф в виде сетки пересекающихся микролунок от деформирующих шаров 4. При перемещении детали относительно инструмента на величину диаметра, определяющего расстояние между геометрическими центрами цилиндрических постоянных магнитов 11, окончательное воздействие на уже упрочненную плоскую поверхность 14 в очередной раз оказывает вращающееся постоянное или переменное магнитное поле, создаваемое цилиндрическими постоянными магнитами 11, тем самым осуществляя финишную упрочняющую обработку и окончательно модифицируя поверхностный слой детали 13.

Последовательно реализуемые упрочняющие воздействия позволяют получить на детали 13 модифицированный поверхностный слой на значительную глубину, обладающий высокими качественными и эксплуатационными свойствами.

Магнитно-динамическое накатывание рекомендуется для отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей деталей из цветных металлов и сплавов, а также из ферромагнитных деталей, к которым предъявляются средние требования к качественным характеристикам и эксплуатационным свойствам [9].

Совмещенное магнитно-динамическое накатывание приемлемо для упрочняющей обработки плоских поверхностей ферромагнитных деталей, к которым предъявляются высокие требования по износостойкости в связи с получением в поверхностном слое наноразмерной субзеренной структуры, определяющей высокие антифрикционные и эксплуатационные свойства поверхности [9].

Комбинированное магнитно-динамическое накатывание рекомендуется для упрочнения плоских поверхностей ферромагнитных деталей, работающих при циклических нагрузках и требующих существенной глубины упрочнения поверхностного слоя.

Заключение

Представлены инновационные методы отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей деталей машин, при которых импульсно-ударное деформирование осуществляется за счет взаимодействия деформирующих и приводных шаров во вращающемся магнитном поле.

Разработаны конструкции инструментов, содержащие магнитные системы, предназначенные для осуществления магнитно-динамического, совмещенного магнитно-динамического и комбинированного магнитно-динамического накатывания плоских поверхностей. Магнитные системы инструментов спроектированы по модульному принципу на основе применения цилиндрических постоянных магнитов из редкоземельных материалов.

Даны рекомендации по применению созданных методов отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей деталей в производстве.

Список использованных источников

1. Рыжов, Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э.В. Рыжов. – Киев: Наукова думка, 1984. – 272 с.
2. Смелянский, В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
3. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения: в 2 т. / М.С. Поляк. – М.: Л.В.М. – Скринт, Машиностроение, 1995. – Т. 1. – 832 с.
4. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения: в 2 т. / М.С. Поляк. – М.: Л.В.М. – Скринт, Машиностроение, 1995. – Т. 2. – 688 с.
5. Инструмент и способ магнитно-динамического упрочнения плоской поверхности детали: пат. 17545 Респ. Беларусь, МПК В24В39/06 / А.М. Довгалев, С.А. Сухоцкий; заявитель ГУВПО «Белорусско-Российский ун-т». – № а20111278; заявл. 03.10.11; опубл. 30.10.13 // Афицыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013.
6. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей: пат. 15262 Респ. Беларусь, МПК В24В39/06 / А.М. Довгалев, С.А. Сухоцкий, Д.М. Свирепа, Д.М. Рыжанков; заявитель ГУВПО «Белорусско-Российский ун-т». – № а20091368; заявл. 25.09.09; опубл. 30.12.11 // Афицыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 6. – С. 87-88.

7. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. 2068770 РФ, МПК В24В39/02 / А.М. Довгалеv; заявитель А.М. Довгалеv. – № 4922542/27; заявл. 29.03.91; опубл. 10.11.96 // Бюллетень. – 1996. – № 31.

8. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. 2089373 РФ, МПК В24В39/00 / А.М. Довгалеv; заявитель А.М. Довгалеv. – № 4924841/02; заявл. 05.04.91; опубл. 10.09.97 // Бюллетень. – 1997. – № 25.

9. Довгалеv, А.М. Магнитно-динамическое и совмещенное накатывание поверхностей нежестких деталей / А.М. Довгалеv. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2017. – 266 с.

Sheleg V.K., Dovgalev A.M., Sukhotskiy S.A., Svirepa D.M.

Magnetic-dynamic, concurrent and combined rolling of flat surfaces

The article analyzes the existing methods of surface hardening of flat parts surfaces, including methods of surface plastic deformation. Information is provided on the developed innovative methods of magnetic-dynamic, concurrent magnetic-dynamic and combined magnetic-dynamic rolling of flat surfaces of ferro-magnetic parts of mining equipment. The design of tools for the implementation of these methods is presented, and recommendations for their use in industry are given.

Keywords: magnetodynamic rolling, surface plastic deformation, magnetic system, combined treatment, deforming balls, pulse-impact deformation, magnetic field.

Поступила в редакцию 04.06.2018 г.

УДК 656.13: 531.391

МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ ДЕФОРМИРУЕМОГО ГРУЗА, ПЕРЕВОЗИМОГО НА АВТОПЛАТФОРМЕ

Шимановский А.О., Кракова И.Е. (УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель, Беларусь)

Разработана механико-математическая модель транспортного пакета, который сформирован из сэндвич-панелей и перевозится на автоплатформе, с учетом деформаций груза и средств его крепления. Выполнен анализ устойчивости рассматриваемой системы при входе в кривые. Показано, что вертикальные деформации груза могут стать причиной его повреждения вследствие смещения панелей в поперечном направлении.

Ключевые слова: деформируемый груз, сэндвич-панели, колебания груза.

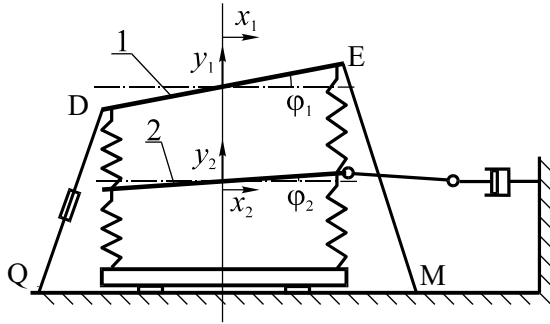
Введение

Правила крепления грузов на автомобильном транспорте [1] рассматривают перевозимый груз как жесткий. В реальности значительное количество транспортируемых объектов обладает высокой деформативностью. К их числу относятся сэндвич-панели, которые представляют собой трехслойную конструкцию, включающую две обшивки из металлических профилированных листов и расположенный между ними слой из минераловатных плит [2]. Пакеты, сформированные из таких панелей, имеют большие размеры при относительно небольшой массе. Поэтому при перевозке авто-транспортом центр тяжести груза располагается высоко над полом автоплатформы, что приводит к большим значениям моментов сил инерции. Это, в свою очередь, может стать причиной смещения груза в продольном и поперечном направлениях [3].

Существующие исследования напряженно-деформированного состояния трехслойных и многослойных пластин [4-6] не учитывают возможности их размещения в пакете из нескольких таких пластин, который, в свою очередь, совершает колебания относительно подвижной системы отсчета. В работе [7] решается задача о динамике транспортного средства с грузом, в которой учитываются деформации креплений. В статье [8] принимается внимание перемещение транспортируемой жидкости относительно кузова. Объектом исследования представленной работы является грузовое место, состоящее из двух транспортных пакетов, которые размещены штабелями в два яруса на автоплатформе и удерживаются при помощи стяжных ремней. Цель работы – создание механико-математической модели, позволяющей оценить вертикальные и горизонтальные перемещения системы при нестационарных режимах движения транспортных средств.

Методика проведения расчетов и результаты исследования

Рассматривается транспортное место, состоящее из двух транспортных пакетов с сэндвич-панелями, которые размещены в два яруса. Упрощенная расчетная схема, демонстрирующая деформированное состояние системы, представлена на рисунке 1. Поскольку минеральная вата, входящая в состав сэндвич-панелей, обладает высокой деформативностью, то для ее моделирования применены пружины с коэффициентом жесткости c . Транспортные пакеты закреплены при помощи прижимных ремней QD и EM (левый и правый соответственно), которые при перевозке воспринимают действующие



1 – верхний ярус; 2 – нижний ярус
Рисунок 1. – Расчетная схема

на груз силы инерции и работают на растяжение. Для учета поперечных сил, возникающих при деформировании транспортных пакетов, в расчетную схему введен демпфер. Система имеет шесть степеней свободы. Ее движение можно описать с помощью уравнений Лагранжа второго рода [9]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = 0, \quad (1)$$

где L – функция Лагранжа, определяемая как разность кинетической и потенциальной энергий системы $L = T - \Pi$;
 q_j – обобщенная координата.

В качестве обобщенных координат приняты горизонтальные x_1, x_2 и вертикальные y_1, y_2 перемещения центров масс тел 1 и 2, массы которых $m_1 = m/2$ и $m_2 = m$, а также углы их поворота ϕ_1, ϕ_2 (рисунок 1).

Кинетическая энергия системы:

$$T = \frac{m_1 v_{C1}^2}{2} + \frac{I_{C1} \omega_1^2}{2} + \frac{m_2 v_{C2}^2}{2} + \frac{I_{C2} \omega_2^2}{2}.$$

Моменты инерции I_{C1}, I_{C2} относительно осей, проходящих через центры масс:

$$I_{C1} = \frac{ml^2}{24}, \quad I_{C2} = \frac{ml^2}{12},$$

где l – ширина панели.

Выражения скоростей центров масс v_{C1}, v_{C2} и угловых скоростей тел ω_1, ω_2 в обобщенных координатах запишутся в виде:

$$v_{C1}^2 = \dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2, \quad v_{C2}^2 = \dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2, \quad \omega_1 = \dot{\phi}_1, \quad \omega_2 = \dot{\phi}_2.$$

Тогда выражение кинетической энергии в обобщенных координатах примет вид:

$$T = \frac{m(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2)}{4} + \frac{ml^2}{48} \dot{\phi}_1^2 + \frac{m(\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2)}{2} + \frac{ml^2}{24} \dot{\phi}_2^2.$$

Потенциальная энергия системы складывается из энергий поля силы тяжести тел, сил упругости пружин, моделирующих упругий слой панели, и ремней.

Потенциальная энергия поля сил тяжести:

$$\Pi_{G1} = \frac{mg}{2} y_1, \quad \Pi_{G2} = mgy_2.$$

Потенциальная энергия, которая определяется деформациями упругих связей, равна:

$$\Pi_{упр} = \frac{c}{2} (\Delta l_{np1}^2 + \Delta l_{лев1}^2 + \Delta l_{np2}^2 + \Delta l_{лев2}^2), \quad \Pi_{рем} = \frac{k}{2} (\Delta l_{QD}^2 + \Delta l_{ME}^2),$$

где k – коэффициент жесткости ремня;

1, 2 – индексы при деформациях Δl , которые относятся к верхнему ряду правой и левой пружин, и к нижнему ряду, соответственно;

QD и ME – индексы относятся к соответствующим ремням.

Для определения деформаций пружин и ремней используем координатный способ. Вертикальные координаты точек K, B, E, D (рисунок 2):

$$y_{K'} = y_2 + l\varphi_2; \quad y_{B'} = y_2 - l\varphi_2; \quad y_{E'} = y_1 + l\varphi_1; \quad y_{D'} = y_1 - l\varphi_1.$$

Штрих указывает на положение точки в смещенном состоянии системы.

Деформации пружин в таком случае равны:

$$\begin{aligned} \Delta l_{np2} &= y_2 + l\varphi_2; \quad \Delta l_{лев2} = y_2 - l\varphi_2; \\ \Delta l_{np1} &= y_1 - y_2 + l(\varphi_1 - \varphi_2); \quad \Delta l_{лев1} = y_1 - y_2 + l(\varphi_2 - \varphi_1). \end{aligned}$$

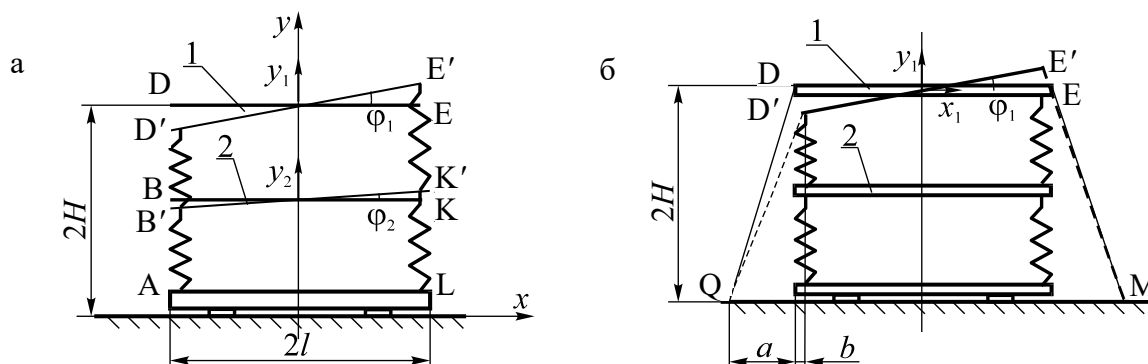


Рисунок 2. – Расчетные схемы для определения деформаций пружин (а) и ремней (б)

Определим удлинение правой и левой частей ремня при транспортировке (рисунок 2б). В начальный момент времени длины правой и левой частей ремня одинаковы и равны:

$$QD = EM = \sqrt{a^2 + (2H)^2}.$$

При смещении груза с учетом малости угла φ_1 получаем:

$$\begin{aligned} x_D &= x_1 - l \cos \varphi_1 \approx x_1 - l; \quad y_D = y_1 - l \sin \varphi_1 = y_1 - l\varphi_1; \\ x_E &= x_1 + l \cos \varphi_1 \approx x_1 + l; \quad y_E = y_1 + l \sin \varphi_1 = y_1 + l\varphi_1. \end{aligned}$$

Тогда деформации левой и правой частей ремня равны:

$$\begin{aligned} \Delta l_{QD} &= \sqrt{a^2 + (2H)^2} - \sqrt{(a+b+x_1)^2 + (2H+y_1-l\varphi_1)^2} - \Delta l_{0рем}; \\ \Delta l_{ME} &= -\sqrt{a^2 + (2H)^2} + \sqrt{(a+b-x_1)^2 + (2H+y_1+l\varphi_1)^2} - \Delta l_{0рем}, \end{aligned}$$

где $\Delta l_{0рем}$ – начальное натяжение ремня.

Таким образом, с учетом обозначения $\delta = \sqrt{a^2 + 4H^2} - \Delta l_{0рем}$ потенциальная энергия системы записывается в виде:

$$\begin{aligned} \Pi = \Pi_{G1} + \Pi_{G2} + \Pi_{y_{np1}} + \Pi_{y_{np2}} + \Pi_{p_{em}} = \frac{mg}{2}(2y_2 + y_1) + c[(y_1 - y_2)^2 + l^2(\varphi_1 - \varphi_2)^2] + c(y_2^2 + l^2\varphi_2^2) + \\ + k \left[(a + x_1)^2 + 4H^2 + (\varphi_1 l + y_1)^2 + \delta^2 - \delta \sqrt{(a + x_1)^2 + (-\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2} - \delta \sqrt{(a - x_1)^2 + (\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2} \right]. \end{aligned}$$

Запишем функцию Лагранжа:

$$\begin{aligned} L = T - \Pi = \frac{m}{4}(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + 2\dot{x}_2^2 + 2\dot{y}_2^2) + \frac{ml^2}{48}(\dot{\varphi}_1^2 + 2\dot{\varphi}_2^2) - \frac{mg}{2}(2y_2 + y_1) - \\ - c[(y_1 - y_2)^2 + l^2(\varphi_1 - \varphi_2)^2] - c(y_2^2 + l^2\varphi_2^2) - k \left[(a + x_1)^2 + 4H^2 + (\varphi_1 l + y_1)^2 + \right. \\ \left. + \delta^2 - \delta \sqrt{(a + x_1)^2 + (-\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2} - \delta \sqrt{(a - x_1)^2 + (\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2} \right]. \end{aligned}$$

В соответствии с уравнением Лагранжа второго рода вычисляем производные, учитывая, что $a = \text{const}$, $b = \text{const}$, $H = \text{const}$, $l = \text{const}$. Подставляя в уравнение (1), получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 = -\frac{2k}{m} \left(2(a + x_1) - \frac{\delta(a + x_1)}{\sqrt{(a + x_1)^2 + (-\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2}} - \frac{\delta(a - x_1)}{\sqrt{(a - x_1)^2 + (\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2}} \right); \\ \ddot{y}_1 = -\frac{2}{m} \left[\frac{mg}{2} + k \left(2(\varphi_1 l + y_1) - \frac{\delta(-\varphi_1 l + y_1 + 2H)}{\sqrt{(a + x_1)^2 + (-\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2}} - \frac{\delta(\varphi_1 l + y_1 + 2H)}{\sqrt{(a - x_1)^2 + (\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2}} \right) + 2c(y_1 - y_2) \right]; \\ \ddot{y}_2 = -\frac{1}{m}(mg - 2cy_1 + 4cy_2); \\ \ddot{\varphi}_1 = -\frac{24}{ml} \left(2cl(\varphi_1 - \varphi_2) + k \left(2l\varphi_1 + 2y_1 - \frac{\delta(-\varphi_1 l + y_1 + 2H)}{\sqrt{(a + x_1)^2 + (-\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2}} - \frac{\delta(\varphi_1 l + y_1 + 2H)}{\sqrt{(a - x_1)^2 + (\varphi_1 l + y_1 + 2H)^2}} \right) \right); \\ \ddot{\varphi}_2 = -\frac{24c}{m}(\varphi_1 - 2\varphi_2). \end{aligned}$$

Динамическое уравнение движения тела 2:

$$m_2 \ddot{x}_2 = F_{KE} \sin \psi_2 + F_{BD} \sin \psi_1 - F_{LK} \sin \psi_4 - F_{AB} \sin \psi_3 - F_{comp},$$

где $F_{KE} = c\Delta l_{np1}$; $F_{y_{npKL}} = c\Delta l_{np2}$; $F_{BD} = c\Delta l_{лев1}$; $F_{AB} = c\Delta l_{лев2}$ – деформации пружин;

F_{comp} – сила сопротивления смещению тела в поперечном направлении $F_{comp} = \alpha \dot{x}$ (принимаем $\alpha = 4 \cdot 10^5$ Н·с/м);

ψ_i – угол между i -ой пружиной и горизонтальной плоскостью, $\sin \psi_3 = \sin \psi_4 = \frac{x_2}{H + y_2}$; $\sin \psi_1 = \sin \psi_2 = \frac{x_1 - x_2}{H + y_1 - y_2}$; $\sin \psi_1 = \sin \psi_2 = \frac{x_1}{2H + y_1 - l\varphi_1}$. Подстановка значений величин приводит к уравнению:

$$\ddot{x}_2 = \frac{2c}{m} \left[\frac{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)}{H + y_1 - y_2} - \frac{x_2 y_2}{H + y_2} - \frac{4 \cdot 10^5 \dot{x}_1}{2c} \right].$$

С применением программы MathCAD выполнено решение системы дифференциальных уравнений при следующих начальных условиях, соответствующих моменту времени $t=0$: $x_{10} = 0,001$ м; $\dot{x}_{10} = 0$; $x_{20} = 0$; $\dot{x}_{20} = 0$; $y_{10} = -0,02$ м; $\dot{y}_{10} = 0$; $y_{20} = -0,01$ м; $\dot{y}_{20} = 0$; $\varphi_{10} = 0$; $\dot{\varphi}_{10} = 0$; $\varphi_{20} = 0$; $\dot{\varphi}_{20} = 0$. Начальная координата x_{10} принята отличной от нуля, чтобы провести анализ устойчивости исследуемой системы при малых возмущениях.

Анализ результатов расчетов

Проведенные с учетом вариации механических характеристик пружин и крепежных ремней расчеты показали, что вертикальные колебания ярусов, определяемые изменением координат y_1 и y_2 , совершаются с амплитудой, составляющей около 2 см. В то же время обнаружилось, что даже введение в расчетную схему демпфера не обеспечивает динамическую устойчивость системы при колебаниях. На рисунке 3 показаны графики, характеризующие движение средней части модели, из которых видно, что амплитуда скорости высокочастотных колебаний постоянно увеличивается, а панели постепенно смещаются в поперечном направлении. Такое смещение может наблюдаться, например, при входе в кривые.

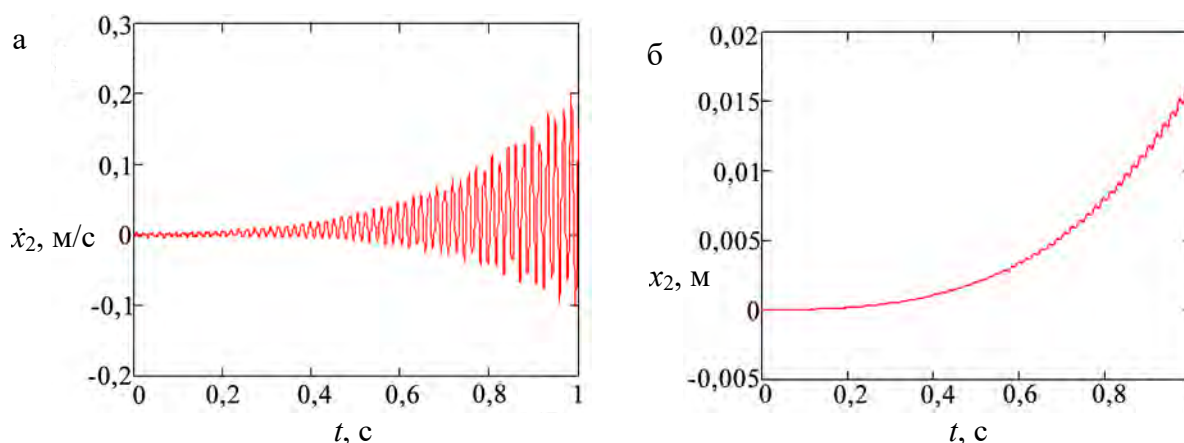


Рисунок 3. – Зависимости от времени координаты x_2 и скорости \dot{x}_2

Суммирование нескольких аналогичных перемещений при нескольких последовательных входах в кривые может привести к значительному относительному смещению транспортных пакетов, которое может стать причиной повреждения перевозимого груза, как это наблюдалось на практике [3].

Заключение

Расчеты, выполненные с применением разработанной механико-математической модели транспортного пакета, показали, что при разработке схем крепления грузов следует учитывать их деформативность. При перевозке грузов на большие расстояния наличие неровностей дорожного покрытия и входов в повороты может приводить к смещению груза и его повреждению. Одним из способов решения данной проблемы является применение жесткой упаковки, не допускающей влияния верхних ярусов груза на нижние.

