

**ЖТМ**

2012 № 3

**ГОРНАЯ МЕХАНИКА  
И МАШИНОСТРОЕНИЕ**



# ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ

## № 3 2012

**Учредитель журнала:**

ЗАО «Солигорский Институт проблем  
ресурсосбережения с Опытным  
производством»

**Научно-технический журнал**

Издается с декабря 1998 г.

Выходит четыре раза в год

Журнал включен в Перечень научных изданий  
ВАК Республики Беларусь

Главный редактор

**Щерба Владимир Яковлевич**

**Редакция:**

Заместитель главного редактора

**Прушак Виктор Яковлевич**

Технический редактор

**Барановский Анатолий Леонидович**

Ответственный секретарь

**Заяц Ирина Михайловна**

**Редакционная коллегия:**

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

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

Голуб М.В. – доктор технических наук, проф.

Журавков М.А. – доктор физ.-техн. наук, проф.

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

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

Смычник А.Д. – доктор технических наук, проф.

Стухляк П.Д. – доктор технических наук, проф.

Белый А.В. – доктор технических наук, проф.

Буря А.И. – кандидат технических наук, проф.

Губанов В.А. – доктор технических наук

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

Кантович Л.И. – доктор технических наук, проф.

Петровский Б.И. – доктор технических наук

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

**Адрес редакции:**

Республика Беларусь, 223710, г. Солигорск, ул. Козлова, 69  
Тел.: (+375 174) 26 35 32, (+375 174) 282107, факс: (+375 174) 26 28 37  
E-mail: [ontipr@tut.by](mailto:ontipr@tut.by)

# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

## ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

- Андрейко С.С., Нестерова С.Ю., Иванов О.В.** Оценка эффективности целевой разгрузки для предотвращения газодинамических явлений при механизированной добыче карналлита..... 5
- Белоусов В.И., Шваб Р.Г., Батяновский А.Л.** Термовлажностной прогноз состояния атмосферы калийных рудников ..... 15
- Иванов В.В.** Особенности разработки обводненной толщи месторождений песка и песчано-гравийной смеси..... 28
- Войтенко В.С., Оника С.Г., Халявкин Ф.Г., Новиков С.С.** Формирование в горном массиве инъекционных противодиффузионных завес с использованием энергии упругих волн..... 32

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Чистый В.И., Стасевич В.И., Чистый И.Н.** Машина для добычи кускового торфа ..... 38
- Шейко А.М., Шемет С.Ф., Долматова О.П., Николаев А.А.** Расчет всасывающей и напорной линий насосов при транспортировке рассолов предприятий калийной отрасли..... 47
- Екименко А.Н., Колдаев О.Ю., Колдаева С.Н.** Технологические и конструктивные особенности повышения работоспособности конвейерного транспорта горнодобывающих производств..... 57
- Казаченко Г.В., Нагорский А.В., Басалай Г.А.** Исследование процесса шнекового бурения. Часть 1. Формирование математической модели рабочего процесса в установленном режиме бурения..... 65
- Казаченко Г.В., Басалай Г.А., Неверовская Я.Б., Ярмолинская А.А.** Особенности отвалообразователей и некоторые результаты исследования их статической устойчивости..... 75

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Лапшина Е.М., Шаповалов В.М., Тартаковский З.Л., Ахмадиева Л.В.** Композиционный материал на основе полиолефинов и дисперсных резин..... 84
- Лашкина Е.В.** Исследование совместимости компонентов в системе полиэтилен – пластификатор – инсектицид методом ИК-спектроскопии..... 90
- Щерба В.Я.** Защитные покрытия на основе полимер-олигомерных матриц, модифицированных низкоразмерными компонентами..... 99
- Приходько И.В., Неверов А.С.** Биокоррозия алюминиевых сплавов в отопительной системе..... 103
- Сиренко Ю.Г., Ковальский Е.Р., Тараканов Н.В.** Значение научно-исследовательской работы в подготовке специалиста..... 111
- Осипов Сергей Николаевич – К 80-летию со дня рождения** ..... 114

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

---

---

Подписано в печать 10.09.2012  
Формат 60×84<sup>1/8</sup>. Бумага «Снегурочка», А4, 80 г/м<sup>2</sup>. Гарнитура Таймс.  
Отпечатано на ризографе CR-1610.  
Усл. печ. л. 19.55. Тираж 240 экз. Заказ 351.