Список использованных источников

1. Правила безопасного размещения и крепления грузов в кузове автомобильного транспортного средства: утв. Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 10.10.2005. – Минск: Энергопресс, 2015. – 55 с.
2. Сэндвич-панели [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://mzmk.by/продукция/сэндвич-панели>. – Дата доступа 09.02.2018.
3. Шмелев, А. «Обманчивая» стрейч-пленка / А. Шмелев // Компас экспедитора и перевозчика. – 2017. – № 6. – С. 28-32.
4. Зеленая, А.С. Напряженно-деформированное состояние упругой трехслойной прямоугольной пластины со сжимаемым наполнителем / А.С. Зеленая // Механика. Исследования и инновации. – 2017. – Вып. 10. – С. 67-74.
5. Плескачевский, Ю.М. Динамика металлополимерных систем / Ю.М. Плескачевский, Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая. – Минск: Беларуская навука, 2004. – 386 с.
6. Škec, L. Analysis of a geometrically exact multi-layer beam with a rigid interlayer connection / L. Škec, G. Jelenić // Acta Mechanica. – 2014. – Vol. 225, no. 2. – P. 523-541.
7. Ворожун, И.А. Метод определения динамических сил при соударении вагонов / И.А. Ворожун, А.В. Заворотный, А.В. Шилович // Горная механика и машиностроение. – 2011. – № 1. – С. 65-72.
8. Шимановский, А.О. Особенности построения математических моделей автоцистерн при моделировании их динамики / А.О. Шимановский // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2 (24). – С. 52-61.
9. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – СПб.: Лань, 1998. – 736 с.

Shimanovsky A.O., Krakava I.E.

Mechanical-mathematical model of oscillations of the deformable cargo transported by the automobile platform

There was developed a mechanical-mathematical model of the transport package formed from sandwich panels transported on the automobile platform, taking into account the deformations of the cargo and its fastening means. The stability analysis of the considered system at the curves entrances is performed. It is shown that cargo vertical deformations can cause its damage due to the displacement of the panels in the transverse direction.

Keywords: deformable cargo, sandwich panels, cargo oscillations.

Поступила в редакцию 14.05.2018 г.

УДК 621.65.01

СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СРЕДЫ МЕЖДУ ЛОПАСТЯМИ ОСЕВОЙ ТУРБИНЫ

Павлечко В.Н. (УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Беларусь)

Проведен анализ скоростей движения среды между лопастями осевой турбины при вводе потока под некоторым углом к плоскости вращения. Угол наклона лопастей принят постоянным. Осевая скорость среды неизменна, но может изменяться по радиусу турбины. Выведены некоторые соотношения для оценки влияния потока на турбину. Наибольшее воздействие среда оказывает на лопасти на входном участке лопасти, для последующих участков по ходу движения влияние потока ослабевает. Активная длина лопастей, на которых среда влияет на параметры турбины, снижается по мере увеличения угла наклона лопастей и уменьшения угла ввода среды по модулю. С увеличением количества элементарных участков расширяется диапазон изменения угла наклона лопастей, при которых среда перестает влиять на работу лопастей турбины.

Ключевые слова: осевая турбина, угол наклона лопастей, направление потока, скорость среды между лопастями, активная длина лопасти.

Введение

В работе [1] рассмотрено движение среды, вводимой в межлопастное пространство в осевом направлении (рисунок 1). Лопасти имеют постоянный угол наклона β по радиусу и по ходу движения среды. Начальная скорость среды v_s направлена под углом α к плоскости вращения турбины. Поскольку углы α и β откладываются от плоскости вращения в разные стороны, то первый из них принят с отрицательным знаком. В результате анализа сил, действующих на элементарную площадку шириной b , выведены формулы для расчета скоростей среды.

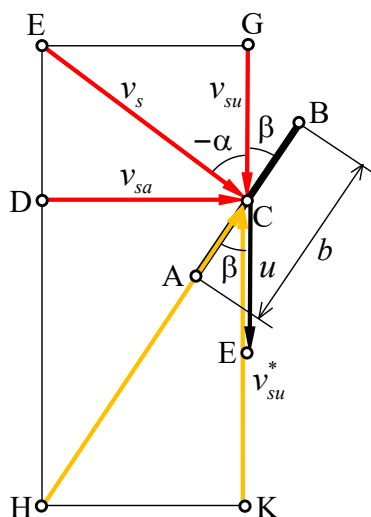


Рисунок 1. – Составляющие скорости воздействия среды на элементарную площадку лопасти

В работе [2] начальная скорость ввода среды представлена двумя составляющими: v_{sa} , направленной вдоль оси турбины, и v_{su} , направленной тангенциально. Величины этих скоростей зависят от угла наклона α вектора скорости v_s и определяются зависимостями:

$$v_{sa} = -v_s \sin \alpha ; \quad (1)$$

$$v_{su} = v_s \cos \alpha . \quad (2)$$

Осевая составляющая v_{sa} начальной скорости среды заменена скоростями движения среды в направлении, перпендикулярном плоскости лопасти, и вдоль лопасти (рисунок 2), выражения которых с учетом принятых обозначений имеют соответственно вид [1, 2]:

$$c' = v_{sa} \cos \beta ; \quad (3)$$

$$w' = v_{sa} \sin \beta . \quad (4)$$

В свою очередь, скорость c' представлена тангенциальной и осевой составляющими, которые определяются зависимостями:

$$c'_u = v_{sa} \sin \beta \cos \beta; \tag{5}$$

$$c'_a = v_{sa} \cos^2 \beta. \tag{6}$$

Скорость движения элементарной площадки лопасти шириной b под воздействием осевой составляющей потока среды выражается формулой:

$$u' = v_{sa} \frac{\cos \beta}{\sin \beta}. \tag{7}$$

Тангенциальная составляющая v_{su} начальной скорости также заменена скоростями движения среды в направлении, перпендикулярном плоскости лопасти, и вдоль лопасти (рисунок 3), которые с учетом принятых обозначений представлены соответствующими зависимостями [2]:

$$c'' = v_{su} \sin \beta; \tag{8}$$

$$w'' = v_{su} \cos \beta, \tag{9}$$

а скорость c'' – тангенциальной и осевой составляющими, выражения которых имеют вид:

$$c''_u = v_{su} \sin^2 \beta; \tag{10}$$

$$c''_a = v_{su} \sin \beta \cos \beta. \tag{11}$$

Элементарная площадка под воздействием тангенциального потока перемещается со скоростью

$$u'' = v_{su}. \tag{12}$$

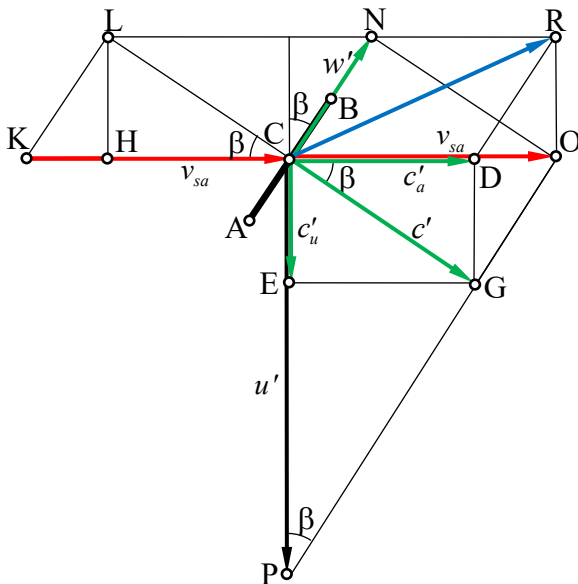


Рисунок 2. – Скорости движения элементарного объема среды и площадки под воздействием осевой составляющей потока

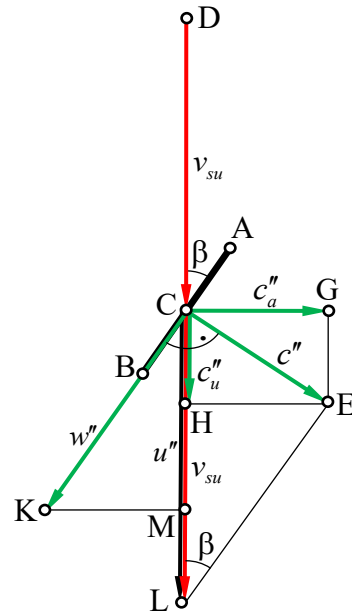


Рисунок 3. – Скорости движения элементарного объема среды и площадки под воздействием тангенциальной составляющей потока

Результаты исследований

Перечисленные скорости и их выражения характерны только для первого по ходу движения потока элементарного участка лопасти. Для второго и последующих участков по мере движения среды вдоль оси турбины величины этих скоростей и их соотношения изменяются. В частности, на выходе из межлопастного пространства среда перемещается практически параллельно конечному участку лопасти.

Рассмотрим особенности изменения скоростей среды в пространстве между лопастями.

Для первого по ходу движения среды элементарного участка скорости определяются по формулам (1)-(12). Исходя из условия неразрывности потока, расход среды через межлопастное пространство сохраняет постоянное значение, и скорость движения потока в осевом направлении (на одинаковом расстоянии от оси вращения) для различных элементарных участков лопасти также неизменна, т.е.:

$$v_{sa1} = v_{sa2} = v_{sa3} = \dots = v_{sa} = -v_s \sin \alpha = \text{const} . \tag{13}$$

Нижние индексы 1, 2, 3 и т.д. в уравнении (13) и последующих формулах относятся к скоростям для соответствующих элементарных участков лопасти по ходу движения среды.

Соответственно, тангенциальная составляющая c'_u скорости среды, пропорциональная в соответствии с формулой (5) осевой составляющей скорости потока v_{sa} , для различных элементарных участков лопасти также имеет постоянное значение:

$$c'_{u1} = c'_{u2} = c'_{u3} = \dots = c'_u = v_{sa} \sin \beta \cos \beta = -v_s \sin \alpha \sin \beta \cos \beta = \text{const} . \tag{14}$$

После первого элементарного участка лопасти среда поступает на второй участок, при анализе движения на котором следует учитывать только скорости движения среды относительно лопасти. При тангенциальном вводе среды (рисунок 3) этим качеством обладает относительная скорость w'' . Ее осевая составляющая, равная с учетом (9) $w_1'' \sin \beta = v_{su} \sin \beta \cdot \cos \beta$, уравнивается осевой скоростью c_a'' в соответствии с формулой (11), и движение среды относительно лопасти в осевом направлении отсутствует. На второй элементарный участок лопасти среда воздействует с тангенциальной составляющей относительной скорости, равной $w_1'' \cos \beta = v_{su} \cos^2 \beta$ (отрезок СМ на рисунке 3). Для других элементарных участков лопасти эта составляющая скорости представляется аналогичными зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} w''_2 \cdot \cos \beta &= v_{su2} \cdot \cos^2 \beta; \\ w''_3 \cdot \cos \beta &= v_{su3} \cdot \cos^2 \beta; \\ w''_4 \cdot \cos \beta &= v_{su4} \cdot \cos^2 \beta; \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ w''_{n-1} \cdot \cos \beta &= v_{su(n-1)} \cdot \cos^2 \beta. \end{aligned} \right\} . \tag{15}$$

При выходе из лопастного пространства, когда среда вводится на n -ый элементарный участок параллельно лопасти и $\alpha = \beta - 180^\circ$, тангенциальная составляющая скорости потока (желтая линия КС со стрелкой на рисунке 1) принимает значение:

$$v_{su}^* = v_{sa} \frac{\cos \beta}{\sin \beta}. \quad (16)$$

При тангенциальном вводе среды ее относительную скорость w'' необходимо дополнить скоростью среды в осевом направлении c'_a , т.к. перемещение лопасти вдоль оси не происходит. Суммарная скорость среды относительно лопасти представлена на рисунке 2 синей линией со стрелкой (отрезок CR).

Выражение тангенциальной составляющей скорости воздействия среды на второй элементарный участок определяется разностью скоростей, направленных в противоположные стороны:

$$v_{su2} = w''_{su1} \cos^2 \beta - c'_{u1} = v_{su} \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta. \quad (17)$$

С использованием аналогичных подходов к третьему и другим элементарным участкам лопасти получены соответствующие выражения относительных тангенциальных скоростей для третьего, четвертого, пятого и других участков:

$$v_{su3} = w''_{su2} \cos \beta - c'_{u2} = (v_{su} \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta) \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta; \quad (18)$$

$$v_{su4} = w''_{su3} \cos \beta - c''_{u3} = [(v_{su} \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta) \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta] \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta; \quad (19)$$

$$v_{su5} = w''_{su4} \cos \beta - c''_{u4} = \left\{ [(v_{su} \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta) \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta] \times \right. \\ \left. \times \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta \right\} \cos^2 \beta - v_{sa} \sin \beta \cos \beta \quad \text{и т.д.} \quad (20)$$

Отклонение фактической v_{sui} от предельной v_{su}^* тангенциальных составляющих скоростей среды для первого, второго, третьего и других элементарных участков с учетом (1) и (2) определяется выражениями:

$$\Delta v_{su1} = v_{su1} - v_{su}^* = v_{su} - v_{su}^* = v_s \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta}. \quad (21)$$

$$\Delta v_{su2} = v_{su2} - v_{su}^* = v_s \cos^2 \beta \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta}; \quad (22)$$

$$\Delta v_{su3} = v_{su3} - v_{su}^* = v_s \cos^4 \beta \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta}; \quad (23)$$

$$\Delta v_{su4} = v_{su4} - v_{su}^* = v_s \cos^6 \beta \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta}; \quad (24)$$

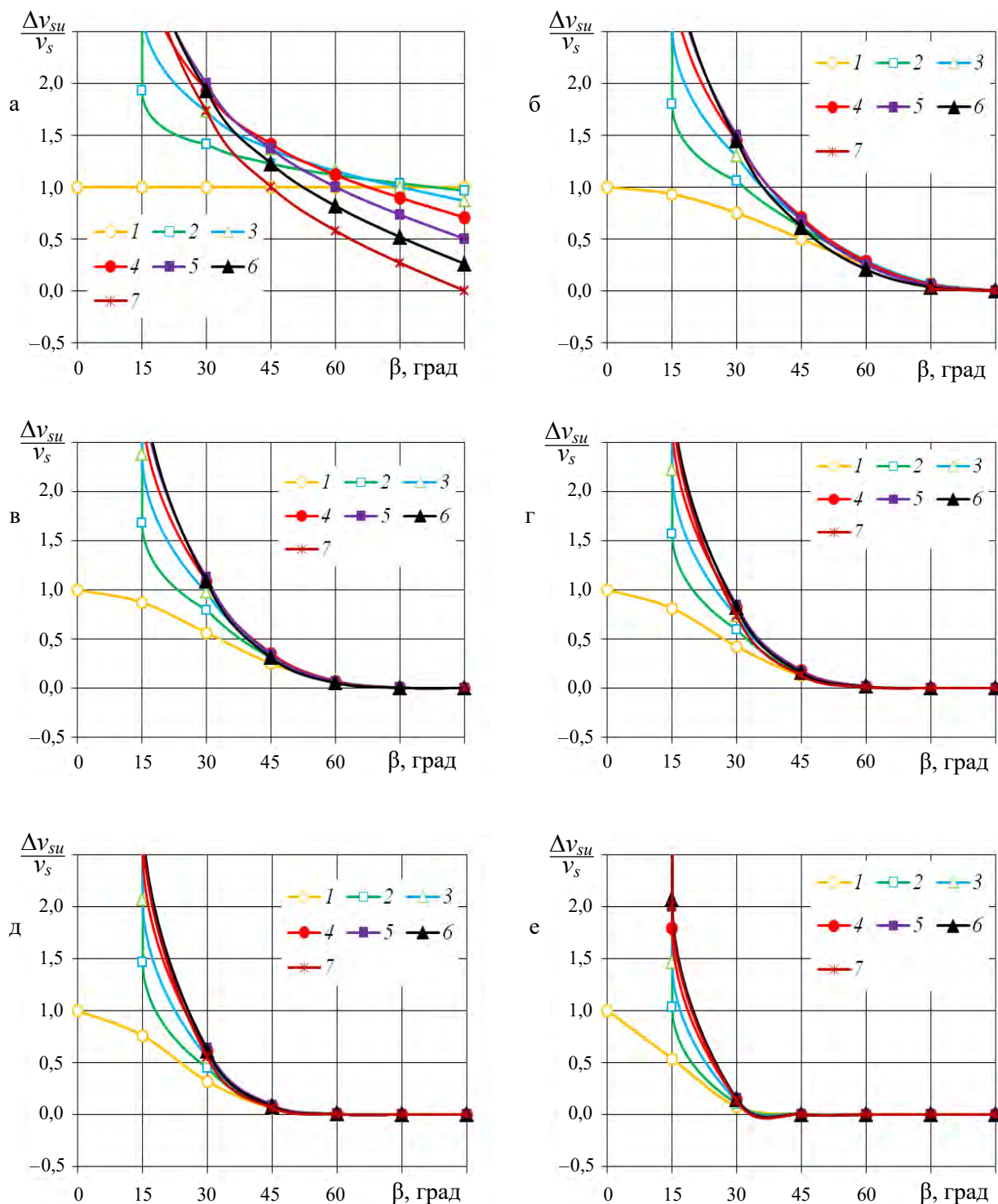
$$\Delta v_{su5} = v_{su5} - v_{su}^* = v_s \cos^8 \beta \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \quad \text{и т.д.} \quad (25)$$

Анализ формул (21)-(25) и других, не приведенных в настоящей работе, показывает, что они представляют собой геометрическую прогрессию с множителем $\cos^2 \beta$, n -ый член которой можно представить в виде:

$$\Delta v_{sun} = v_s \cos^{2(n-1)} \beta \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta}. \quad (26)$$

Из формулы (26) следует, что разность Δv_{su} становится равной нулю при $\beta = 90^\circ$ и при соотношении углов $\alpha = \beta - 180^\circ$, когда поток вводится параллельно начальному участку лопасти.

Графическая зависимость отношения скоростей $\Delta v_{su}/v_s$ от углов α , β и числа элементарных участков лопасти n в соответствии с формулой (26) приведена на рисунке 4.



1 – $\alpha = 0^\circ$; 2 – $\alpha = -15^\circ$; 3 – $\alpha = -30^\circ$; 4 – $\alpha = -45^\circ$; 5 – $\alpha = -60^\circ$; 6 – $\alpha = -75^\circ$; 7 – $\alpha = -90^\circ$;
 а – $n = 1$; б – $n = 2$; в – $n = 3$; г – $n = 4$; д – $n = 5$; е – $n = 10$

Рисунок 4. – Зависимость отношения $\Delta v_{su}/v_s$ от угла β наклона лопастей при различных углах ввода потока α

Для первого элементарного участка (рисунок 4а) скорости v_{su} и v_{su}^* уравниваются только при $\beta = 90^\circ$ и $\alpha = -90^\circ$, когда среда вводится параллельно лопасти. При других значениях этих углов скорости v_{su} и v_s^* имеют разные величины, что указывает на наличие тангенциальной скорости, с которой среда перемещается на следующий элементарный участок лопасти и активно воздействует на него. Для двух элементарных участков (рисунок 4б) отношение $\Delta v_{su} / v_s$ становится равным нулю при $\beta = 90^\circ$, независимо от направления ввода потока среды. С увеличением количества элементарных участков (рисунки 4в-4е) расширяется диапазон изменения угла наклона лопастей, при котором среда перестает влиять на работу лопастей турбины.

Вывод

Таким образом, при движении среды в межлопастном пространстве осевой турбины имеется некоторая активная длина лопасти от входного до определенного участка, после которого среда практически перестает активно влиять на параметры турбины. Наибольшее воздействие среда оказывает на лопасти на входном участке, для последующих участков по ходу движения потока ее влияние ослабевает. Количество активных участков лопасти, на которых среда воздействует на работу турбины, обратно пропорционально величине угла β .

Список использованных источников

1. Павлечко, В.Н. Зависимость параметров осевой турбины от угла наклона лопастей // В.Н. Павлечко, Г.В. Казаченко // Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 1. – С. 22-30.
2. Павлечко, В.Н. Параметры осевой турбины при закручивании входного потока / В.Н. Павлечко // Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 2. – С. 41-53.

Pavlechko V.N.

On the fluid movement in the interlobe space of an axial turbine

Fluid velocities in the interlobe space of an axial turbine were analyzed for the case when a flow enters at an angle relative to the plane of rotation. The blade angle was assumed to be constant. A quotient of the axial to radial fluid velocities was set constant. The axial velocity could change radially. Several equations were derived to evaluate how the flow affects the turbine performance. The fluid has the strongest effect in the entrance region, then its influence gradually decreases along the turbine. An effective blade length, at which the fluid had an influence on parameters of the turbine, goes down when the fluid entry angle increases and the absolute blade angle decreases. A range of the blade angles where the fluid does not impact the turbine blade performance varies directly with the number of elementary surfaces.

Keywords: axial turbine, interlobe space, fluid velocity, blade angle, fluid entry direction.

Поступила в редакцию 01.06.2018 г.

УДК 622.363.2

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ СИЛ РЕЗАНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

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

Рассматриваются программно-технические средства измерения сил резания массива горной породы с точки зрения анализа реакций породы на резец. Приводятся методика и результаты калибровки динамометра УДМ-600, установленного на стенде, при различных углах приложения силы на режущей кромке зубка.

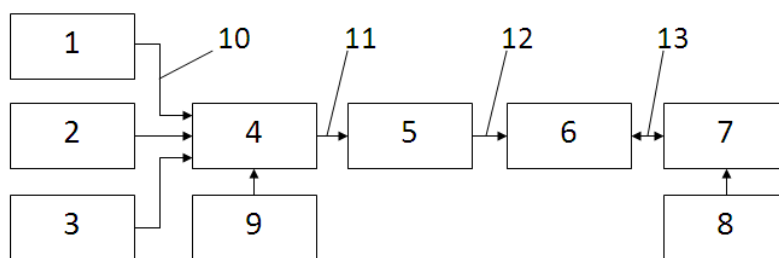
Ключевые слова: *резец, сила резания, датчик, программа, динамометр, стенд, горная порода.*

Введение

Эффективность работы проходческих и очистных комбайнов в значительной степени зависит от оптимальных режимов фрезерования массива горной породы зубками исполнительных органов. Исследованиям взаимодействия породоразрушающих элементов с горными породами посвящено большое число научных работ. В преобладающем большинстве работ экспериментальные измерения нагрузок на режущей кромке сводятся к регистрации только силы сопротивления резанию, направленной по вектору перемещения зубка. Однако более объективная оценка процесса резания горной породы одиночным резцом может быть дана при регистрации всех трех составляющих силы резания, а также пространственного положения вектора этой силы. Для решения этой задачи разработан специальный стенд с использованием современных программно-технических средств.

Исследование и его результаты

На рисунке 1 приведена структурная схема системы для измерения сил резания калийной руды одиночным резцом и последующей обработки результатов экспериментов.



1 – динамометр УДМ-600; 2 – датчик перемещения потенциометрический;
3 – датчик измерения силы СТ-4 50 кН; 4 – блок коммутации; 5 – тензоусилитель АТ1.1;
6 – USB-адаптер; 7 – персональный компьютер; 8 – программное обеспечение *PowerGraph*; 9 – блок питания постоянного тока, $U = 12$ В; 10 – кабель соединительный УДМ; 11 – кабель соединительный блока коммутации с тензоусилителем АТ1.1;
12 – кабель сигнальный АТ1-40; 13 – кабель USB

Рисунок 1. – Структурная схема системы измерения сил резания

Аналоговые измерительные сигналы от датчика 2 перемещения, датчика 3 изменения силы и динамометра 1 через блок коммутации 4 передаются на вход усилителя 5.

Усилитель АТ1.1 предназначен для усиления, преобразования в цифровой код и передачи на компьютер сигналов от различных датчиков. Усилитель АТ1.1 имеет модульную конструкцию и содержит следующие модули: усилитель-преобразователь, аналого-цифровой преобразователь, схему управления. К усилителю может быть подключено до четырех тензорезисторных мостовых (полумостовых) и четырех потенциометрических схем. Своими выходами усилитель соединяется с USB-адаптером коаксиальным радиочастотным сигнальным кабелем. USB-адаптер преобразует цифровой код, полученный от усилителей преобразователей, в формат интерфейса USB 2.0.

Управление усилителем осуществляется программой «*PowerGraph 3.3 Professional*», которая позволяет в реальном времени наблюдать за процессом резания на экране компьютера, а по окончании эксперимента – записать на жесткий диск результаты измерений и настройки по каждому измерительному каналу [1].

Поиск в сети интернет средств измерений показал, что при современном изобилии различных датчиков силы номенклатура многокомпонентных динамометров, обеспечивающих измерение составляющих силы резания, крайне ограничена. Это объясняется тем, что подобные измерения проводятся при проведении научно-исследовательских работ, а промышленность не заинтересована в выпуске продукции узкоцелевого назначения. Из ограниченного числа многокомпонентных динамометров можно отметить динамометр модели 9257В Kistler (Швейцария) [2] и динамометр М30-3-6к (ООО «Тилком», Минск) [3]. Они имеют высокую стоимость и узкоспециализированное программное обеспечение. Последнее затрудняет использовать при работе с ними датчики других измеряемых величин.

В СССР серийно выпускались динамометры типа УДМ-100, УДМ-600 и УДМ-1200 конструкции ВНИИинструмент. Динамометры УДМ по данным поиска в сети интернет и сейчас используются при проведении НИР и ОКР в различных НИИ и ВУЗах [4, 5].

Заявленная в руководстве по эксплуатации динамометра относительная погрешность составляет не более $\pm 10\%$, что является вполне приемлемым для измерения сил резания горной породы. Она может быть уменьшена выполнением качественной градуировки динамометра непосредственно на месте измерений. Как показано в работе [3], дополнительная погрешность от последующего преобразования аналоговых сигналов динамометра в цифровую форму значительно меньше погрешности динамометра. Кроме того, конструкция динамометра и его измерительной схемы позволяет создавать без особых затрат современные измерительные системы с применением компьютерных технологий.

Эти факторы послужили обоснованием для использования измерения сил резания калийной руды динамометра УДМ-600. Основное достоинство – его доступность. Динамометр УДМ способен одновременно воспринимать три составляющие силы резания P_x , P_y и P_z по трем взаимно перпендикулярным осям Ox , Oy и Oz , соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях [4]. Максимальные значения измеряемых сил равны: $P_x = 3$ кН, $P_y = 3$ кН и $P_z = 6$ кН. Динамометр измеряет также крутящий момент $M_{кр}$, действующий в горизонтальной плоскости.

Работа динамометра основана на регистрации изменений значений сопротивлений тензометрических датчиков, вызванных действием измеряемой силы. Внутри динамометра расположена державка, выполненная в виде квадратной пластины с круглым фланцем для крепления к ней сменных приспособлений (рисунок 2). На ней закрепляется резцедержатель с резцом. Державка установлена на шестнадцати упругодеформируемых опорах. Конструкция опор такова, что жесткость опоры вдоль ее оси

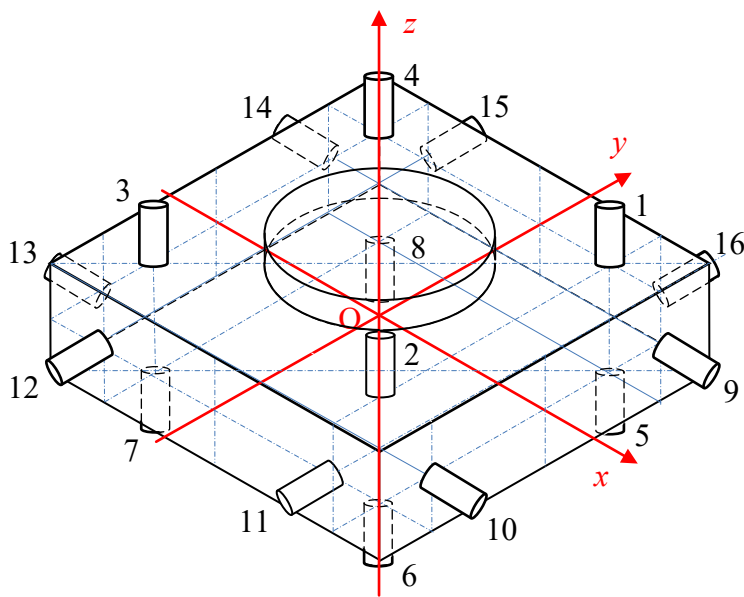


Рисунок 2. – Схема расположения тензодатчиков (1-16) в динамометре УДМ-600

примерно в 100 раз меньше жесткости в поперечном направлении. К каждой опоре вдоль ее оси приклеен проволочный тензорезистор с номинальным сопротивлением 100 Ом.

Вертикально расположенные опоры участвуют в измерении силы P_z , горизонтально расположенные опоры участвуют в измерении сил P_x, P_y [5].

Тензорезисторы динамометра УДМ подключаются к плате постоянных сопротивлений, установленных в блоке коммутации, и образуют мостовые схемы измерений (рисунок 3).

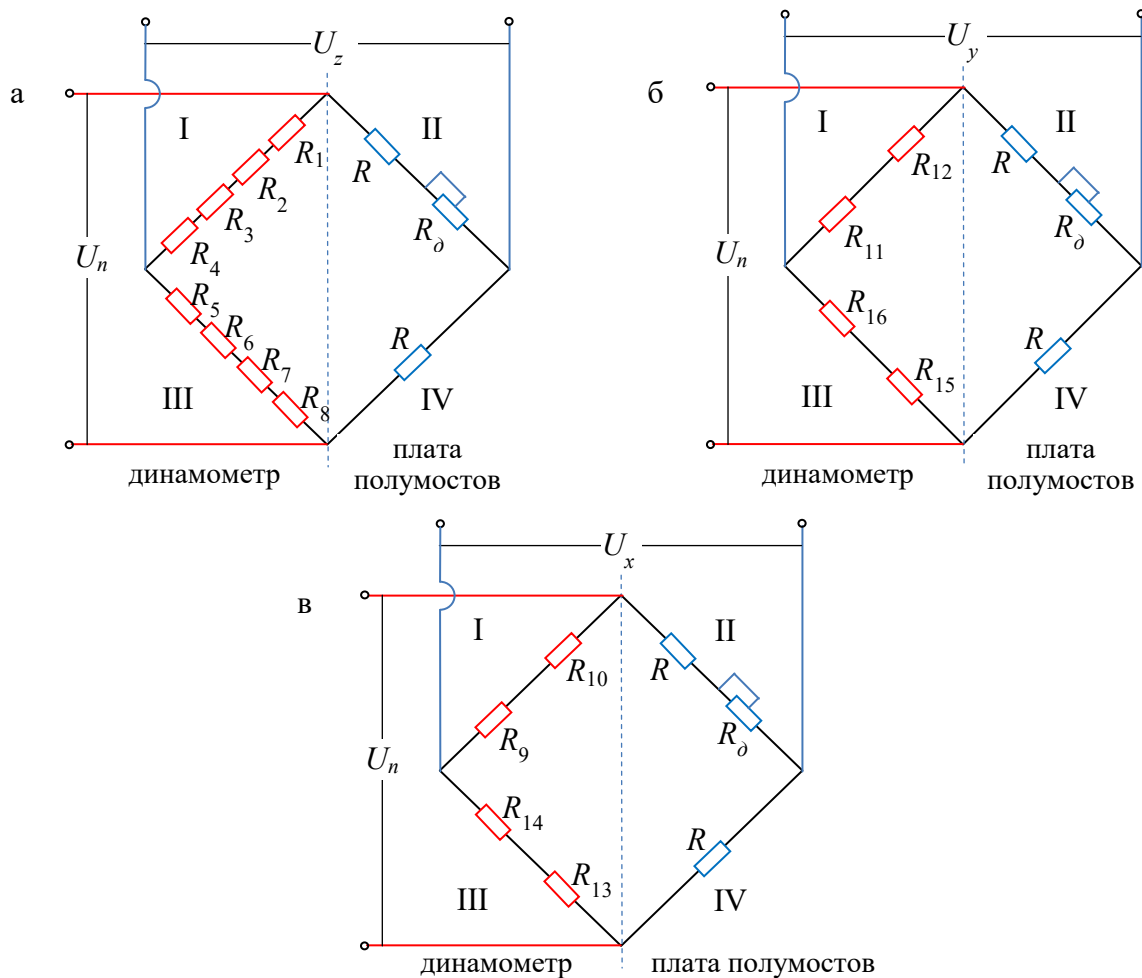


Рисунок 3. – Мостовые схемы измерения составляющих сил резания по трем ортогональным осям

На рисунке 3а показана мостовая схема соединения резисторов для измерения силы P_z , на рисунке 3б – схема для измерения P_y , на рисунке 3в – схема измерения P_x . Канал измерения крутящего момента в данной работе не используется. Плечи полумостов I и III образованы последовательным соединением тензорезисторов, расположенных в динамометре, плечи II и IV состоят из резисторов R и R_0 . Плечо II состоит из двух последовательно соединенных резисторов, один из которых – постоянный, а другой – подстроечный для предварительной регулировки мостовых схем. Таким образом, тензорезисторы, участвующие в измерениях, соединяются в измерительной части полумоста, а вторая часть полумоста состоит из стабильных резисторов, что в целом составляет мостовую схему. Резисторы R и R_0 расположены в блоке коммутации [5]. Номера тензорезисторов на рисунке 3 соответствуют номерам опор рисунка 2.

Динамометр УДМ-600 с резцедержателем и резцом устанавливается на подвижную платформу стенда с помощью дополнительного устройства, которое обеспечивает наклон резца под углом $\beta = 43^\circ$ к вертикали. Такое положение резца соответствует креплению породоразрушающих элементов на исполнительном органе проходческого комбайна.

Результирующая сила резания прикладывается к режущей части резца под некоторым углом. Эта сила через резец и резцедержатель передается на державку, деформирует опоры и вызывает изменение сопротивлений тензорезисторов. Опоры также подвергаются деформации от действия моментов сил, приложенных к резцу. Изменение сопротивлений тензорезисторов приводит к появлению в измерительных диагоналях мостовых схем напряжений U_x , U_y , U_z , пропорциональных измеряемым силам P_x , P_y и P_z . При стабильном напряжении питания U_n мостовых схем напряжения U_z , U_x , U_y будут зависеть от величины результирующей силы резания и угла приложения ее. Эта зависимость определяется предварительной калибровкой динамометра.

Датчик перемещений (рисунок 4) предназначен для измерения перемещения подвижной платформы стенда с установленным на ней динамометром УДМ-600. В качестве чувствительного элемента датчика используется прецизионный многооборотный резистор сопротивлением 2 кОм, линейностью $\pm 0,1\%$, мощностью рассеяния 1 Вт, моментом трогания с места не более 2 мН·м, рабочим углом 7-200°. На вращающейся в подшипниках 4 оси 1 резистора имеется скользящий по спирали 3 контакт 2. Резистор включен по потенциометрической схеме. Выходное напряжение $U_{вых}$, снимаемое с подвижного контакта резистора, при стабильном напряжении питания $U_{пит}$ будет пропорционально сопротивлению R_x , зависящему от угла поворота, и, соответственно, линейному перемещению платформы [6].

Резистор установлен на металлической пластине, которая крепится к станине стенда. Дополнительно на пластине установлены горизонтально обводные ролики для исключения действия изгибающих усилий на ось резистора. Линейное перемещение подвижной платформы передается на шкив резистора нитью. Нить огибает левый ролик, далее наматывается на один оборот вокруг шкива и огибает правый ролик. Для обеспечения необходимого натяжения нити на ее свободный конец подвешивается груз. Таким образом, осуществляется преобразование линейного перемещения платформы во вращательное движение оси резистора.

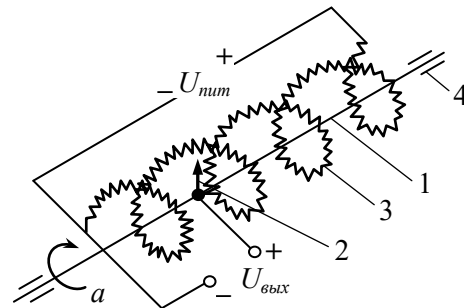


Рисунок 4. – Схема датчика перемещений

Методика калибровки датчика перемещений заключалась в измерении штангенциркулем линейного перемещения платформы и регистрации показаний на компьютере с помощью программы «PowerGraph 3.3 Professional». Калибровочная характеристика датчика перемещений имеет вид

$$L = 52,6 \cdot U_{\text{вых}}; \quad (1)$$

где L – перемещение подвижной платформы, мм;

52,6 – калибровочный коэффициент датчика перемещений при диаметре шкива на оси резистора 6 мм, мм/мВ;

$U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение датчика перемещений, мВ.

Датчик силоизмерительный тензометрический СТ4 закреплен непосредственно на штоке гидроцилиндра 6 и используется для контроля развиваемого усилия гидроцилиндром 6 при работе гидростанции 7 с целью предотвращения предельных усилий, которые могли бы привести к перегрузке динамометра УДМ-600 (рисунок 5). Номинальная нагрузка, измеряемая датчиком, имеет диапазон ± 5 кН; класс точности – 0,2.

Максимальная точность измерений сил резания горной породы с применением разработанных средств обеспечивается в результате тщательной калибровки динамометра УДМ-600. Калибровка выполняется в вертикальной плоскости XOZ , проходящей через ось реза (рисунок 5). Направление осей выбрано так, чтобы совпадали направления напряжений U_z и U_x , снимаемые с диагоналей мостовых схем.

Угломерный сектор 8 закрепляется в тисках 9, подвижная платформа устанавливается так, чтобы расстояния по вертикали и горизонтали от вершины реза 3 до окружности сектора 8 были равны. В этом положении подвижная платформа надежно фиксируется. Между винтом и резцом устанавливается динамометр ДОСМ-10 кН, который измеряет прикладываемую к резцу силу. Программа «PowerGraph 3.3 Professional» включается на регистрацию, вращением винта на резец прикладывается сила P как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения (рисунок 6).

Винт 11 с упорной скобой может перемещаться по окружности угломерного сектора 8, обеспечивая тем самым различные углы приложения силы P к резцу 3.

По окончании операций калибровки из графиков считываются значения напряжений U_z , U_x , U_y и производится обработка результатов калибровки с применением электронных таблиц *Excel*. Калибровкой выявлена четкая зависимость отношения напряжений U_x к U_z при разных углах приложения силы относительно вертикальной оси (рисунок 7). Эта зависимость позволяет при проведении экспериментов по резанию горной породы определять угол действия силы резания P_p в каждый момент времени.

Калибровкой динамометра УДМ-600 установлены зависимости, которые применяются в последующем для вычисления по полученным экспериментальным данным значений результирующей силы резания калийной руды и угла между результирующей силой резания и вертикалью. В диапазоне углов от 0 до 90 градусов приложения силы на режущей кромке зубка зависимость имеет вид:

$$\alpha = -1,011 \cdot (dU_x/dU_z)^2 + 16,8 \cdot dU_x/dU_z + 43. \quad (2)$$

С учетом результатов предварительной серии экспериментов резания калийной руды и образцов из вмещающих горных пород одиночными зубками можно с большой достоверностью сократить диапазон возможных углов приложения силы P_p до значений $\alpha = 10 \dots 80$ град. Тогда окончательно можно использовать следующие зависимости:

$$\alpha = 16,5 \cdot dU_x/dU_z + 41,5; \quad (3)$$

$$P_p = K_{zp} \cdot U_z; \quad (4)$$

$$P_n = P_p \cos \alpha; \quad (5)$$

$$P_m = P_p \sin \alpha, \quad (6)$$

где α – угол между результирующей силой резания и вертикалью, град;

dU_x и dU_z – дифференциалы напряжений U_x и U_z ;

P_p – результирующая сила резания калийной руды, кН;

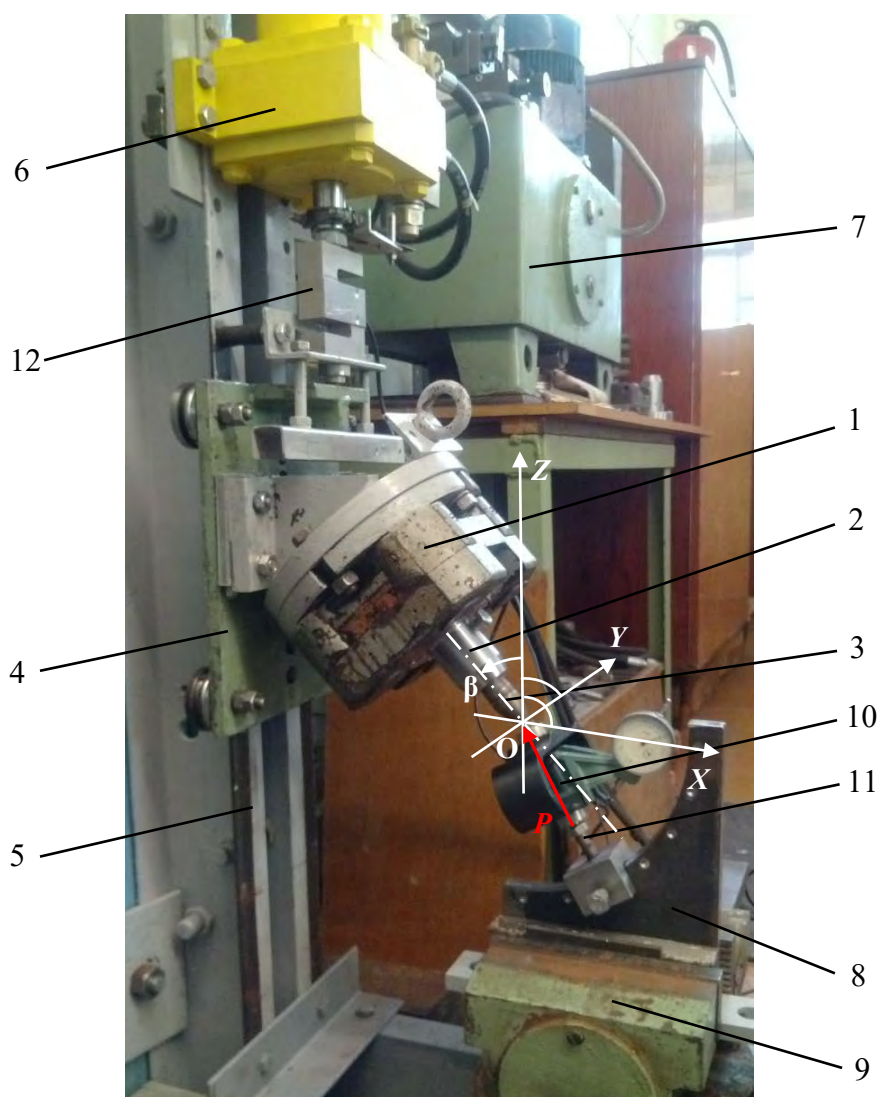
K_{zp} – калибровочный коэффициент вычисления силы резания, кН/мВ;

U_z – значение регистрируемого напряжения по соответствующему каналу измерения, мВ;

U_x – значение регистрируемого напряжения по соответствующему каналу измерения, мВ;

P_n – нормальная составляющая силы резания, кН;

P_m – вертикальная составляющая силы резания, кН.