# MINE MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING

№ 3 2012

---

---

## Scientific and Technical Journal

Published since December, 1998

Issued four times a year

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

### Founder of the Journal:

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

### Edition:

Editor-in-Chief

**Shcherba Vladimir Yakovlevich**

Editor-in-Chief Deputy

**Prushak Viktor Yakovlevich**

Technical Editor

**Baranovsky Anatoly Leonidovich**

Executive Secretary

**Zayats Irina Mikhailovna**

### Editorial Board:

Andreiko S.S. – Ph.D., Professor  
Bogdanovich P.N. – Ph.D., Professor  
Golub M.V. – Ph.D., Professor  
Zhuravkov M.A. – Ph.D., Professor  
Zubov V.P. – Ph.D., Professor  
Kislov N.V. – Ph.D., Professor  
Smychnik A.D. – Ph.D., Professor  
Stukhlyak P.D. – Ph.D., Professor

Belyi A.V. – Ph.D., Professor  
Burya A.I. – Ph.D., Professor  
Gubanov V.A. – Ph.D.  
Zaharov Y.N. – Ph.D., Professor  
Kantovich L.I. – Ph.D., Professor  
Petrovsky B.I. – Ph.D.  
Struck V.A. – Ph.D., Professor



### Editorial Address:

The Republic of Belarus, 223710, Soligorsk, Kozlova Street, 69  
Tel: (+375 174) 26 35 32, (+375 174) 282107, Fax: (+375 174) 26 28 37  
E-mail: [ontipr@tut.by](mailto:ontipr@tut.by)

## CONTENTS

---

---

### *GEOTECHNOLOGY*

<b>Andreyko S.S., Nesterova S.Y., Ivanov O.V.</b> Estimation of the kerf dump effectiveness for prevention of the gas-dynamic phenomena by machine mining of carnallite.....	5
<b>Belousov V.I., Shvab R.G., Batianovsky A.L.</b> Forecast on temperature and humidity of potash mines' atmosphere .....	15
<b>Ivanov V.V.</b> Characteristics of development of watercut mass in deposits of sand and sand and gravel mix .....	28
<b>Voitenko V.S., Onika S.G, Khalyavkin F.G., Novikov S.S.</b> Formation of injection sealing curtains in rock mass using elastic energy.....	32

### *MACHINE-BUILDING*

<b>Chisty I.V., Stasevich V.I., Chisty I.N.</b> Machine for Lump Peat Production.....	38
<b>Sheiko A.M., Shemet S.F., Dolmatova O.P., Nikolaev A.A.</b> Calculation of pump suction and pressure lines during transportation of brines of potash industry plants.....	47
<b>Ekimenko A.N., Koldaeva S.N., Koldaev O.Y.</b> Technological and constructive characteristics of efficiency improving of conveyer transport of mining companies .....	57
<b>Kazachenko G.V., Nagorsky A.V., Basalai G.A.</b> Phenomenology of auger drilling. Part 1. Design of numerical scheme of work process in steady-state of drilling.....	65
<b>Kazachenko G.V., Basalai G.A., Neverovskaya Y.B., Yarmolinskaya A.A.</b> Characteristics of stacking trailing conveyors and results of analyses of their steady-state stability.....	75

### *MATERIALS ENGINEERING*

<b>Lapshina E.M., Shapovalov V.M., Tartakowsky Z.L., Akhmadieva L.V.</b> Composite material based on polyolefins and dispersed rubber .....	84
<b>Lashkina E.V.</b> Research of a compatibility of components in polyethylene – plasticizer – insecticide system by method of IR spectroscopy.....	90
<b>Sherba V.Y.</b> Protective coatings on the base of polymer and oligomeric matrix modified by low dimensional components .....	99
<b>Prykhodko I.V., Neverov A.S.</b> Aluminum alloys biocorrosion in a heating system .....	103
<b>Sirenko Y.G., Kovalsky E.R., Tarakanov N.V.</b> Importance of scientific and research work in a specialist's training .....	111
Sergei Nikolaevich Osipov – Celebrating eighty-year-old jubilee	114

---

---

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ**

УДК 622.831.322

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЩЕЛЕВОЙ РАЗГРУЗКИ  
ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ  
ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧЕ КАРНАЛЛИТА**

Андрейко С.С., Нестерова С.Ю., Иванов О.В. (Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия)

*Представлены результаты шахтных экспериментальных исследований по оценке эффективности процессов разгрузки и дегазации выбросоопасного карналлитового пласта с помощью горизонтальной разгрузочно-дегазационной щели. Установлены закономерности изменения во времени в зоне влияния щели значений остаточной газоносности и показателей воздухопоглощения карналлитовых пород. Для существующих параметров камерной системы разработки предложены технологические схемы механизированной добычи карналлита с применением разгрузочно-дегазационных щелей.*

**Введение**

Разработка калийных месторождений осложняется газодинамическими явлениями (ГДЯ), которые в силу своей внезапности и интенсивности представляют серьезную угрозу жизни шахтеров и наносят существенный материальный ущерб рудникам. Одним из месторождений, разрабатывающих выбросоопасные пласты, является Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС), расположенное на территории Российской Федерации, на северо-востоке Пермского края.