1 – динамометр УДМ-600; 2 – резцедержатель; 3 – резец; 4 – подвижная платформа;
5 – направляющие; 6 – гидроцилиндр; 7 – гидростанция; 8 – угломерный сектор;
9 – тиски; 10 – динамометр ДОСМ-10 кН; 11 – винт с упорной скобой; 12 – датчик силы СТ4-50

Рисунок 5. – Общий вид стенда для измерения сил резания горной породы с элементами для калибровки динамометра

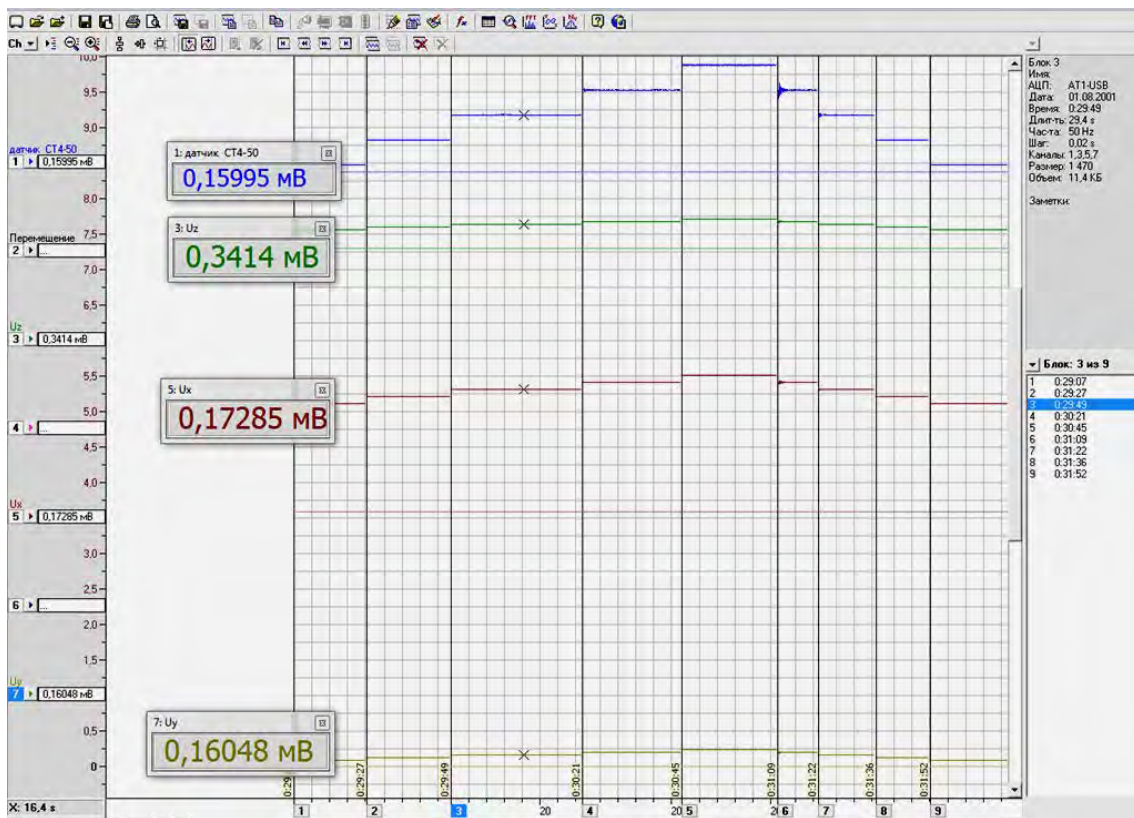


Рисунок 6. – График записи калибровки при нагружении силой P под углом 60°

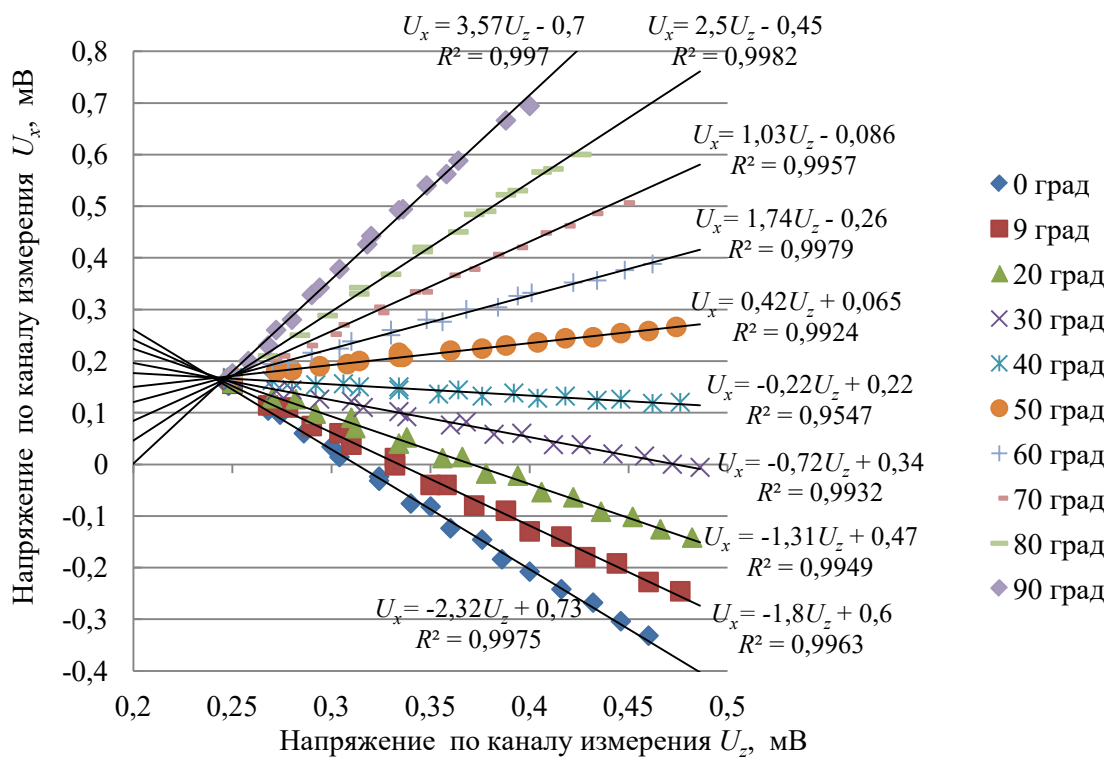


Рисунок 7. – Зависимость напряжения U_x от U_z при разных углах приложения силы

Отношение dU_x/dU_z – угловой коэффициент зависимости U_x от U_z , равный тангенсу угла наклона касательной к напряжению U_x в каждый момент времени процесса резания.

Необходимо отметить, что коэффициенты в приведенных формулах справедливы только для размеров данной конструкции динамометра с резцедержателем и резцом. В случае изменения их геометрических размеров необходимо повторение градуировки.

В настоящее время на представленном стенде с использованием описанных программно-технических средств проводится серия экспериментов по исследованию процесса резания образцов горных пород, образующих плодородные пласты калийной соли Старобинского месторождения.

При исследовании процесса резания калийной руды одиночным резцом образец руды с помощью дополнительных приспособлений закрепляется в тисках. Программа «PowerGraph 3.3 Professional» включается на регистрацию. Производится включение гидроцилиндра стенда, и подвижная платформа перемещается вниз, обеспечивая тем самым резание руды. Пример записи процесса резания калийной руды зубком Д6-20 представлен на рисунке 8. Последующая обработка результатов измерений производится с помощью программы «PowerGraph 3.3 Professional», которая имеет обширную библиотеку математической и цифровой обработки сигналов [2]. Используя результаты калибровки, определяются угол между результирующей силой резания и вертикалью, результирующая сила резания P_p и ее составляющие P_n , P_m .

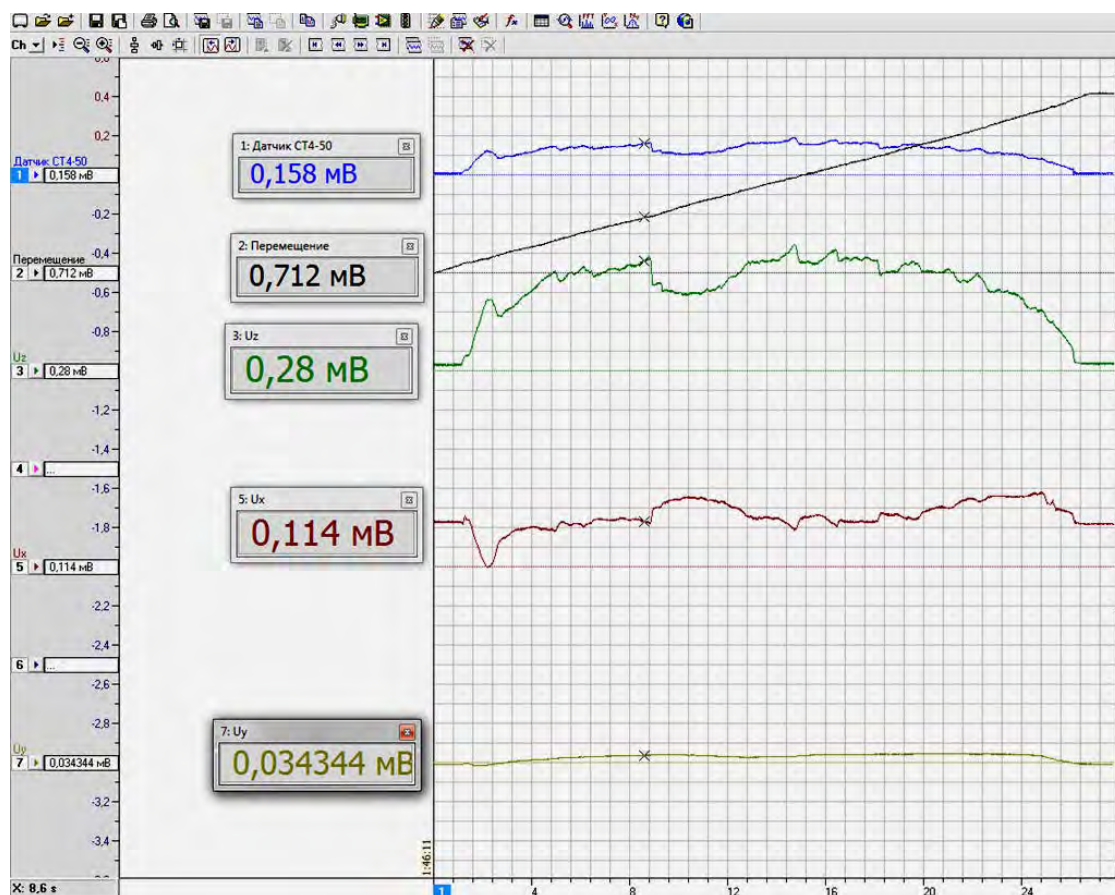


Рисунок 8. – Пример записи процесса резания калийной руды

Заключение

Разработанный программно-технический комплекс позволяет с использованием универсального динамометра типа УДМ и современной программы «PowerGraph» проводить полноценные экспериментальные исследования процесса резания горных пород зубками проходческих и очистных комбайнов. В результате проведенной калибровки динамометра УДМ-600 получены основные зависимости (1-6), которые применяются в последующем для вычисления по полученным экспериментальным данным значений результирующей силы резания горной породы и угла между результирующей силой резания и вертикалью.

Список использованных источников

1. Функциональные возможности ПО «PowerGraph»: 1. Поддержка различных устройств сбора данных // *PowerGraph* – О программе «PowerGraph» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.powergraph.ru>. – Дата доступа: 26.08.2018.
2. Утенков, В.М. Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков / В.М. Утенков, П.А. Быков // *Электронный науч.-техн. журнал Инженерный вестник* [Электронный ресурс]. – 2012. – № 10. – Режим доступа: engsi.ru/file/out/505929.pdf. – Дата доступа: 26.08.2018.
3. ООО «ТИЛКОМ» – производитель тензометрической техники: датчиков крутящего момента, силоизмерительных и многокомпонентных датчиков // Тилком. Тензометрическая техника, тензодатчики, датчики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tilkom.com. – Дата доступа: 26.08.2018.
4. Павлов, И.О. Система для измерения сил резания. Компонировка, тарирование и оценка погрешности / И.О. Павлов, М.В. Ушаков, И.А. Воробьев // *Известия Тульского государственного ун-та*. – 2013. – Вып. 10 – С. 159-168.
5. Руководство к универсальному динамометру УДМ-600 конструкции ВНИИ. – М.: Всесоюзный научно-исследовательский ин-т, 1983. – 22 с.

Basalai R.A.

Software and hardware for measuring rock cutting forces

The software and hardware tools for measuring the cutting forces of rock mass from the point of view of the analysis of rock reactions to the cutter are considered. The technique and results of calibration of the dynamometer UDM-600, installed on the stand, at different angles of application of force on the cutting edge of the tooth.

Keywords: *cutter, cutting force, sensor, program, dynamometer, stand, rock.*

Поступила в редакцию 27.08.2018 г.

УДК 622.232.72-192+622.647.1-192(476)(045)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БЕСЦЕПНОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА SL300NE И РЕЕЧНОГО СТАВА СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА СПЗ-1-228 В УСЛОВИЯХ ЛАВЫ № 99 РУДНИКА 1 РУ ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Бублик М.Л., Бураченко В.П., Харламов В.Н. (ОАО «ЛМЗ Универсал», г. Солигорск, Беларусь)

В ходе исследования выполнен сравнительный анализ условий эксплуатации передач на различных лавах, смоделирован процесс зубчатого зацепления в номинальном положении цевочного колеса относительно зубчатой рейки и в случае максимального допустимого износа направляющих комбайна на 5 мм, а также произведен прочностной анализ. Установлено, причиной износа и поломок зубчатых реек является совокупность факторов: ресурс реищачного става скребкового конвейера, износ направляющих комбайна, высокие значения тягового усилия на одну звезду, приводящие к высоким контактным напряжениям, а также вероятность влияния динамических нагрузок, вызванных отсутствием коэффициента перекрытия в зацеплении «цевочное колесо-зубчатая рейка».

Ключевые слова: зубчатая рейка, прочностной анализ, износ, излом проушин.

Введение

В условиях лавы № 99 рудника 1 РУ в процессе выработки горной породы происходит повышенное истирание зубьев и излом проушин зубчатых реек скребкового конвейера СПЗ-1-228 [1, 2].

По данному факту в лабораторных условиях произведена проверка реек на соответствие геометрических размеров требованиям чертежа, определены твердость и химический состав материала, определены механические свойства.

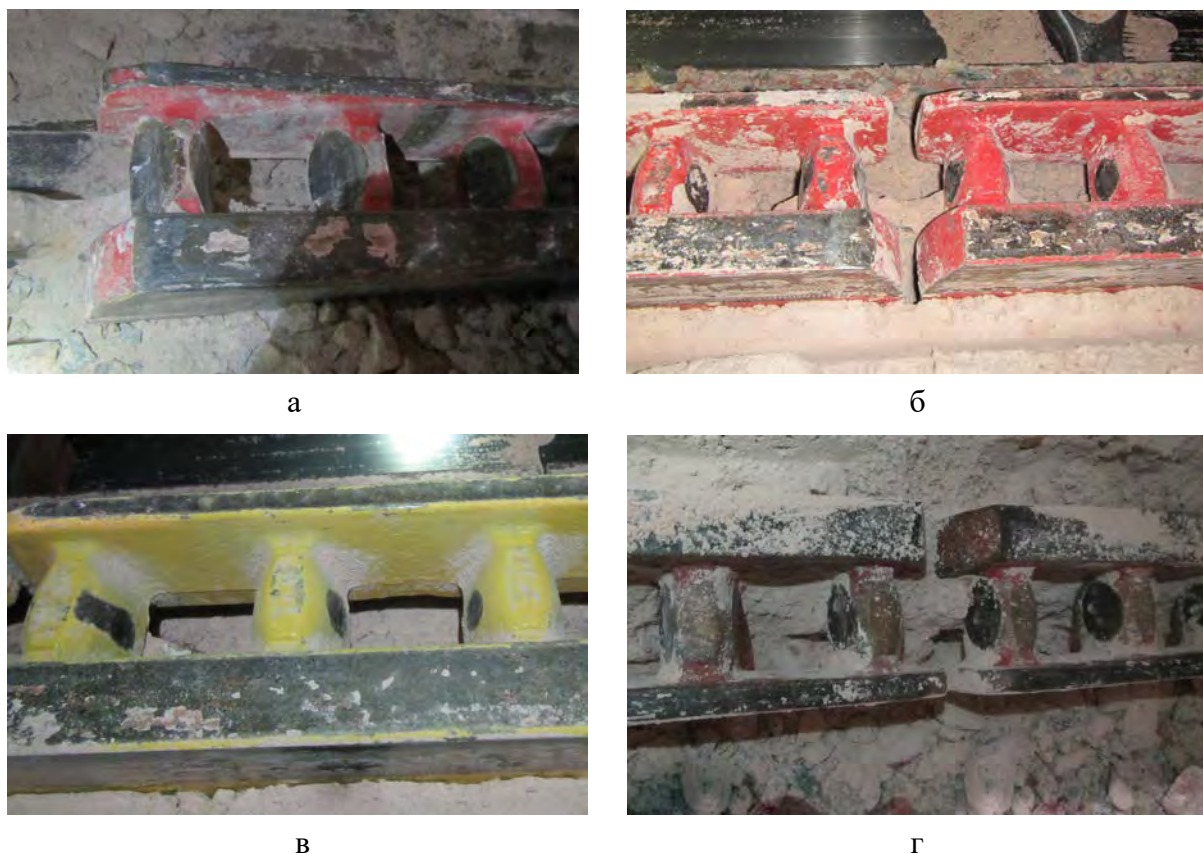
В результате проверки установлено, что геометрические размеры, твердость и химический состав материала соответствуют требованиям чертежа, а предел прочности выше предела, установленного ГОСТ 977-88. Следовательно, зубчатая рейка изготовлена в соответствии со всеми нормативными документами.

Целью данной работы является выявление причин истирания зубьев и излома проушин реек в лаве № 99 рудника 1 РУ.

1. Анализ условий эксплуатации зубчатых реек в различных лавах

Для сравнения условий работы зубчатых реек, величины и характера их износа, произведен осмотр реек (рисунок 1) на трех лавах и собраны данные, приведенные в таблице.

Исходя из полученных данных, учитывая наработку реек, определено, что зубчатые рейки, работающие с комбайнами SL300N и SL500S, имеют значительно меньший износ, чем при работе с комбайном SL300NE [3]. Интенсивность износа зубьев реек в большей степени проявляется в крайних зубьях (на стыках рештаков), т.е. в местах изменения шага между рейками.



**а – лава № 99 рудника 1 РУ; б, в – лава 3В Краснослободского рудника;
г – лава 7С Краснослободского рудника
Рисунок 1. – Характер износа реек**

Таблица. – Условия эксплуатации зубчатых реек

Параметры реек	Рудник			
	1РУ	Краснослободский		
	№ лавы			
	99	3В	7С	
цвет рейки	красный	красный	желтый	красный
характер износа	интенсивный	средний	минимальный	выше среднего
рисунок 1	а	б	в	г
Параметры комбайна				
тип комбайна	SL300NE	SL300N		SL500S
тяговое усилие подачи, кН	315	596		488
рисунок 2	а	б		в
количество приводных звезд, шт.	1	2		2
количество зубьев цевочной звезды, шт.	9	9		10
усилие на одну звезду, кН	315	298	298	244

На конвейерах с большей наработкой наблюдается непрямолинейное расположение линейных секций рештаков и зубчатых реек, что обусловлено износом посадочных мест под рейку и замков (рисунок 2).

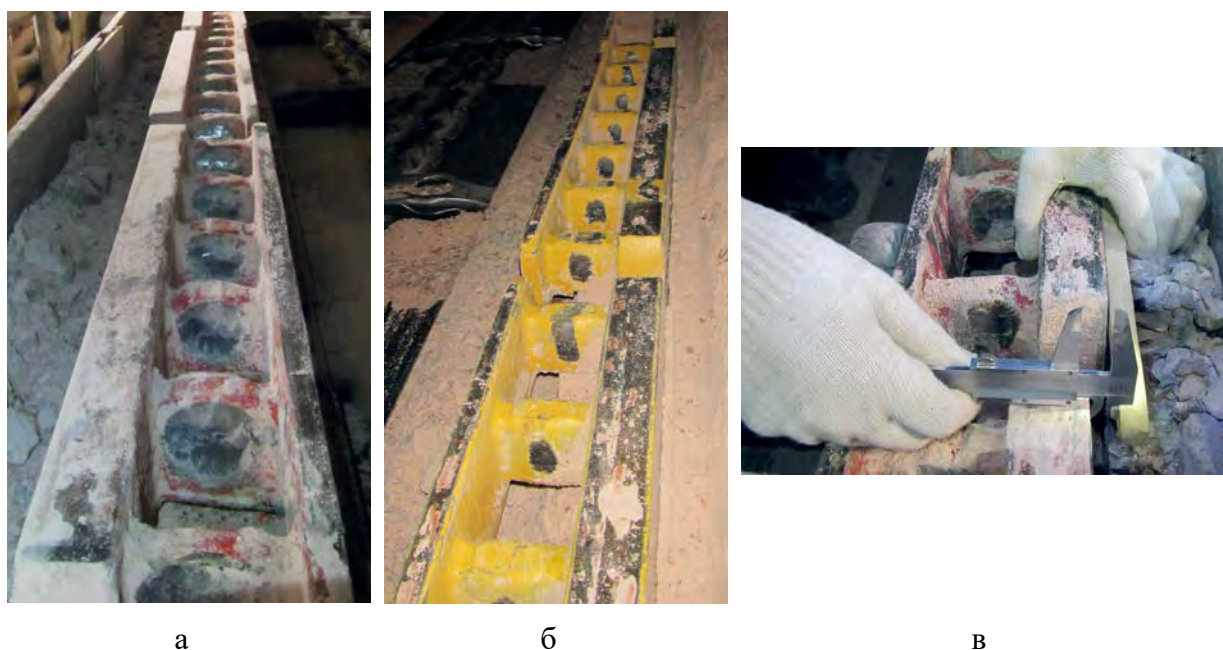


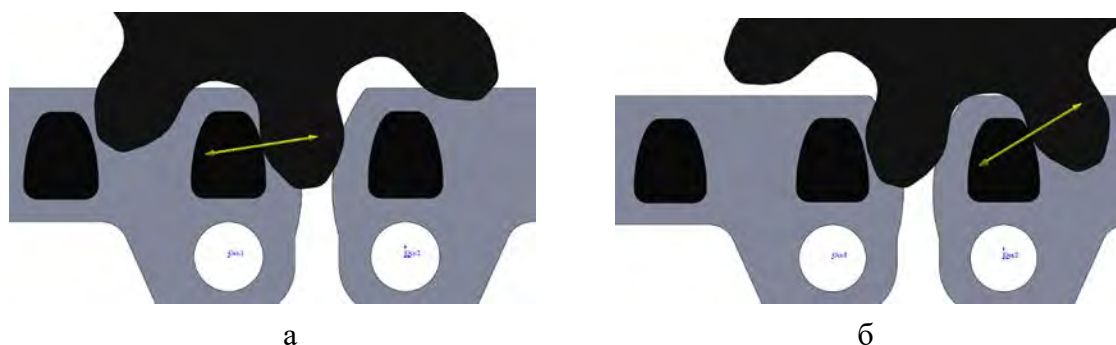
Рисунок 2. – Характер нелинейности расположения реек

2. Моделирование процесса зацепления

Смоделируем процесс зацепления цевочного колеса комбайна SL300NE с зубчатой рейкой.

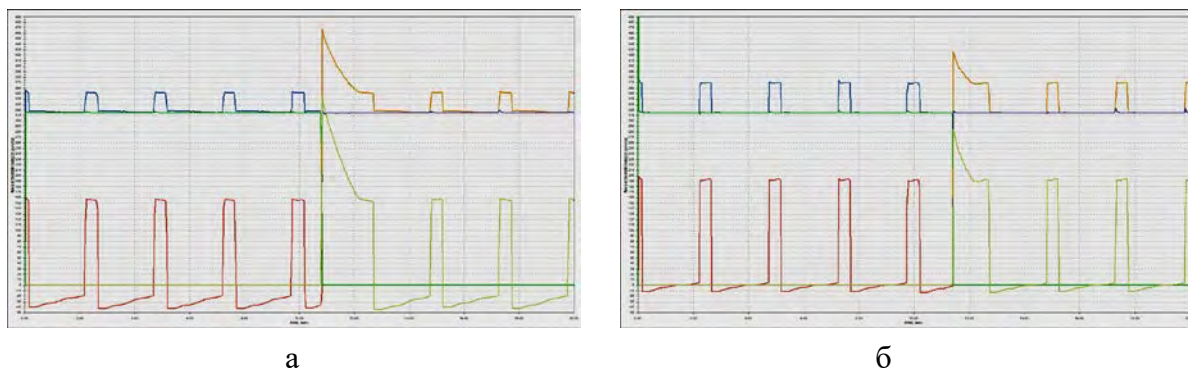
Рассмотрим два случая зацепления. В номинальном положении цевочного колеса относительно зубчатой рейки и в случае максимального допустимого износа направляющих комбайна на 5 мм – согласно требованиям руководства по эксплуатации комбайна SL300NE.

Полученные результаты моделирования свидетельствуют о несовершенной геометрии зубчатого зацепления, проявляющейся в недостаточном коэффициенте перекрытия в обоих случаях. Отсутствие коэффициента перекрытия в зацеплении, выраженное отсутствием второго вектора силы (рисунок 3), приводит к проявлению динамической нагрузки (удара) при каждом контакте зуба колеса о зуб рейки.



а – в номинальном положении колеса; б – в случае максимального износа направляющих
Рисунок 3. – Направление вектора силы в зацеплении

Диаграммы изменения результирующего усилия в точке контакта и его величина приведены на рисунке 4.



а – при номинальном положении колеса;
б – при максимально допустимом износе направляющих
Рисунок 4. – Диаграммы изменения результирующего усилия в точке контакта
 цевочного колеса с рейкой

Величина пиковой нагрузки значительно выше оговоренных в технических характеристиках комбайна SL300NE и составляет:

- в номинальном положении 355 кН (выше на 12 %) в линейной части;
- в номинальном положении 470 кН (выше на 49 %) на стыке;
- при износе захватов комбайна 376 кН (выше на 19 %) в линейной части;
- при износе захватов комбайна 430 кН (выше на 36 %) на стыке.

3. Прочностной анализ

По факту поломки проушин зубчатых реек (рисунок 5) произведем прочностной анализ при действии номинального тягового усилия 315 кН (оговоренного в руководстве по эксплуатации комбайна SL300NE) и при максимальном пиковом – 470 кН (полученном в процессе моделирования зацепления).



Рисунок 5. – Излом проушины крепления зубчатой рейки

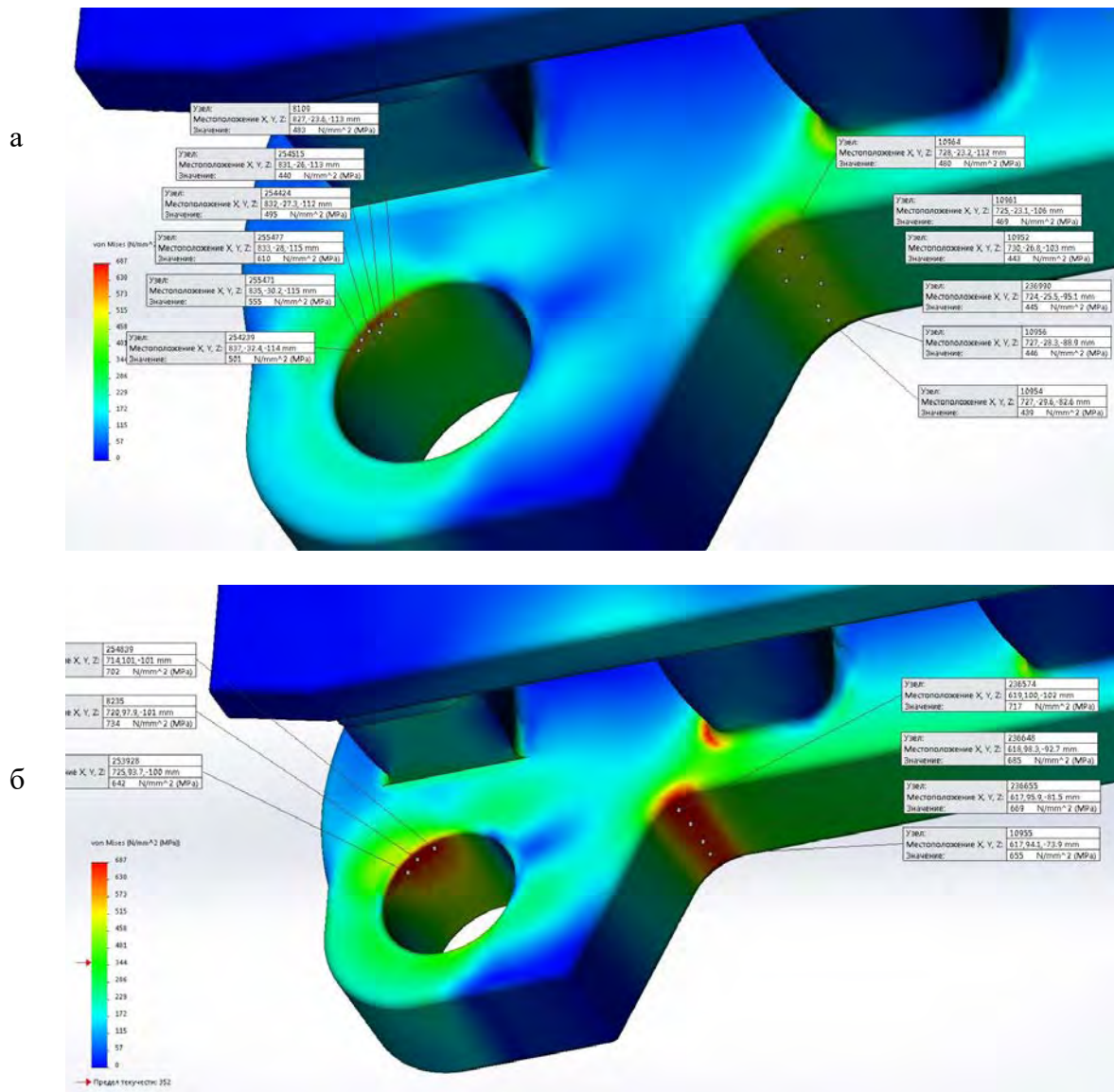
Результаты расчета приведены на рисунке 6.

При нагружении зубчатой рейки номинальной силой, приложенной на одну проушину, величина напряжений составляет:

- краевых напряжений на поверхности отверстия 500-610 МПа;
- напряжений растяжения на радиусе проушины 440- 480 МПа.

При нагружении зубчатой рейки максимальной (пиковой) силой, приложенной на одну проушину, величина напряжений составляет:

- кромочных напряжений на поверхности отверстия 642-734 МПа;
- напряжений растяжения на радиусе проушины 655-717 МПа.



а – при нагрузке 315 кН; б – при нагрузке 470 кН
Рисунок 6. – Напряженное состояние зубчатой рейки

Учитывая результаты проверки механических свойств (предел прочности составляет 850 МПа, предел текучести 0,852 предела прочности – 724 МПа), минимальный запас при номинальных нагрузках составит:

- по пределу прочности – 1,39-1,77;
- по пределу текучести – 1,18-1,5.

Минимальный запас прочности при пиковых нагрузках составит:

- по пределу прочности – 1,15-1,18;
- по пределу текучести – 0,98-1,01.

Выводы о причинах износа и поломок зубчатых реек

1. Ресурс рештачного става скребкового конвейера влияет на зазоры в соединении рештаков и изменении шага зацепления, что проявляется износом крайних зубьев реек и, как следствие, ведет к изменению шага с соседними зубьями рейки и их износу.

2. Износ направляющих комбайна изменяет межосевое расстояние между цевочным колесом и зубчатой рейкой, что для комбайнов SL300NE, комплектующихся цевочным колесом с 9 зубьями и не имеющих необходимого коэффициента перекрытия в зацеплении, приводит к возникновению пиковых динамических усилий (удара) в точке контакта значительно выше расчетной величины.

3. В комбайнах SL300N и SL500S, имеющих значительно большее тяговое усилие (596 кН и 488 кН), чем в комбайне SL300NE (315 кН) за счет распределения тягового усилия на две звезды, контактные усилия значительно ниже, чем у комбайна SL300NE, и составляют 298 кН и 244 кН против 315 кН, что составляет 94 % и 77 %, соответственно.

4. Учитывая погрешность вычислений не исключена вероятность поломки зубчатых реек динамическими нагрузками, вызванными отсутствием коэффициента перекрытия в зацеплении цевочное «колесо-зубчатая рейка».

5. Причиной износа и поломок зубчатых реек в лаве № 99 рудника 1 РУ является совокупность вышеперечисленных факторов.

Список использованных источников

1. Пертен, Ю.А. Конвейерные системы: справочник: в 2 ч. / Ю.А. Пертен. – СПб.: Профессия, 2010. – Ч. I. – 588 с.

2. Пертен, Ю.А. Конвейерные системы: справочник: в 2 ч. / Ю.А. Пертен. – СПб.: Профессия, 2010. – Ч. II. – 508 с.

3. Машины и оборудование для шахт и рудников: справочник / С.Х. Клорикьян [и др.]. – 6-е изд. – М.: Московский государственный горный университет, 2000. – 471 с.

Bublyk M.L., Burachonok V.P., Kharlamov V.N.

The study of health chainless feed system of the shearer SL300NE and rack rod scraper conveyors SPZ-1-228 in conditions of lava no. 99 mine 1 RU, JSC “Belaruskali”

In the course of the study, a comparative analysis of the operating conditions of gears on different lava was performed, the process of gearing in the nominal position of the impeller relative to the rack and in the case of the maximum permissible wear of the combine guides by 5 mm was simulated, and strength analysis was performed. It is established that the cause of wear and breakage of toothed slats is a set of factors: the resource of the grating rate of the scraper conveyor, wear of the combine guides, high values of the traction force per star, leading to high contact stresses, as well as the probability of the influence of dynamic loads caused by the lack of the overlap factor in the engagement of the “wheel-gear rack”.

Keywords: toothed rail, strength analysis, wear, fracture of eyelets.

Поступила в редакцию 29.08.2018 г.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.793.029:661.482(045)(476)

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ
НА ПОДЛОЖКАХ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

Овчинников Е.В. (УО «Гродненский государственный университет им. Янки Купалы», г. Гродно, Беларусь)

В работе изучены физико-механические свойства тонких антифрикционных покрытий на основе фторсодержащих олигомеров. Показано, что фторсодержащие олигомеры упрочняют поверхностные слои подложки, замедляют окислительные реакции и смещают их начало протекания в сторону больших температур. Воздействие энергетических факторов повышает прочностные характеристики твердых подложек с пленками ФСО. Пленки фторсодержащих олигомеров, сформированных на неметаллических подложках, образуют устойчивые покрытия, изменяющие адсорбционную активность поверхностных слоев углеграфитовых композиционных материалов, волокон, резинотехнических изделий в процессах взаимодействия с эксплуатационными средами.

Ключевые слова: *фторсодержащие олигомеры, физико-механические характеристики, покрытие, энергетическое воздействие.*

Введение

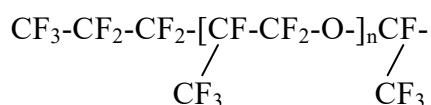
Согласно современным представлениям, нанесение поверхностно-активных веществ на поверхность поликристалла приводит к понижению прочности [1]. Эффект понижения прочности (имеется в виду внешний адсорбционный эффект, когда не протекает объемная диффузия и коррозионные явления) вызывается облегчением выхода дислокации на поверхность деформируемого кристалла в результате снижения поверхностной энергии твердого тела при адсорбции ПАВ [1-3]. Однако в ряде случаев при обработке кристаллов поверхностно-активными веществами на базе фторсодержащих олигомеров наблюдается эффект увеличения микротвердости и прочности металлов [4-6]. К настоящему времени исследования по структуре и свойствам тонкопленочных фторированных покрытий малочисленны. Так, в России проведены оценочные исследования о механизме формирования тонкопленочных покрытий из фторсодержащих олигомеров. Установлен эффект повышения прочности, износостойкости, снижения коэффициента трения трибосистемы «металл-металл». Установлено, что фторсодержащие олигомеры обладают уникальным противозносным действием при введении их в состав смазочных масел в качестве присадки. Исследования же свойств и структуры покрытий, получаемых из растворов фторсодержащих олигомеров или методами плазмохимии при воздействии различных видов технологических параметров (лазерного, рентгеновского, сверхвысокочастотного излучения, коронного разряда), практически отсутствуют.

Целью данной работы является исследование физико-механических характеристик материалов, обработанных фторсодержащими олигомерами, в зависимости от технологических факторов.

Методика исследований

Основными объектами исследований были выбраны тонкие пленки толщиной от 0,05 до 3 мкм, формируемые из разбавленных растворов олигомеров (0,5-2,0 мас. %) массой 2000-5000 ед., разработанные ФГУП «НИИ Синтетического каучука им. А.В. Лебедева».

В качестве компонента составов использовали фторсодержащие олигомеры общей формулы R_f-R_1 , где R_f – перфторированный алкильный радикал, возможно содержащий атомы кислорода:



где $n = 2-40$;

R_1 – функциональная группа, выбранная из ряда, включающего $-\text{COOH}$, $-\text{CONH}_2$, $-\text{ONHR}$ и $-\text{COR}_2$, где $R_2\text{-C}_1\text{-C}_2$ – алкил [1].

Пленки наносили окунанием очищенной и обезжиренной подложки в раствор соответствующего олигомера с последующим удалением растворителя путем естественного испарения при комнатной температуре. Для придания фторсодержащим покрытиям необходимых эксплуатационных характеристик их подвергли специальному энергетическому воздействию – лазерному, сверхвысокочастотному излучению, термообработке, облучению мягким рентгеновским излучением.

Термообработку проводили в специализированных термошкафах с автоматическим задатчиком температуры и реле времени. Температурный диапазон термообработки составлял от 373 К до 773 К, время экспозиции фторсодержащего олигомера при заданной температуре составляло 60 мин. Модифицирование тонкопленочных покрытий мягким рентгеновским излучением проведены на установке типа УРС-1.0 с медным антикатодом ($\text{CuK}_\alpha = 1,541 \text{ \AA}$) при $U = 40 \text{ кВ}$ и $I = 15 \text{ мкА}$. Продолжительность воздействия на обрабатываемое покрытие составляла от 15 до 60 минут. Для обработки лазерным излучением использовали твердотельный гранатовый лазер «Квант-15», который позволяет осуществлять локальную термообработку твердых поверхностей длиной волны лазерного излучения – 1,06 мкм с энергией импульса от 0,3 до 8 Дж.

Исследования трансформаций молекулярной и надмолекулярной структуры покрытий проводили методами ИК-спектроскопии (МНПВО), ДТА, рентгеноструктурного анализа по общепринятым методикам. Морфологию покрытий, топографию поверхностного слоя и фазовую структуру оценивали методом атомной силовой микроскопии (АСМ) с использованием программ обработки и визуализации изображений, разработанных ОДО «Микротестмашины».

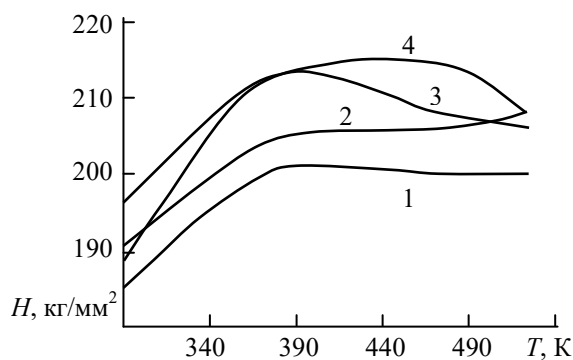
Результаты исследований

На рисунке 1 представлена зависимость микротвердости стальной подложки, обработанной различными марками фторсодержащих олигомеров, в зависимости от режима термообработки.

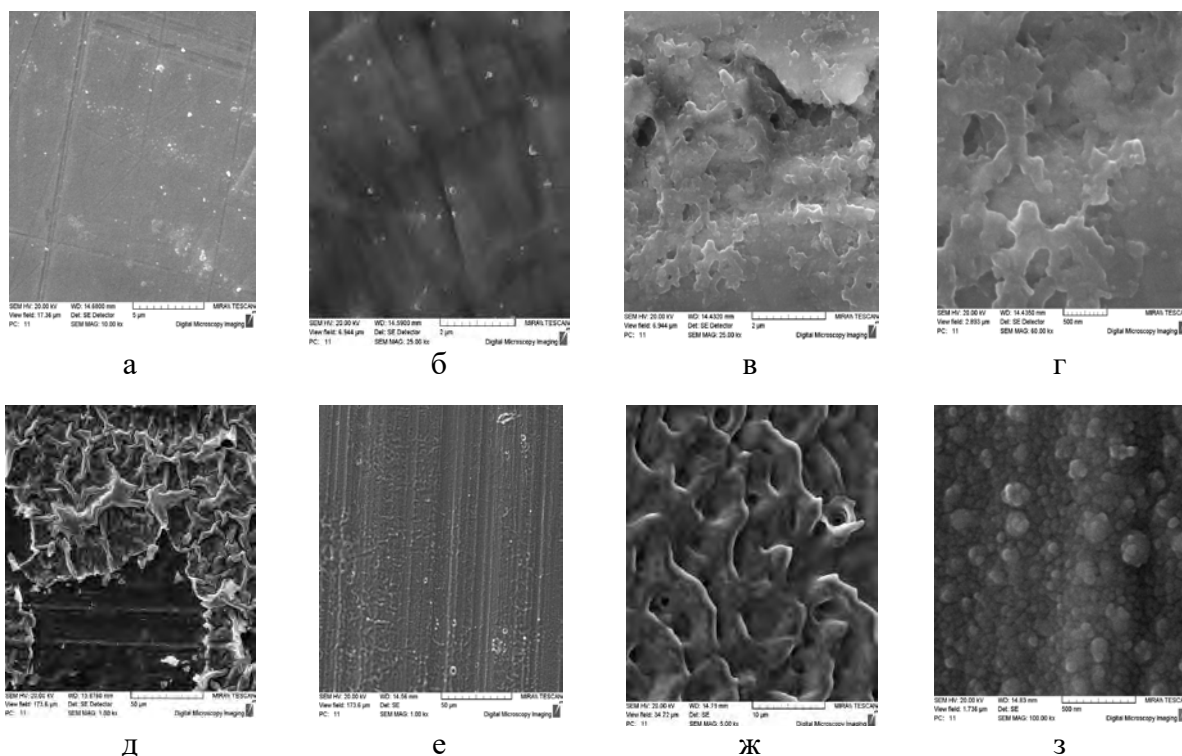
Нанесение фторсодержащих олигомеров во всех случаях приводит к увеличению значений микротвердости. Это можно объяснить процессом хемосорбции поляр-

ных молекул на поверхности стальной подложки, в результате чего происходит «залечивание» микродефектов в поверхностных слоях поликристаллов, и увеличением свободной энергии поверхностных слоев металла, в результате чего затрудняется выход дислокации на поверхность [6].

Хемосорбция данных марок фолеоксов на поверхность металла подтверждается появлением полосы поглощения в ИК-спектре в области $1610-1690\text{ см}^{-1}$, которая идентифицируется как полоса поглощения, принадлежащая солям металла $(\text{COO})_2\text{Me}$, $\text{Me}(\text{NH}_2)$, $\text{Me}(\text{NH}_3)$ [4-7]. Оптическая плотность полосы поглощения зависит от марки применяемого фолеокса, т.е. от его строения. Проведение термообработки приводит к дальнейшему увеличению значений микротвердости. В результате энергетического воздействия в тонкослойных композиционных покрытиях протекают кристаллизационные процессы (рисунок 2), что может объяснять эффект повышения значений микротвердости [5].



1 – сталь 45 (исходная); 2 – сталь 45 + В1; 3 – сталь 45 + ФАК-2; 4 – сталь 45 + Ф14
Рисунок 1. – Зависимость микротвердости стали 45, обработанной фторсодержащими олигомерами, от режима термообработки



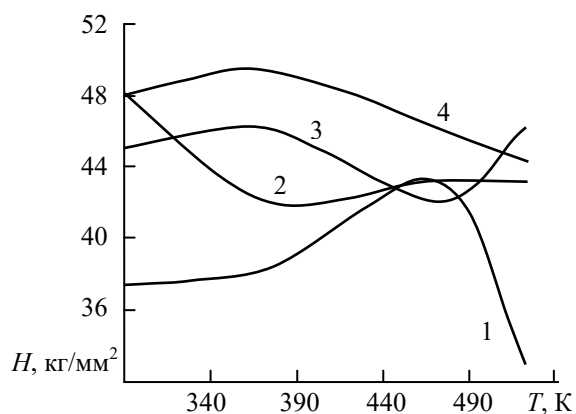
а, е, ж, з – подложка медь М-1; б, в, г, д – железо; а, б – обработка в растворе ФСО; в, г, д – облучение покрытия ФСО СВЧ-излучением (в, г – время 4 с, д – 8 с); е, ж, з – облучение покрытия ФСО лазерным излучением (10 импульсов с энергией в импульсе 75 мДж)

Рисунок 2. – Морфология пленок олигомеров Ф1 на металлах в зависимости от энергетической обработки

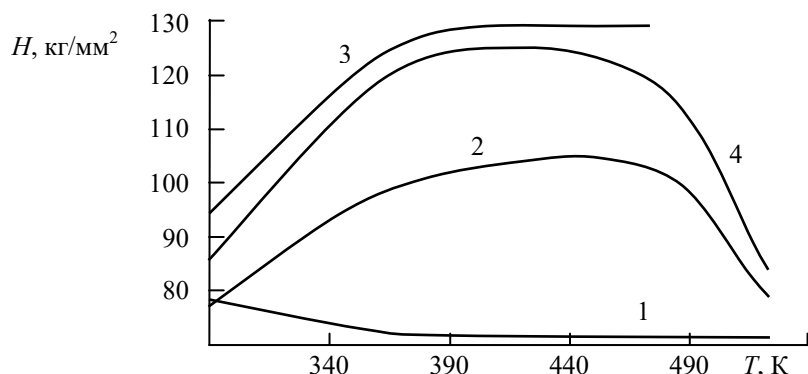
В области температур $T \sim 523$ К в пленках фторсодержащих олигомеров протекают деструкционные процессы, в результате чего наблюдается десорбция пленки с поверхности металла и, как следствие, снижение значений микротвердости.

Нанесение фторсодержащих олигомеров на алюминиевую подложку в ряде случаев приводит к уменьшению значений микротвердости (рисунок 3). Проведенные исследования структуры пленок фторсодержащих олигомеров методами ИК-спектроскопии показали, что при нанесении ФСО марки Ф14 не происходит образование хемосорбционных связей, которые обуславливают эффект Ребиндера. Проведение термообработки приводит к протеканию кристаллизационных процессов в тонких пленках фторсодержащих олигомеров.

На рисунках 4 и 5 представлены зависимости микротвердости подложки из меди и нитрида титана, обработанных различными марками фторсодержащих олигомеров.