Изучением механизма газодинамических явлений, теоретическими и практическими изысканиями в области напряженно-деформированного состояния выбросоопасного соляного массива, а также вопросами разработки технических устройств для реализации на практике способов предотвращения ГДЯ занимались многие ученые: Андрейко С.С., Бей М.М., Долгов П.В., Жихарев С.Я., Журавков М.А., Земсков А.Н., Кириченко А.С., Ковалев О.В., Лаптев Б.В., Мещеряков В.В., Падерин Ю.Н., Полянина Г.Д., Проскураков Н.М. и другие [1-8].

Внедрение в практику результатов проведенных исследований позволило существенно снизить частоту и интенсивность ГДЯ при разработке силвинитовых пластов на Верхнекамском калийном месторождении. Однако проблема повышения эффективности и безопасности горных работ при добыче карналлита по-прежнему остается актуальной.

Как показывает практика ведения подготовительных и очистных горных работ, карналлитовый пласт В является наиболее выбросоопасным из всех промышленных пластов ВКМКС. Согласно «Специальным мероприятиям по безопасному ведению горных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей в условиях газового режима» данный пласт отнесен к III группе по уровню газовой опасности [9]. Газоносность карналлитовых пород по горючим газам в пересчете на условный метан достига-

ет  $1,7 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . При разработке карналлита происходят ГДЯ в виде выбросов соли и газа, суфлярных газовыделений, а также обрушений кровли с одновременным выделением свободного газа. Подобные явления происходят при ведении горных работ в подготовительных и очистных выработках в основном из шестого слоя карналлитового пласта В, в связи с чем данный слой признан наиболее выбросоопасным среди других пяти его слоев.

Уже около 20 лет добыча карналлита на Верхнекамском месторождении ведется с применением высокопроизводительных комбайновых комплексов в условиях рудника СКРУ-1 ОАО «Уралкалий».

В соответствии с действующим проектом механизированной отработки карналлитового пласта В запасы руды в пределах очистной камеры отрабатываются, в зависимости от принятых вариантов технологии, в три или четыре выемочных слоя по высоте. При этом предусмотрен последовательный нисходящий порядок отработки всех слоев. Выемка верхнего слоя очистной камеры начинается с проходки комбайном «Урал-10А» разрезной выработки тупиковым забоем. Каждая из очистных камер, таким образом, сбивается I ходом комбайна с вентиляционным штреком. После проходки разрезной выработки на всю длины очистной камеры поочередно осуществляются II и III ходы комбайна. Затем приступают к отработке нижележащих слоев тремя ходами комбайна «Урал-10А» или двумя ходами комбайна «Урал-20А».

Для обеспечения безопасности горных работ применение комбайновой технологии добычи карналлита допускается только с использованием комплекса профилактических мер по предотвращению ГДЯ [10]. В связи с тем, что верхний выемочный слой расположен в пределах выбросоопасного 6 слоя пласта В, технологией ведения горных работ предусмотрено предварительное торпедирование забоя разрезной выработки и ее стенок на всю ширину очистной камеры (рисунок 1).