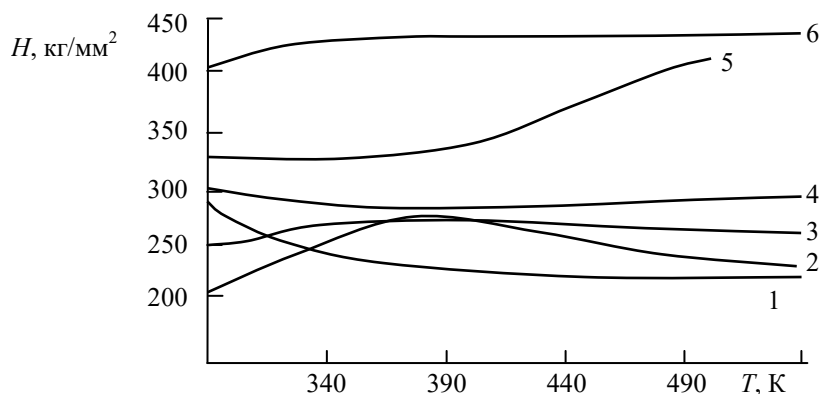
1 – алюминий + ФАК-2; 2 – алюминий + Ф14;
3 – алюминий; 4 – алюминий + В1
Рисунок 3. – Зависимость микротвердости алюминия, обработанного фторсодержащими олигомерами, от режима термообработки



1 – медь; 2 – медь + ФАК-2; 3 – медь + Ф1; 4 – медь + В1
Рисунок 4. – Зависимость микротвердости меди, обработанной фторсодержащими олигомерами, от режима термообработки

Как и в предыдущих случаях, эффект повышения микротвердости наблюдается в случае образования хемосорбционных связей между молекулами фторсодержащих олигомеров и подложкой. В случае, если данный процесс не происходит, наблюдается пластифицирование поверхностных слоев поликристалла. Термообработка фактически во всех случаях приводит к увеличению значений микротвердости. Применение мягкого рентгеновского, лазерного, сверхвысокочастотного излучения приводит к дальнейшему увеличению значений микротвердости модифицированных покрытий фторсодержащих соединений. Облучение покрытий фторсодержащих соединений, сформированных на медной, алюминиевой, стальной подложке (сталь 45), мягким рентгеновским излучением в течение 15 минут приводит к увеличению микротвердости до значений 133 кг/мм^2 ,

51 кг/мм², 223 кг/мм² соответственно. Одним из механизмов, объясняющих эффект повышения микротвердости металлических подложек, обработанных олигомерами, является «затекание» молекул олигомера в отпечаток после извлечения индентора из исследуемого материала. В результате чего наблюдается уменьшение диагонали отпечатка и, как следствие, повышение расчетного значения микротвердости.



1 – нитрид титана + фторопласт; 2 – нитрид титана + ФАК-2; 3 – нитрид титана + Ф14; 4 – нитрид титана; 5 – нитрид титана + ФАК; 6 – нитрид титана + Ф1
Рисунок 5. – Зависимость микротвердости нитрида титана, обработанного фторсодержащими олигомерами, от режима термообработки

Чтобы подтвердить или опровергнуть это предположение, были проведены эксперименты, позволяющие определить микротвердость металлов с покрытием из ФСО и после удаления фторсодержащего покрытия с поверхности металла. Для этого фторсодержащий олигомер удаляли с поверхности образца с помощью раствора хладона 113 и проводили измерение микротвердости металлов. Проведенные исследования показали, что удаление олигомера с поверхности фактически не влияет на результаты измерений значений микротвердости (рисунок 6). Таким образом, фторсодержащие олигомеры упрочняют поверхностные слои подложки в случае, если происходит образование химических (хемосорбционных) связей типа солей высших кислот между пленкой фторсодержащего олигомера и металла (подложкой) [8].

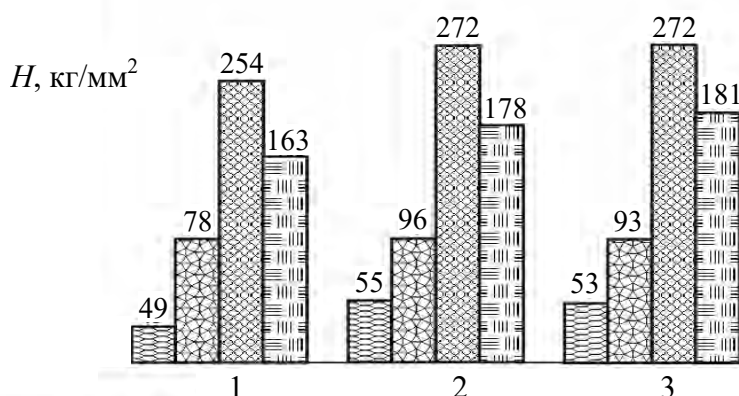


Рисунок 6. – Зависимость микротвердости подложек (Al, Cu, TiN, Fe) (1), однократно обработанных ФСО (2) и после удаления ФСО хладоном 113 с поверхности металла (3)

В случае, если не происходит образование хемосорбционного взаимодействия между молекулами олигомера и подложкой, происходит пластифицирование поверхностных слоев поликристаллов. Энергетическая обработка интенсифицирует процессы кристаллообразования в тонких пленках, в результате повышается микротвердость тонкослойного композиционного покрытия.

Энергетическое воздействие интенсифицирует процессы кристаллообразования в тонких пленках, в результате повышается микротвердость тонкослойного композиционного покрытия. Влияние фторсодержащих олигомеров на физико-механические характеристики материалов на неметаллической матрице неоднозначна.

Обработка фторсодержащими олигомерами графитовых материалов приводит к существенному изменению структуры графитовой композиции, что сказывается на стойкости к воздействию агрессивных сред, в частности, концентрированных кислот. Так, «Фолеокс» Ф8 несколько снижает аморфизацию углеродсодержащего материала, в то время как Ф14, Ф15 полностью блокируют действие эксплуатационной среды на процессы аморфизации.

Механизм различного действия исследованных покрытий из фторсодержащих олигомеров объясняется наличием функциональных групп различного строения. Фторсодержащие олигомеры, имеющие в своем составе активные группы $-COOH$, не обеспечивают блокирование диффузии кислотных групп среды.

Обработка поверхности углеграфитового образца обеспечивает проникновение молекул олигомера к активным центрам углеродного материала и их блокирование. Это способствует снижению поверхностной энергии материала и уменьшению его смачивания различными технологическими средами. Состав подложки не оказывает существенного влияния на характер смачивания. Установлено, что углеграфитовая подложка обладает в исходном состоянии большей дефектностью и высокой активностью поверхности.

Защитные характеристики фторсодержащих пленок на поверхности углеграфитовых материалов зависят от строения молекулы фторсодержащего олигомера. Установлено, что неполярные олигомеры образуют дефектную пленку на всей поверхности подложки, и поэтому воздействие кислых сред приводит к образованию развитого рельефа и увеличению удельной поверхности. Обработка фторсодержащими олигомерами углеграфитовых нитей приводит к изменению их прочности и теплофизических характеристик. Температура начала интенсивной термоокислительной деструкции на воздухе сдвигается в область более высоких значений. Строение олигомера оказывает влияние на кинетику процесса термоокисления: олигомеры, содержащие активные кислотные группы, катализируют этот процесс, а не содержащие таких групп – ингибируют. Гидрофобность обработанных углеграфитовых волокон зависит от марки применяемого олигомера. Модифицирование волокон фторсодержащими олигомерами влияет на их триботехнические свойства, что проявляется в изменении значений коэффициента трения и износостойкости. Увеличение значения коэффициента трения (при выбранной схеме испытаний) объясняется увеличением адгезионной составляющей силы трения в связи с образованием на поверхности волокна олигомерных пленок со сравнительно невысокими прочностными характеристиками. Увеличение износостойкости объясняется заполнением микродефектов на поверхности волокна фторсодержащими олигомерами. Роль модифицирующей пленки сводится к закреплению единичных моноволокон, составляющих макроволокно, и уменьшению их подвижности в процессах передеформирования, что сказывается благоприятно на износостойкости волокна в целом.

Модифицирование фторсодержащими олигомерами полимерных материалов, содержащих углеродные наполнители, приводит к улучшению физико-механических характеристик. Исходя из того, что износостойкость наполненных композиционных материалов определяется прочностью адгезионной связи на границе раздела «полимерная матрица-наполнитель», проведение предварительного аппретирования углеродных волокон будет благоприятно сказываться на физико-механических характеристиках политетрафторэтилена, модифицированного данными волокнами (композиционный материал выпускают под торговыми марками «Флубон», «Флувис»). Установлено, что введение олигомера в полимерную матрицу путем предварительного аппретирования углеродного волокна приводит к образованию кристаллических фаз на границе раздела «волокно-полимерная матрица», увеличивая адгезионную прочность связи. Аппретирование углеродного наполнителя фторсодержащим олигомером значительно снижает износ на стадии приработки металлической системы. Применение фторсодержащих олигомеров в качестве аппретов при создании композиционных материалов на основе политетрафторэтилена существенно улучшает комплекс служебных характеристик.

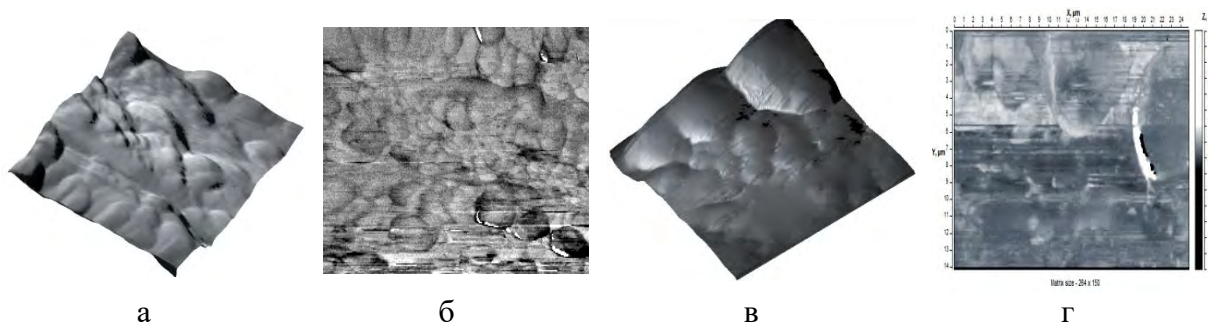
Проведенные исследования по изучению структуры и физико-механических характеристик эластомеров, обработанных фторсодержащими олигомерами, показали, что обработка фторсодержащими олигомерами позволяет улучшить триботехнические характеристики изделий из резин. Полярный олигомер после энергетического воздействия, очевидно, вступает во взаимодействие с активными центрами макромолекулы каучука. Это снижает адгезионную активность резины в процессах трения по металлу. Для практических целей целесообразно применять пленки из неполярных олигомеров, которые не только повышают термоокислительную стойкость, но и снижают коэффициент трения пары «вулканизат-сталь».

Установлено, что фторсодержащие олигомеры в зависимости от строения оказывают различное защитное действие на полиамидные волокна. Покрытия, образованные из полярных фторсодержащих олигомеров, оказывают более эффективное защитное действие к воздействию агрессивных сред, чем покрытия, сформированные из неполярных олигомеров (таблица).

Таблица. – Зависимость параметра предела прочности при растяжении σ_{np} модифицированного полиамидного волокна

Предел прочности при растяжении	Марка фолеокса			
	н/о	Ф1	Ф14	ФАК-2
σ_{np} , МПа	17,5	19,4	19,9	19,1
σ_{np} , МПа (после обработки в агрессивной среде)	8,9	19,1	12,1	11,2

Различие в морфологии поверхности существенным образом сказывается на прочностных свойствах волокон. Воздействие внешних факторов существенно изменяет морфологию тонкопленочных покрытий, в большинстве случаев интенсифицируя процессы кристаллизации в покрытиях (рисунок 7). Таким образом, обработка металлических субстратов фторсодержащими олигомерами приводит к упрочнению их поверхностных слоев, к замедлению протекания окислительных реакций и смещению их в сторону больших температур.



а, б – волокно, модифицированное фтороксом Ф14; в, г – модифицированное волокно после воздействия агрессивной среды; б, г – фазовый анализ
Рисунок 7. – Морфология полиамидного волокна (поле сканирования 16,0 × 16,0 мкм)

Воздействие технологических факторов повышает прочностные характеристики твердых подложек с пленками фторсодержащих олигомеров. Покрытия фторсодержащих олигомеров, сформированные на неметаллических подложках, образуют устойчивые пленки, изменяющие адсорбционную активность поверхностных слоев углеродистых композиционных материалов, волокон, резинотехнических изделий в процессах взаимодействия с эксплуатационными средами.

Заключение

Таким образом, обработка металлов фторсодержащими олигомерами приводит к упрочнению поверхностных слоев металлов, к замедлению протекания окислительных реакций и смещению их в сторону больших температур. Воздействие технологических факторов повышает прочностные характеристики твердых подложек с пленками фторсодержащих олигомеров. Полярные олигомеры формируют адгезионно прочные пленки. Покрытия фторсодержащих олигомеров, сформированные на неметаллических подложках, образуют устойчивые пленки, изменяющие адсорбционную активность поверхностных слоев углеродистых композиционных материалов, волокон, резинотехнических изделий в процессах взаимодействия с эксплуатационными средами. Полярные олигомеры более эффективны, чем неполярные. Модифицированные изделия обладают высокой гидрофобностью, устойчивостью к воздействию термоокислительных и агрессивных сред. Полимерные и олигомерные пленки толщиной 0,1-1,8 мкм на подложках из нитрида титана модифицированного хрома уменьшают адгезионное взаимодействие на границе раздела с другими материалами.

Список использованных источников

1. Тонкие пленки воды: особенности структуры и диэлектрических характеристик / В.А. Лиопо [и др.] // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы Девятой ежегодной международн. промышл. конф., п. Славское, Карпаты, 9-13 февр. 2009 г. / УИЦ «Наука. Техника. Технология»; под ред. З.Ю. Главацкой. – Киев, 2009. – С. 38-42.

2. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Издательство МСХА, 2001. – 616 с.

3. Ребиндер, П.А. Значение физико-химических процессов при механическом разрушении и обработке твердых тел в технике / П.А. Ребиндер // Вестник АН СССР. – 1940. – Вып. 8-9. – С. 763-786.

4. Вейдлер, С.Я. Действие смазок при обработке металлов давлением / С.Я. Вейдлер, В.И. Лихтман. – М.: АН СССР, 1960. – 371 с.

5. Особенности структуры низкоразмерных фторсодержащих частиц, полученных методом термогазодинамического синтеза / А.К. Цветников [и др.] // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XV междунар. науч.-технич. конф., Севастополь, 15-20 сент. 2008 г. / ДонНТУ; под ред. А.Н. Михайлова. – Донецк, 2008. – Т. 3. – С. 284-287.

6. Защитные характеристики тонкопленочных фторсодержащих покрытий в узлах трения сельскохозяйственной техники / В.А. Струк [и др.] // Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-технич. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения д.т.н., проф. Скотникова В.А., Минск, 11-14 февр. 2009 г. / Белорус. гос. аграрн. технич. ун-т; редкол.: А.В. Кузьмицкий [и др.]. – Минск, 2009. – С. 287-290.

7. Нанокпозиционные фторсодержащие материалы для узлов трения автотракторной техники и сельскохозяйственного оборудования / А.А. Рыскулов [и др.] // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XVI междунар. науч.-технич. конф., Севастополь, 14-19 сентября 2009 г.: в 4 т. / ДонНТУ; под ред. А.Н. Михайлова. – Донецк, 2009. – Т. 3. – С. 73-85.

8. Овчинников, Е.В. Тонкие пленки фторсодержащих олигомеров: основы синтеза, свойства и применение / Е.В. Овчинников, В.А. Струк, В.А. Губанов. – Гродно: ГГАУ, 2007. – 326 с.

Auchynnikaŭ Ya.V.

Physico-mechanical characteristics of fluorinating coatings formed on substruc-tions of various nature

The paper studies the physical and mechanical properties of thin antifriction coatings based on fluorine-containing oligomers. It is shown that fluorine-containing oligomers strengthen the surface layers of the substrate, slow oxidative reactions and shift their onset of flow toward high temperatures. The effect of energy factors increases the strength characteristics of solid substrates with FSO films. Films of fluorine-containing oligomers formed on nonmetallic substrates form stable films that alter the adsorption activity of surface layers of carbon-graphite composite materials, fibers, rubber products in processes of interaction with operating environments.

Keywords: fluorine-containing oligomers, physical and mechanical characteristics, coating, energy impact.

Поступила в редакцию 31.07.2018 г.

УДК 678.073.09(045)(476)

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Шутова Е.А. (УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина», г. Мозырь, Беларусь), Шаповалов В.М. (ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель, Беларусь)

В статье представлены основные подходы физического модифицирования полимерных композиционных материалов путем введения в них дисперсных наполнителей, являющихся также и отходами производства. Сделана попытка просто и сравнительно доступно изложить наиболее важные сведения о применимости дисперсных наполнителей и их влиянии на механические характеристики композита.

Ключевые слова: *вторичные термопластичные полимеры, физическое модифицирование, дисперсные наполнители, композиционные материалы, свойства.*

Введение

Одним из перспективных направлений в области композиционного материаловедения представляется создание полимерных композитов на основе термопластичных полимеров. Особое место среди них занимают отходы термопластов, представляющие собой один из наиболее перспективных компонентов композитов. Это обусловлено не только возможностью решения вопросов ресурсосбережения и охраны окружающей среды, но и необходимостью снижения себестоимости материалов и сохранения углеводородного сырья. Важнейшей задачей при применении вторичных полимеров для получения технически ценных изделий является подбор функциональных добавок, влияющих на совместимость в композиционном материале полимерных компонентов и стабильность его структуры и эксплуатационных свойств. В связи с этим большое значение приобретает разработка новых композиционных материалов на основе модифицированных отходов полимеров и, прежде всего, физического модифицирования, что позволяет создавать материалы, во многом конкурирующие с композитами на основе первичных полимеров. Поэтому исследования дисперсных наполнителей, определяющих их эффективность при разработке новых и усовершенствованных композитов, соответствуют приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь и являются актуальными.

Анализ функциональных наполнителей

Развитие композиционных материалов в настоящее время обусловлено тем, что традиционные материалы уже не всегда или не вполне отвечают потребностям современной инженерной практики [1].

Одним из подходов в этом направлении является физическое модифицирование полимеров путем введения в них дисперсных наполнителей, обеспечивающих необходимые механические характеристики материала [2]. В качестве наполнителей используются самые разнообразные искусственные и природные вещества в различных формах (крупноразмерные, листовые, волокнистые, дисперсные, мелкодисперсные, микродисперсные, наночастицы). Наполнитель, как правило, определяет прочность, жесткость и деформируемость композита, а матрица обеспечивает его монолитность, передачу напряжений и стойкость к различным внешним воздействиям. Путем подбора со-

става и свойств наполнителя и матрицы (связующего), их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. При этом компоненты в композиционной системе должны целенаправленно взаимодействовать на границе их раздела, а их недостатки полностью или частично нивелироваться [3, 4].

Анализ классификационной схемы (рисунок 1) показывает, что композиты определяются по природе компонентов, структуре композита, геометрии наполнителя, содержанию компонентов в материале, расположению компонентов [5-7]. Особое место занимают декоративные композиционные материалы и композитные материалы со специальными свойствами, например радиопрозрачные материалы и радиопоглощающие материалы, материалы для тепловой защиты орбитальных космических аппаратов, материалы с малым коэффициентом линейного термического расширения и высоким удельным модулем упругости и другие.



Рисунок 1. – Классификация композиционных материалов

Наиболее интенсивно композиционные материалы используются в промышленности, в том числе в жилищном, промышленном и специальном строительстве, общем и специальном машиностроении, металлургии, химической промышленности, энергетике, электронике, бытовой технике, производстве одежды и обуви, медицине, спорте, искусстве и т.д.

На рисунке 2 отражена классификация дисперсных наполнителей. Наполнители должны быть эффективны с точки зрения выполняемой ими функции, и их применение должно быть экономически выгодным. Однако улучшение одного свойства может привести к ухудшению других. Окончательный выбор наполнителя определяется всем комплексом его воздействий на данный материал. Кроме того, эффективность наполнителя зависит, от правильного выбора способа его введения в полимер.

Дисперсные наполнители различаются по размерам частиц, полидисперсности (распределению по размерам), а также по форме частиц и характеру их упаковки.

Для производства полимерных композиционных материалов применяются наполнители со сферическими (диоксид кремния, стеклошарики), кубическими (сажа, полевой шпат), чешуйчатыми (каолин, тальк) формами частиц, с частицами в виде параллелепипеда (полевой шпат, белая сажа) или игольчатой формы (шамот) [8]. Степень дисперсности добавки существенно влияет на эксплуатационные свойства композиций

и поэтому является важной характеристикой, которую можно подразделить на следующие типы: ультрадисперсные – 0,1-5 мкм, высокодисперсные – 5-30 мкм, дисперсные – 30-100 мкм.

Размеры частиц наполнителя определяют такие их свойства как плотность упаковки, способность к агрегации, удельную поверхность и поверхностную энергию [7, 9, 10].

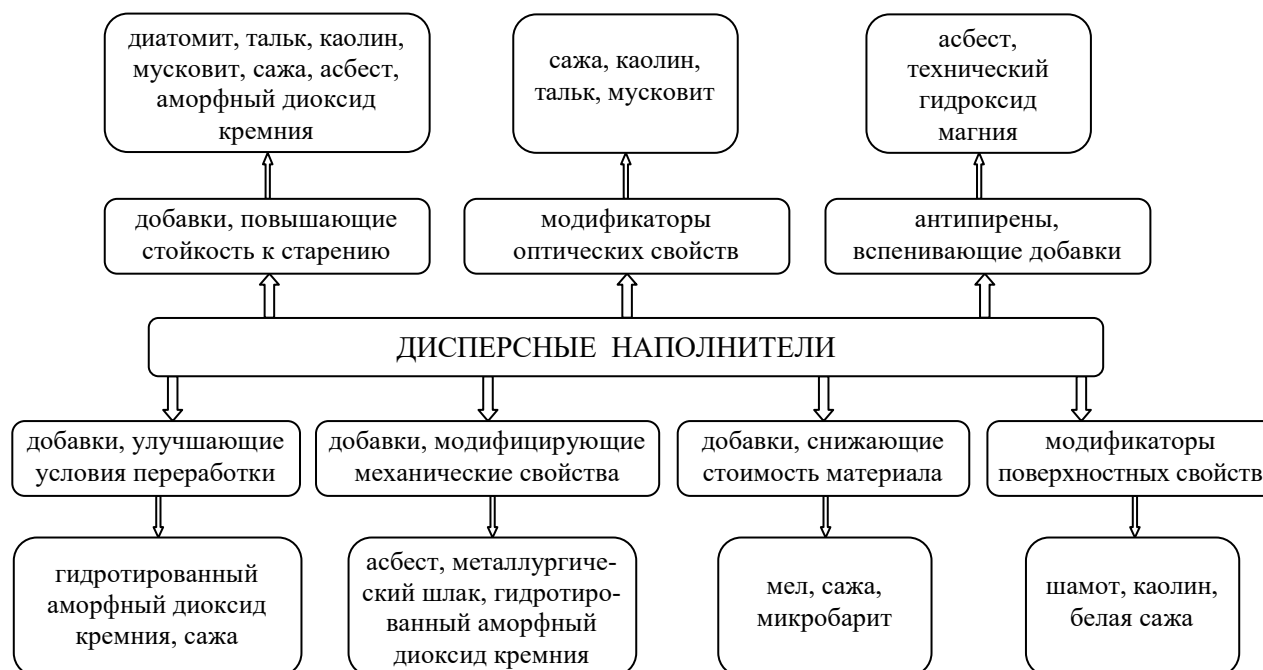


Рисунок 2. – Классификация дисперсных наполнителей для термопластичных полимеров

Основной характеристикой плотности упаковки дисперсных наполнителей является коэффициент упаковки, который определяет максимальную объемную долю ϕ_m дисперсной фазы в заданном объеме. Для дисперсных наполнителей с размером частиц, > 40 мкм, параметр ϕ_m практически не зависит от размера частицы и равен среднестатистической плотности кубической упаковки частиц (0,55). С уменьшением размера частиц плотность их упаковки и параметр ϕ_m снижаются, особенно быстро при размере частиц < 10 мкм. Это связано как с изменением формы частиц, так и с образованием достаточно прочных и крупных агрегатов из отдельных частиц. При этом в системе присутствуют два вида пор – внутри агрегата и вне его, причем суммарная пористость возрастает, что ведет к снижению параметра ϕ_m . Таким образом, способность наполнителей образовывать агрегаты начинает проявляться при размере частиц < 40 мкм [4].

Увеличение удельной поверхности наполнителя приводит к возрастанию доли граничного слоя в системе полимер-наполнитель и росту протяженности границы раздела фаз в композиционных материалах. Также частица наполнителя является концентратором напряжений, и при приложении механических нагрузок к композиционному материалу вокруг частицы наполнителя возникают напряжения, уровень которых зависит от прикладываемой внешней нагрузки и размера частицы. При смешении компонентов и формировании структуры композиционного материала диспергируемость наполнителя с размером частиц < 40 мкм в массе полимера зависит от вязкости полимера, параметров смешения, состояния смесительного оборудования, работы диспергирования, которая сопровождается разрушением исходных агрегатов наполнителя в процессе

смешения. Разрушение агрегатов приводит к возрастанию ϕ_m наполнителя в композиционном материале по сравнению со значением ϕ_m для исходного наполнителя, а также к повышению плотности его упаковки в полимерной матрице и снижению уровня внутренних напряжений вокруг частицы наполнителя [9, 11].

Качество и выход продукта, получаемого в процессе переработки полимеров, определяется следующими наиболее важными факторами: стойкостью полимера к термической деструкции, вязкостью расплава, трением между полимерным расплавом и металлической поверхностью оборудования для переработки [6, 7].

Повышение термостабильности полимеров позволяет перерабатывать их при повышенных температурах, в результате чего снижается вязкость расплава и возрастает производительность процесса. При этом не наблюдается такое нежелательное явление как деструкция, приводящая к ухудшению физических свойств и изменению цвета. Фрикционное взаимодействие полимерного расплава с металлической поверхностью оборудования также необходимо учитывать, так как оно определяет время пребывания полимерных молекул у поверхности раздела, а, следовательно, вероятность подвергнуться химическим изменениям [12].

Поверхностные свойства полимеров во всех случаях зависят от таких факторов, как состояние поверхности (шероховатость), полярность химических групп и наличие особого пограничного слоя, состоящего из материала другой природы относительно композиционных материалов, обуславливают адгезионные взаимодействия в исследуемой системе.

К наполнителям, оказывающим влияние на какой-либо из перечисленных факторов, следует отнести [8, 13]:

- наполнители, увеличивающие шероховатость поверхности. Часто требуется повысить шероховатость поверхности композита (на микроскопическом уровне) для ослабления контакта с другими компонентами или необходимости повышения износостойкости. Такой эффект можно получить введением в полимер тонких жестких (белая сажа, микробарит, шамот) или каучукоподобных частиц. Нерегулярность параметров поверхности возникает в результате микроразрывов или различной степени релаксации и усадки в разных точках поверхности соприкосновения расплава с поверхностью частиц в процессе переработки;

- наполнители, образующие пограничный слой на поверхности композита в результате их проступания из объема полимера. Такие пограничные слои предназначены для снижения трения и износа и уменьшения возможности образования электростатических зарядов [13].

Для машиностроительных материалов важной характеристикой является атмосферостойкость. Процесс старения характеризуется деструкцией материала под действием радиации, температуры, кислорода, воды и других атмосферных агентов (например, газов), а также микроорганизмов [8, 13].

Одним из направлений, обеспечивающим повышение огнестойкости композиционных материалов, является введение в них частиц ультрананоструктурного размера [6-8, 12, 13].

Применение дисперсных минеральных наполнителей является высокоэффективным способом регулирования свойств полимерных композиционных материалов. Наиболее широко в качестве тонкодисперсных минеральных наполнителей используются различные природные и синтетические силикаты: кремнезем, кварц, синтетический диоксид кремния различных модификаций, каолин, слюда, тальк, асбест, стекло, нефелин и многие другие [14]. Однако возможности повышения свойств полимерных композитов путем введения традиционных наполнителей практически исчерпаны. Разработка новых материалов требует вовлечения в их состав все более дорогостоящих компонентов, поэтому стоимость новых материалов имеет тенденцию к резкому их повышению [15].

В связи с этим создание новых поколений полимерных композитов должно идти не по пути поиска и синтеза новых все более уникальных наполнителей и модификаторов, а по пути использования известных, но переведенных в такое состояние, которое позволит использовать их для достижения поставленных целей в весьма ограниченном количестве. Одним из самых перспективных путей в этом направлении является перевод вещества в ультрадисперсное состояние, когда размер частиц становится соизмеримым с радиусом действия сил межатомного взаимодействия, и когда поверхностная энергия становится сравнимой с энергией когезии вещества. В связи с этим в материаловедении особенно бурно развивается нанотехнологическое направление, позволяющее регулировать фазовый состав и структуру материала в пределах ультрананоразмерных областей (0,1-100 нм) [16].

Наиболее перспективными дисперсными наполнителями, используемыми в производстве полимерных композитов, являются сажа (технический углерод) с размером частиц 5-50 мкм, мел с размером частиц 1-50 мкм, каолин с размером частиц от 100 нм до 10 мкм, асбест с размером частиц 1-50 мкм, шамот с размером частиц 30-50 мкм, тальк с размером частиц 10-50 мкм, отходы шлифовального производства (ОШП) с размером частиц от 100 нм до 5 мкм, осажденный (гидратированный) аморфный диоксид кремния, бентонит, отходы химического производства (кремнегель) [4].

Обзор представленных наполнителей показал, что практически все наполнители могут быть использованы для физического модифицирования термопластичных полимеров. Однако применительно к вторичным термопластам необходим учет их физико-химического состояния после переработки и хранения, а также стоимостной показатель, так как, в противном случае, эффект достижения более высоких показателей прочности композитов будет нивелироваться увеличением их стоимости. Поэтому представляется целесообразным при создании композиционных систем на основе отходов полимеров рассмотреть дисперсные наполнители, являющиеся отходами производств и обладающие доступностью, недефектностью и невысокой стоимостью. К этому роду дисперсных частиц следует отнести: химически осажденный диоксид кремния, отходы переработки стекла, отходы металлургического производства, бентонит, отходы шлифовального производства, отходы химического производства (кремнегель). При этом важно учитывать возможность их дальнейшего диспергирования в частицы ультрадисперсного размера, например, в специальных технологических жидкостях [10, 17-20].

В то же время проблемы, возникающие при получении композитов с такого рода частицами, связаны, главным образом, с трудностью равномерного распределения частиц наполнителя в объеме материала и их агломерированием [21], что влечет за собой образование обширных дефектных зон и отсутствие стабильности (равномерности) прочностных свойств по длине изделия, а, следовательно, невозможность применения таких материалов в ответственных узлах машин и механизмов, вследствие снижения их надежности в процессе эксплуатации.

При разработке новых композиционных материалов на основе модифицированных отходов полимеров особое внимание необходимо уделить подбору дисперсного наполнителя. Его правильный выбор позволит проводить целенаправленное регулирование характера его распределения в полимере, уровень взаимодействия в системе полимер-наполнитель и контактного сопротивления между частицами в процессе переработки. В результате появляется возможность в широких пределах варьировать прочностными и эксплуатационными свойствами композиционного материала [18, 19].

Важнейшим показателем, оказывающим влияние на свойства таких композитов, является размер частиц наполнителя. Особенно это проявляется в процессе модифициро-

вания полимерной матрицы, так как вторичные термопласты имеют пониженные прочностные и технологические свойства. Сочетание в композите различной дисперсности частиц наполнителя (гибридности) дает возможность активации полимерной матрицы и создания на ее основе однородной структуры. Усиление этого эффекта можно достигнуть и дополнительным диспергированием частиц наполнителя в технологических жидкостях [1, 20]. Это требует систематизированных исследований, так как применительно к вышеуказанным наполнителям в сочетании с вторичными термопластичными полимерами, в особенности смесями вторичных термопластов, эти вопросы практически не изучены.

Заключение

Анализ представленных наполнителей показал, что особое внимание необходимо уделить таким перспективным наполнителям как диоксид кремния, бентонит, отходы переработки силикатного стекла, отходы металлургического производства, отходы шлифовального производства, отходы химического производства (кремнегель), взаимодействие которых с расплавами вторичных термопластов практически не исследованы. Особое место в этом направлении следует отвести композиционным системам с использованием смесей полиолефинов, где практически не изучены процессы структурообразования материалов в присутствии высокодисперсных частиц, закономерности их совместимости в процессах экструзионной переработки, а также рецептурно-технологические особенности формирования изделий на основе исследуемых композиционных систем, где важное значение приобретает стабильность механических свойств, стойкость к агрессивным средам, адгезионное взаимодействие в системе полимер-наполнитель и структурная однородность материала. Важно учитывать, что вовлечение в процесс переработки вторичных термопластичных полимеров доступных и экономически выгодных наполнителей будет обеспечивать создание композиционных материалов с низкой потребительской ценой и приемлемыми свойствами, а также способствовать решению проблемы охраны окружающей среды.

Список использованных источников

1. Проничев, Д.В. Композиционные материалы: учебно-методическое пособие / Д.В. Проничев, О.В. Слаутин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2017. – 92 с.
2. Еренков, О.Ю. Инновационные технологии полимерных композиционных материалов / О.Ю. Еренков, С.А. Ковальчук. – Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т, 2016. – 187 с.
3. Композиционные материалы / В.В. Васильев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
4. Иванов, Н.Б. Основы технологии новых материалов: учебное пособие / Н.Б. Иванов. – Казань: КНИТУ, 2014. – 155 с.
5. Карпов, Я.С. Композиционные материалы: компоненты, структура, переработка в изделия / Я.С. Карпов, О.В. Ивановская. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т, 2001. – 153 с.
6. Петроченков, Р.Г. Композиты на минеральных заполнителях: учеб. пособие для вузов: в 2 т. / Р.Г. Петроченков. – М.: МГГУ, 2005. – Т. 1: Механика строительных композитов. – 331 с.
7. Петроченков, Р.Г. Композиты на минеральных заполнителях: учеб. пособие для вузов: в 2 т. / Р.Г. Петроченков. – М.: МГГУ, 2005. – Т. 2: Проектирование составов строительных композитов. – 349 с.
8. Шаповалов, В.М. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов / В.М. Шаповалов, З.Л. Тартаковский; под общ. ред. чл.-кор. НАН Беларуси Ю.М. Плескачевского. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2003. – 262 с.

9. Плескачевский, Ю.М. Проблемы рециклинга полимерных материалов в Республике Беларусь / Ю.М. Плескачевский, М.Г. Таврогинская, В.М. Шаповалов // Охрана окружающей среды на транспорте и в промышленности: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 20-21 сент. 2001 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2001. – С. 11-30.
10. Ананьин, С.В. Композиционные материалы: учебное пособие: в 2 ч. / С.В. Ананьин, Е.С. Ананьева, В.Б. Маркин. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – Ч. 2. – 94 с.
11. Капитонов, А.М. Физико-механические свойства композиционных материалов. Упругие свойства / А.М. Капитонов, В.Е. Редькин. – Красноярск: Сибир. федер. ун-т, 2013. – 532 с.
12. Ставров, В.П. Формообразование изделий из композиционных материалов: учеб. пособие / В.П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.
13. Травин, О.В. Материаловедение: учеб. пособие / О.В. Травин, Н.Т. Травина. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
14. Артемьев, В.А. Об ослаблении рентгеновского излучения ультрадисперсными средами / В.А. Артемьев // Письма в ЖТФ. – 1997. – Т. 23, № 6. – С. 5-9.
15. Новые композиционные и керамические материалы: учеб. пособие / В.А. Жилиев [и др.]. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2010. – 114 с.
16. Симонов-Емельянов, И.Д. Влияние размера частиц наполнителя на некоторые характеристики полимеров / И.Д. Симонов-Емельянов, В.Н. Кулезнев, Л.З. Трофимичева // Пластические массы. – 1989. – № 5. – С. 61-64.
17. Наполнители полимерных композиционных материалов: справочное пособие / под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1981. – 726 с.
18. Функциональные наполнители для пластмасс / под ред. В.Н. Кулезнева. – М.: Научные основы и технологии, 2010. – 576 с.
19. Пахаренко, В.А. Пластмассы в строительстве / В.А. Пахаренко, В.В. Пахаренко, Р.А. Яковлева. – М.: Научные основы и технологии, 2010. – 400 с.
20. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин. – М.: Научные основы и технологии, 2008. – 822 с.
21. Люткевичус, М. Влияние дисперсных частиц на напряженное состояние в композитах с полимерной матрицей / М. Люткевичус, И. Сапрагонас // Механика. – 1999. – № 2 (217). – С. 9-15.

Shutova E.A., Shapovalov V.M.

Physical modification of composite materials based on recycled thermoplastic polymers

The main approaches of physical modification of polymeric composite materials by introducing inside dispersed fillers known as waste products are presented in the article. The author submits the information in a simple and comparatively available way with the aim to describe the applicability of dispersed fillers and their effect on the mechanical properties.

Keywords: secondary thermoplastic polymers, physical modification, dispersed fillers, composite materials, properties.

Поступила в редакцию 30.05.2018 г.

УДК 678.744.326

ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНКАХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИНСЕКТИЦИДАМИ

Лашкина Е.В. (УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель, Беларусь)

Изучены диффузионные процессы, протекающие в инсектицидных полимерных материалах. Представлена кинетическая зависимость выделения жидкой фазы с поверхности композиционной полиэтиленовой пленки состава ПЭВД/ДОФ/инсектицид. Показано, что введение в полимерную композицию инсектицидных добавок является эффективным способом модифицирования, позволяющим создавать новые функциональные упаковочные материалы для защиты непродовольственных товаров от биоповреждений. Инсектицидные пленочные материалы могут быть получены стандартными методами переработки полимеров.

Ключевые слова: *инсектициды, полимерные композиционные материалы, синерезис, коэффициент газопроницаемости, водопоглощение, кератинсодержащие изделия.*

Введение

В настоящее время приоритетным направлением фундаментальных и прикладных научных исследований в области материаловедения является разработка новых многофункциональных материалов с заданным комплексом свойств.

Потребность в создании полимерных композиционных материалов с высоким комплексом защитных свойств в различных отраслях промышленности и на транспорте непрерывно возрастает. Полимерные пленки занимают лидирующие позиции в мире среди различных материалов, поскольку сохраняют высокое качество упакованных в них товаров в течение длительного срока, имеют минимальную массу, толщину, стоимость.

Актуальным является получение активных (многофункциональных) инсектицидных полимерных пленочных материалов, сочетающих в себе уникальные физико-механические свойства, характерные для полимеров, и функциональную активность вводимых модификаторов, которая существенно расширяет технические возможности применения материалов.

Новые активные материалы наиболее эффективно и экономически выгодно обеспечивают защиту непродовольственных товаров (шерстяных тканей, одежды, мебели, пушно-меховых полуфабрикатов и изделий и т.п.) от воздействий окружающей среды и механических повреждений при хранении и транспортировке, а также предотвращают порчу плесенью и насекомыми-кератофагами (платяной, шубной, меховой, войлочной и ковровой молью, а также кожеедами, пухоедами и т.д.).

Способ борьбы с насекомыми-вредителями с помощью инсектицидных препаратов традиционно используется в текстильной промышленности. Инсектицидное средство на основе четвертичной аммониевой соли наносят в виде покрытий на ткани, меха и изделия из них [1]. Такой препарат получил ограниченное применение из-за технологической сложности и ухудшения качества изделий.

Известны способы защиты товарной продукции от насекомых-кератофагов путем модифицирования бумажных носителей раствором инсектицида [2]. Листы фильтровальной бумаги, пропитанной жидким инсектицидом, помещают в герметичный мешок из металлической фольги, ламинированной полиолефиновой пленкой [3]. Такие

способы предполагают использование в качестве упаковочного материала бумаги, которая характеризуется низкими прочностью и влагостойкостью и требует дополнительного укомплектования упаковок фольгами или полимерными пленками.

Необходимость создания в стране производства многофункциональной упаковочной инсектицидной полимерной пленки пролонгированного действия обусловлена отсутствием аналогичных отечественных материалов и возросшей потребностью в них промышленных предприятий, выпускающих непродовольственные товары.

Методология получения новых полимерных материалов состоит в их активации – включении в состав композита химически активных реагентов инсектицидного ряда. Основанием для выбора данных наполнителей послужило то, что вводимые в состав разрабатываемых композиционных полимерных материалов инсектициды, находясь в малых концентрациях, способны оказывать губительное воздействие на насекомых-кератофагов, при этом, не оказывая значительного влияния на эксплуатационные характеристики материала.

Изучение влияния модифицирующих активных реагентов на диффузионные характеристики разрабатываемых инсектицидных пленок является важным, т.к. диффузия – один из основных механизмов проникновения газов через защитную упаковочную полимерную пленку.

Показатели газо-, паропроницаемости и водопоглощения позволяют прогнозировать длительность хранения кератинсодержащей продукции, упакованной в пленочные чехлы из полиэтилена высокого давления (ПЭВД), модифицированного инсектицидами, и тем самым расширить область их применения.

Сочетание наполнения и пластификации позволяет осуществлять регулирование прочности полимерных материалов. Способом оценки совместимости полимерной матрицы с модифицирующими добавками (жидкофазными наполнителями) является исследование их самопроизвольного выделения из композиций вследствие релаксации усадочных напряжений и уменьшения объема полимерной матрицы – синерезиса, который может происходить в процессе формирования изделий из пластифицированного полимера, а также в готовых сформированных образцах [4].

Цель работы – исследование газо-, паропроницаемости и водопоглощения полиэтиленовых пленок, модифицированных активными реагентами – инсектицидами, а также изучение динамики синерезиса инсектицидов с поверхности разработанных композиций.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили полимерные пленочные образцы инсектицидных полимерных составов на основе ПЭВД марки 16803-070 (ГОСТ 16337-77).

Потенциально активными компонентами в полимерных пленочных композиционных материалах ПЭВД послужили инсектициды различного спектра действия, широко распространенные на территории Беларуси и стран СНГ.

• Синтетические пиретроиды – класс высокоэффективных современных препаратов, производные природного вещества пиретрума:

- перметрин – (IRS)-цис, транс-3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилцикло-пропанкарбоновой кислоты 3-феноксibenзиловый эфир ($C_{21}H_{20}Cl_2O_3$) (торговая марка «Искра», КЭ);
- циперметрин – (IRS)-цис, транс-3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилцикло-пропанкарбоновой кислоты (RS)-3-фенокси- α -цианобензиловый эфир ($C_{22}H_{19}Cl_2O_3$) (торговая марка, «Шарпей» МЭ);

- β-циперметрин – α-циано-3-феноксibenзол-3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоксилат ($C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$) (торговая марка «Кинмикс», КЭ). Инсектицид широкого спектра активности, быстрого контактного и кишечного действия против взрослых и личиночных стадий вредителей.

• Фосфорорганический класс инсектицидов кишечно-контактного действия, обладающий широким спектром действия против насекомых:

- пиримифос-метил – 2-диэтиламино-6-метилпиримидин-4-ил диметилфосфат ($C_{11}H_{22}N_3O_3PS$) (торговая марка «Актеллик», КЭ).

• Неоникатиноиды – группа препаратов, появившаяся относительно недавно, обладающая выраженными системными свойствами:

- имидаклоприд – 4,5-дигидро-N-нитро-1[(6-хлор-3-пиридил) метил] имидазолидин-2-иленамин ($C_9H_{10}Cl_5NO_2$) (торговая марка «Искра Золотая», ВРК).

Приведенные инсектициды обладают такими свойствами, как доступность, высокая инсектицидная активность по отношению к биоагентам, продолжительное защитное действие при низких нормах расхода до 3 %, эксплуатационные характеристики ($T_{разл.}$ 180-230 °С, $T_{кип.}$ 120-286 °С), удовлетворяющие температуре переработки полимерной матрицы [5, 6], экологическая безопасность по отношению к окружающей среде (III, IV классы опасности).

Носителем инсектицидных добавок в полимерных инсектицидных пленочных материалах выступал пластификатор из класса органических соединений – сложный эфир диоктилфталат (ДОФ, ТУ 6-09-08-1504, ГОСТ 8728), обладающий слабым инсектицидным действием.

Композиции для изготовления пленок готовили смешением. Оценку совместимости компонентов и технологичность переработки композиций на их основе проводили с помощью экструзионного агрегата НААКЕ RHEOCORD 90. Композиции выбранных составов перерабатывали в пленку методом рукавной экструзии при следующем соотношении компонентов, мас. %: ПЭВД – 94-97, ДОФ – 2-4, инсектицид – 1-2.

Для определения коэффициента газопроницаемости инсектицидных пленочных материалов использовали прибор PERMEVAC-VBS (Labthink). Манометрический метод определения газопроницаемости материалов. Стандарты: ASTM D 1434, ISO 2556 ISO 15105-1.

Приготовленные образцы модифицированных полимерных пленок в форме диска с рабочей поверхностью 50 см² и толщиной 160 мкм помещали между верхней и нижней камерами. Сначала вакуумировалась нижняя камера, а затем вся система. Объем испытания: 0,1-100000 (см³/м²·24 ч·0,1 МПа), диапазон регулирования температуры: 15-55 °С, точность регулировки температуры ±0,1 °С, точность поддержания вакуума 0,1 Па, степень вакуумизации испытательной камеры < 20 Па, количество образцов: 3 штуки, испытательный газ: O₂, N₂, CO₂.

Коэффициент паропроницаемости исследуемых пленочных материалов оценивали по ГОСТ 21472 «Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости». Герметичные пакеты из исследуемого материала с обезвоженным силикагелем помещали в эксикатор при $T = 298$ К и влажности воздуха (98 ± 2) %. Время испытаний – 8 суток.

Водопоглощение наполненных полимерных материалов определяли с помощью гравиметрического метода (ГОСТ 4650 «Пластмассы. Методы определения водопоглощения») в холодной воде при температуре (23 ± 2) °С в течение (24 ± 1) ч (метод А) и в кипящей дистиллированную воду при температуре (100 ± 2) °С в течение (30 ± 1) мин (метод С).

Массу воды, поглощенную образцом, для методов А (X_1) и С (X_2) вычисляли по формуле:

$$X_{1,2} = m_2 - m_1,$$

где m_1 – масса образца перед погружением в воду, мг;

m_2 – масса образца после извлечения из воды, мг.

Массу воды, поглощенную образцом, на единицу его поверхности для методов А (X_3) и С (X_4) для каждого образца в мг/см², вычисляли по формуле:

$$X_{3,4} = m_2 - m_1/A,$$

где A – поверхность образца, см².

Массовую долю воды, поглощенную образцом, (в %) для методов А (X_5) и С (X_6) для каждого образца вычисляют по формуле:

$$X_{5,6} = m_2 - m_2/m_1 \cdot 100.$$

Рассчитывали среднее арифметическое трех параллельных определений.

Исследование динамики синергетического выделения жидкой фазы (инсектицид/пластификатор) с поверхности полиэтиленовой пленки осуществляли гравиметрическим методом. Испытания проводили на пленочных образцах в виде квадратов со стороной 50 мм. Перед проведением испытаний образцы кондиционировали в течение 24 ч. Испытуемые образцы пленок взвешивали на аналитических весах марки Ohaus RV 64 с точностью до 0,001 г. Каждый образец состава ПЭВД/пластификатор/инсектицид помещали между двумя адсорбирующими пленками. Миграцию жидкой фазы в процентах измеряли по формуле (ГОСТ 14926):

$$\text{Миграция} = \frac{m \cdot 100}{m_1},$$

$$m = \frac{m_2 + m_3}{2},$$

где m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – потеря массы образца, г;

m_3 – увеличение массы двух адсорбирующих пленок, г.

Результаты и их обсуждение

При введении в полимерную пленку пластификатора ДОФ (2 мас. %), а также инсектицида (например, «Кинмикс» (1 мас. %)) в сочетании с пластификатором (2 мас. %), равномерно распределенных в полимерной матрице, коэффициент газопроницаемости исследуемых композиций возрастает на 19-27 % (кислородопроницаемость), 24-31 % (азотопроницаемость), 29-38 % (проницаемость углекислоты) по сравнению с ненаполненной ПЭ пленкой (таблица).

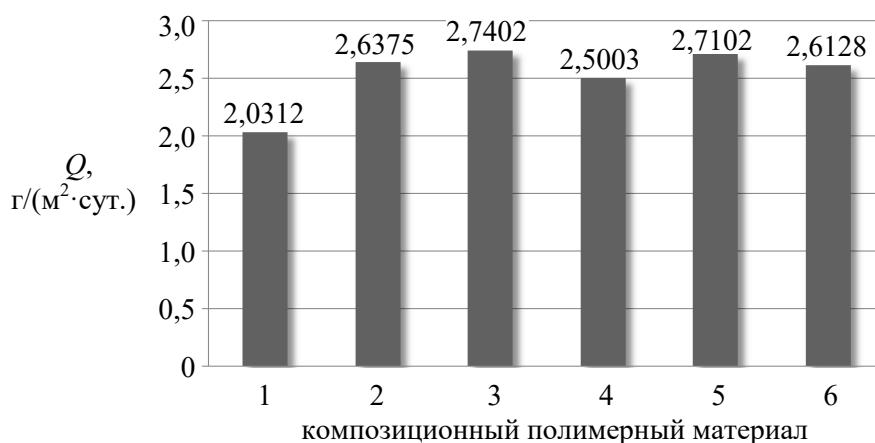
Таблица. – Коэффициент газопроницаемости q инсектицидных полимерных пленок толщиной 160 мкм на примере действующего вещества β -циперметрин («Кинмикс»)

Полимерный материал	q_{O_2}	q_{N_2}	q_{CO_2}
ПЭВД	963,041	617,262	2978,879
ПЭВД/ДОФ (2 мас %)	1151,73	770,259	3869,506
ПЭВД/ДОФ (2 мас %)/«Кинмикс» (1 мас %)	1224,470	811,303	4131,019

Модифицированные полимерные пленки, содержащие инсектициды, не являются барьером для газообмена с внешней средой (O_2 , N_2 , CO_2). Поэтому, использование их в качестве активных компонентов для защиты от биоповреждений при упаковке играет более весомую роль, чем барьерные свойства содержащей их полимерной пленки.

Одним из важнейших показателей, определяющих эксплуатационную пригодность инсектицидных пленочных материалов, служит их высокая устойчивость к проникновению паров воды.

На рисунке 1 приведены значения паропроницаемости композиционных полимерных пленок с различными инсектицидными наполнителями классов: пиретроиды, фосфорорганические, неоникатиноиды.



1 – ПЭВД; 2 – ПЭВД/ДОФ/«Искра»; 3 – ПЭВД/ДОФ/«Шарпей»; 4 – ПЭВД/ДОФ/«Актеллик»; 5 – ПЭВД/ДОФ/«Кинмикс»; 6 – ПЭВД/ДОФ/«Искра Золотая»
Рисунок 1. – Паропроницаемость композиционных полимерных пленочных материалов на основе инсектицидов классов: пиретроиды, фосфорорганические, неоникатиноиды

Введение наполнителей в матрицу ПЭВД способствует повышению паропроницаемости инсектицидных пленок, что связано с молекулярной структурой инсектицидов и физико-химическими связями внутри композита [7].

Одним из важных свойств полимерных материалов является их способность к водопоглощению. Этот параметр используют также для оценки плотности упаковки макромолекул в наполненных термопластичных полимерах, поскольку степень водопоглощения непосредственно связана с числом межмолекулярных связей или связей полимер-наполнитель [8].

На рисунке 2 представлены экспериментальные кинетические кривые относительного изменения массы полимерных пленочных образцов на основе ПЭВД пластифицированного ДОФ, содержащего 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 мас. % инсектицидной модифицирующей добавки из класса пиретроиды – перметрин («Искра»).

Установлено, что введение модифицирующей инсектицидной добавки 1 мас. % (рисунок 3) приводит к увеличению водопоглощения Q . Образцы с содержанием инсектицида «Искра» 2 мас. % описывают суммарный эффект двух процессов: вымывание инсектицида из инсектицидного полимерного материала с последующим проникновением воды в объем композитов.

Экспозиции образцов в воде с содержанием инсектицида 3 мас. % и более непрерывно теряют массу при выдержке в воде, что вероятно связано с вымыванием ин-

сектицидной модифицирующей добавки из полимерных пленочных материалов, в результате чего масса образцов уменьшается.

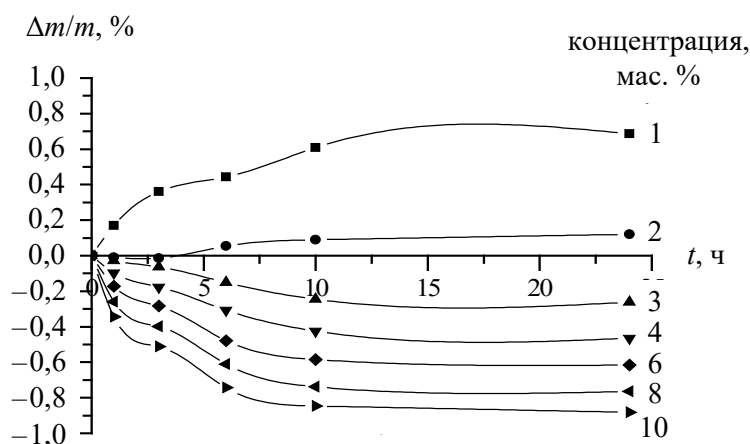
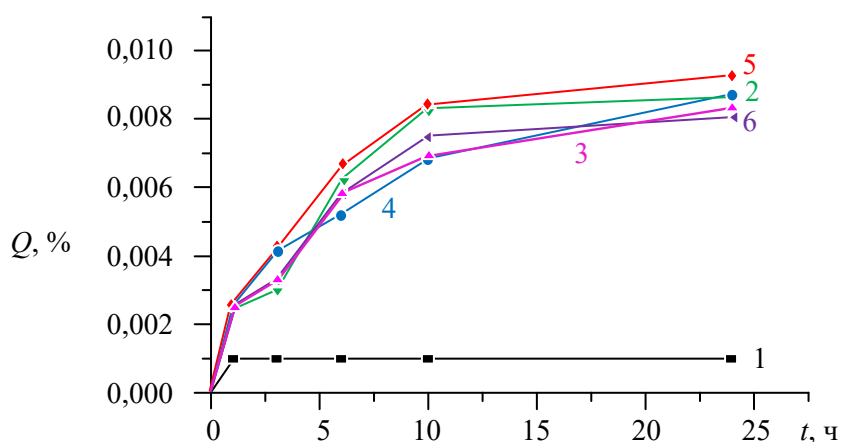


Рисунок 2. – Зависимость кинетики относительного изменения массы $\Delta m/m$ при выдержке в воде ($T = 25\text{ }^\circ\text{C}$) пленочных образцов состава ПЭВД/ДОФ (2 мас. %)/«Искра» от концентрации инсектицидной модифицирующей добавки



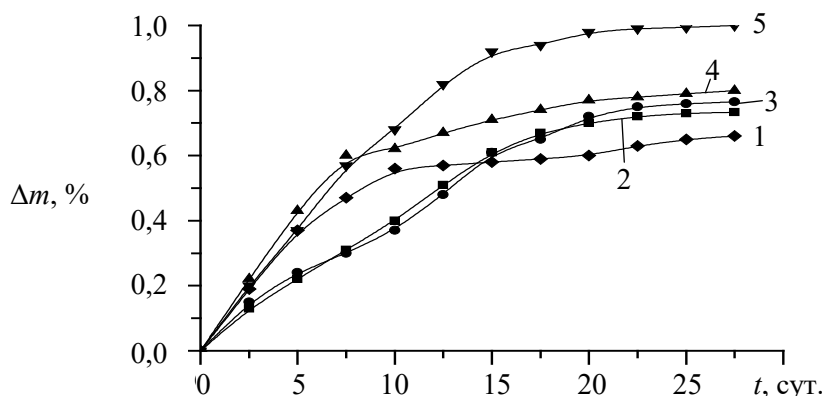
- 1 – ПЭВД; 2 – ПЭВД/ДОФ (2 %)/«Искра»; 3 – ПЭВД/ДОФ (2 %)/«Шарпей»;
4 – ПЭВД/ДОФ (2 %)/«Кинмикс»; 5 – ПЭВД/ДОФ (2 %)/«Актеллик»;
6 – ПЭВД/ДОФ (2 %)/«Искра Золотая»

Рисунок 3. – Зависимость кинетики водопоглощения Q при выдержке в воде ($T = 25\text{ }^\circ\text{C}$) инсектицидных пленочных образцов состава (мас. %)

Синерезис – сложный процесс, включающий выпотевание жидкости и испарение легколетучих компонентов.

Синерезис является следствием протекающих в материале физико-химических процессов, обусловленных термодинамической неравновесностью системы «полимер-модификатор». Введение в экструдруемую смесь пластификатора ДОФ (2-3 мас. %) позволяет интенсифицировать процесс выделения инсектицида из пленки. Инсектицид мигрирует вместе с ДОФ на поверхность пленки по механизму синерезиса, что облегчает последующий процесс переноса инсектицида к поверхности защищаемого изделия. С увеличением концентрации ДОФ (> 5 мас. %) в композиционных пленках скорость синерезиса возрастает, и соответственно увеличивается интенсивность диффузии инсектицида, однако, снижается время инсектицидной активности композиционных пленок.

На рисунке 4 представлена кинетическая зависимость выделения жидкой фазы с поверхности композиционной полиэтиленовой пленки состава ПЭВД/ДОФ/инсектицид.



1 – ПЭВД/ДОФ/«Искра Золотая»; 2 – ПЭВД/ДОФ/«Искра»; 3 – ПЭВД/ДОФ/«Шарпей»;
4 – ПЭВД/ДОФ/«Кинмикс»; 5 – ПЭВД/ДОФ/«Актеллик»

Рисунок 4. – Кинетическая зависимость выделения жидкой фазы с поверхности композиционной полиэтиленовой пленки ПЭВД/ДОФ (2 %)/инсектицид (1 %)

Исследование инсектицидных полимерных образцов, содержащих 3 мас. % модифицирующей жидкости (ДОФ – 2 %, инсектицид – 1 %), подтверждает линейную зависимость синерезиса от природы инсектицида. Максимальное выделение жидкой фазы достигается на 10 сутки с момента формирования полимерного композита и составляет ~1,5 мас. %. Через 30 суток происходит незначительное изменение выделения модификатора (~ 1,7 мас. %), а к 60 суткам интенсивность выделения жидкой фазы заметно уменьшается и составляет ~ 2 мас. %.

Установлено, что около 2 мас. % модифицирующей жидкости частично расходуется при формировании образцов, а около 1 мас. % остается в полимерной матрице, что позволяет судить о возможности физико-химических реакций, протекающих при формировании композита образованием сшитой сетки композита, которая препятствует дальнейшему синерезису модифицирующей жидкости.

При небольших концентрациях модифицирующей жидкости в композиционном материале не наблюдается существенных изменений в прочностных свойствах инсектицидных пленок [9], а пролонгированный синерезис положительно сказывается на расширении области применения разработанных материалов.

Выводы

Определен механизм формирования межфазных слоев в полимерных композициях на основе ПЭВД, пластификатора, инсектицида, заключающийся в протекании физико-химических взаимодействий между функциональными группами компонентов.

Проведенные исследования полиэтиленовых пленок, модифицированных инсектицидами, указывают на то, что данные материалы обладают высоким коэффициентом газопроницаемости (на 19-38 % выше базового ПЭВД), низкими значениями водопоглощения (0,007-0,009 %) и паропроницаемости (0,50-0,74 г/м²·сут.).

Введение модифицирующих добавок способствует возникновению абсорбционной связи между полимером и наполнителем с последующим развитием пространственной структуры, а диффузия инсектицидов обеспечивает пролонгированный синерезис и придает функциональную активность материалу, что позволяет создать новые ин-

сектицидные упаковочные пленки для хранения, транспортировки, а также предотвратить порчу насекомыми-вредителями изделий легкой промышленности.

Список использованных источников

1. Инсектицидное средство для защиты тканей, меха и изделий из них от моли и кожееда: пат. 2251844 РФ, МПК А01N33/12, D06M13/46 / Г.Я. Легин, Е.Б. Иванова, А.М. Иванов, М.А. Иванов; заявитель Е.Б. Иванова, А.М. Иванов, М.А. Иванов. – № 2003129975/04; заявл. 10.10.03; опубл. 20.05.05 // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». – 2005. – № 14.
2. Бумага, пропитанная инсектицидными действующими веществами: пат. 2450517 РФ, МПК А01N53/00, А01N25/20, А01P7/04 / Штефан Шюле, Берихард Летцнер, Жоффре Аллс, Франсуа Акль; заявитель Байер Кропсайенс Аг. – № 2008149431/13; заявл. 09.05.07; опубл. 20.05.12 // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». – 2012. – № 14.
3. Material for killing and repelling of insect: патентная заявка 56097201 JP, МПК А01N25/20, А01N53/00, А01N57/00 / А. Matsucuma.
4. Пинчук, Л.С. Ингибированные пластики / Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде, А.В. Макаревич. – Гомель: ИММС НАНБ, 2004. – 492 с.
5. Исследование физико-химических и эксплуатационных свойств инсектицидных композиционных материалов / Е.В. Лашкина [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2010. – Т. 15, № 1. – С. 74-78.
6. Лашкина, Е.В. Разработка multifunctional полимерных пленок для защиты сельскохозяйственных и лесных угодий от насекомых-фитофагов / Е.В. Лашкина, О.А. Ермолович // Природная среда Полесья и устойчивое развитие агропромышленного комплекса региона: VI Междунар. науч. конф., Брест, 12-14 сент. 2012 г. / ГНУ «Полесский аграрно-экологич. ин-т» НАН РБ; гл. ред. М.В. Михальчук. – Брест: Альтернатива, 2012. – Вып. 5. – С. 156-159.
7. Лашкина, Е.В. Исследование совместимости компонентов в системе полиэтилен – пластификатор – инсектицид методом ИК-спектроскопии / Е.В. Лашкина // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 3. – С. 90-98.
8. Вода в полимерах / Под ред. С.М. Роуланда. – М.: Мир, 1984. – 555 с.

Lashkina E.V.

Diffusion processes in polyethylene films modified by insecticides

Diffusion processes occurring in insecticidal polymeric materials have been studied. The kinetic dependence of the evolution of the liquid phase from the surface of a composite polyethylene film of the composition LDPE/DOP/insecticide is presented. It is shown that the introduction of insecticidal additives into the polymer composition is an effective method of modification, allowing the creation of new functional packaging materials for the protection of non-food products against bodily harm. Insecticidal film materials can be obtained by standard polymer processing methods.

Keywords: insecticides, polymeric composite materials, syneresis, gas permeability coefficient, water absorption, keratin-containing products.

Поступила в редакцию 07.06.2018 г.

Уважаемый рецензент, при написании рецензии просьба руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Соответствие статьи выбранному научному направлению: геотехнология, материаловедение или машиностроение.
2. Актуальность темы, новизна полученных результатов, их научная и практическая значимость, достоверность в сопоставлении с соответствующими известными данными.
3. Логика изложения и четкость формулировок.
4. Информативность и качество иллюстрированного материала.
5. Полнота списка литературы, наличие публикаций последних лет и зарубежных публикаций в данной области.
6. Соответствие аннотации тексту статьи.
7. Текст и количество иллюстрированного материала нуждается в сокращении или нет.
8. В качестве вывода просим указать мнение о возможности публикации статьи после исправлений (без исправлений) или необходимо повторное рецензирование после серьезных исправлений.

Статьи, направленные в редакцию журнала, должны удовлетворять требованиям «Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации», утвержденной Постановлением Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь № 3 от 28.02.2014.

1. Статья должна быть представлена в распечатанном и в электронном виде, должна иметь разрешение на опубликование, сопроводительное письмо.
2. Поступившие в редакцию статьи проходят рецензирование. Основные критерии целесообразности опубликования – актуальность тематики, научная новизна, значимость результатов.
3. Объем научной статьи по теме диссертации должен составлять не менее 14000 печатных знаков, включая пробелы, (примерно 5-6 страниц).
4. Статья должна быть представлена в формате текстового редактора Microsoft Word. Шрифт текста Times New Roman, размер 12 п., интервал – 1.
5. В статье должны быть указаны индекс УДК, название статьи, фамилии и инициалы авторов (число авторов – не более 5), полные наименования учреждений, где работают авторы. Статья должна содержать: аннотацию (до 10 строк), ключевые слова (до 10), введение, основную часть, заключение, завершаемое четко сформулированными выводами, список использованных источников. Аннотация, название статьи, ключевые слова, а также фамилии авторов должны быть представлены на английском и русском языках.
6. Таблицы и рисунки располагаются непосредственно в тексте статьи. Количество рисунков и таблиц не должно превышать 8. Рисунки должны быть четкими и созданы в одном из графических редакторов (формат jpg, tif, pcx, bmp, gif, cdr, wmf, psd). Каждая таблица должна иметь заголовок, а рисунок – подписанную надпись. На все таблицы и рисунки следует давать ссылки в тексте.
7. Формулы должны быть созданы в редакторе «Math Type». Все обозначения, приведенные в статье, расшифровываются непосредственно в тексте, кроме того, могут быть вынесены на отдельную страницу.
8. Не следует употреблять сокращения, кроме общепринятых.
9. Оформление списка использованных источников должно соответствовать требованиям ГОСТ 7.1-2003. Список должен быть составлен в порядке упоминания ссылок в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Список должен содержать зарубежные публикации в данной области (при их наличии).
10. Авторам необходимо на отдельной странице предоставить следующие сведения: фамилия, имя, отчество полностью, место работы на русском и английском языках, адрес организации и электронной почты каждого автора, почтовый адрес для переписки, номера телефонов.

1. The article should be presented in printed out and electronic forms, should have a security clearance, a covering letter.
2. Received articles are reviewed. The main criteria of feasibility of the publication are the subject relevance, the scientific novelty, the significance of results.
3. The volume of scientific article on the topic of thesis research must be at least 14,000 typographical units, including spaces, (approximately 5-6 pages).
4. The article should be presented in the text editor Microsoft Word format. The font is Times New Roman, font size is 12, interval – 1.
5. The UDC number, the article's title, the authors' surnames and initials (number of authors – maximum 5), full names of organizations where the authors work should be included in the article. The article should contain: the summary (up to 10 lines), keywords (up to 10), the introduction, the article's body, the conclusion finished by clearly formulated findings, and the list of cited references. The summary, the article's title, keywords as well as the authors' surnames should be presented in English and Russian languages.
6. Tables and figures are placed directly in the article text. The number of figures and tables should not exceed 8. The figures should be well-defined and should be created in one of graphic editors (jpg, tif, pcx, bmp, gif, cdr, wmf, psd format). Each table should have a title, and each figure – a picture caption. All tables and figures should have references in the text.
7. Formulae should be created in the «Math Type» editor program. All symbols given in the article are deciphered directly in the text; in addition the symbols may be published on a separate page.
8. Abbreviations should not be used, except commonly used abbreviations.
9. Presentation of references must comply with the requirements of GOST 7.1-2003. The list should be made in order as the references are mentioned in the text. The references to unpublished works are not allowed. The list should include foreign publications in this sphere (if available).
10. The authors should provide the following information on a separate page: the surname, the first name, the patronymic name, the postal address for correspondence, the place of work and the position, phone numbers, e-mail address.



Подписные 749332
индексы: 74933

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

- совершенствование технологий 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 горно-шахтного подъемно-транспортного оборудования;
- разработка горного проходческого, очистного и бурового оборудования;
- разработка технологического горно-обогачительного оборудования;
- разработка методов повышения надежности и долговечности деталей и узлов машин, работающих в условиях абразивных, химически активных сред горно-обогачительных предприятий;
- разработка оборудования для комплексов по перегрузке и складированию сыпучих материалов;
- разработка высокопроизводительных технологий 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;
- разработка автоматизированных систем управления горно-шахтным добывающим и перерабатывающим оборудованием.

Адрес редакции:
ул. Козлова, 69
223710, г. Солигорск,
Республика Беларусь,



Телефоны:
(+375 174) 26 28 37 главный редактор (приемная)
(+375 174) 26 35 32 ответственный секретарь
E-mail: onti@sipr.by
<http://www.sipr.by>