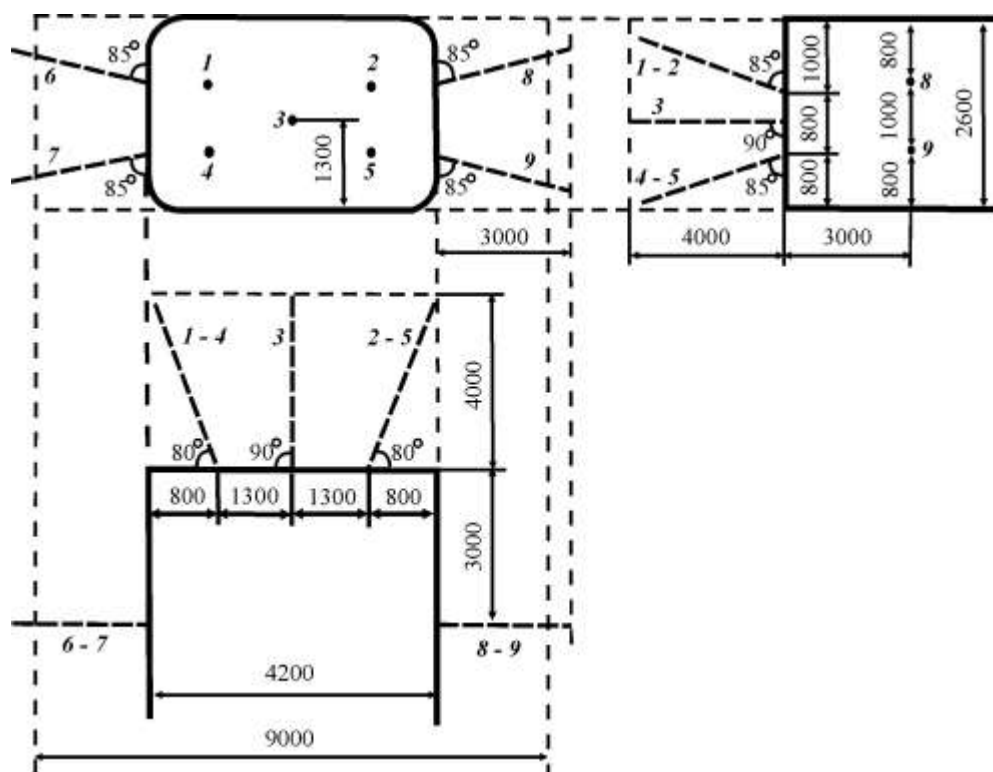


Рисунок 1 – Параметры шпуров для торпедирования карналлитового массива при проходке разрезной выработки



Под торпедированием понимается взрывание зарядов взрывчатого вещества в шпурах с целью образования в карналлитовом пласте области повышенной трещиноватости, обеспечивающей снижение горного давления в приконтурном массиве, его дегазацию и предотвращение выбросов соли и газа. Следует отметить, что максимальный период, прошедший с момента торпедирования массива верхнего выемочного технологического слоя до начала выполнения комбайном II и III ходов не должен превышать 70 суток. В противном случае возникает необходимость повторного торпедирования массива [10].

Практика механизированной отработки карналлита показала, что данный способ разгрузки и дегазации массива при проходке разрезной выработки методом торпедирования выбросоопасного 6-го слоя пласта В имеет ряд недостатков, основным из которых является сейсмическое воздействие взрыва на приконтурный массив. В результате того, что действующий при торпедировании паспорт буровзрывных работ составлен для средних условий и не учитывает конкретных особенностей залегания и свойств пласта, режим торпедирования 6-го слоя пласта В часто оказывается неустойчивым и переходит в режим сотрясательного взрывания. Это приводит к разрушению стенок горных выработок в виде вывалов, осыпаний боковых пород, сопровождающихся, как правило, газодинамическими явлениями в виде выбросов породы и газа из целиков, а также явлениями комбинированного типа [11]. В результате ГДЯ могут быть нарушены проектные параметры камерной системы разработки, и, как следствие, существенно снижена несущая способность междукамерных целиков.

Установлено, что газодинамические явления при механизированной разработке карналлита происходят не только в момент торпедирования массива, т.е. в отсутствие в забое рабочих и техники. Не исключены также сложные ГДЯ в виде внезапных выбросов соли и газа с последующим обрушением кровли пласта В на больших площадях и выделением значительных объемов газов, которые имеют место во время отработки комбайном уже предварительно дегазированных участков.

Таким образом, разработка эффективного способа предотвращения газодинамических явлений при отработке карналлитовых пластов в условиях применения высокопроизводительных комбайновых комплексов по-прежнему является актуальной научной задачей, решение которой позволит повысить эффективность и безопасность горных работ на калийных рудниках.

### Методика исследований

Для повышения эффективности и безопасности ведения горных работ при механизированной добыче карналлитовой руды на руднике СКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» проведены экспериментальные исследования безвзрывного способа разгрузки и дегазации карналлитового пласта [12]. Целью этих исследований являлась оценка эффективности применения щелевой разгрузки для предотвращения газодинамических явлений при механизированной отработке карналлитового пласта В. Основная идея исследований заключалась в том, что предотвращение газодинамических явлений при механизированной добыче карналлита может быть обеспечено с помощью горизонтальных разгрузочно-дегазационных щелей (РДЩ), создаваемых в стенках разрезной выработки.

Эксперимент выполнялся в течение 96 суток по специально разработанной методике [13]. В ходе эксперимента велись наблюдения за деформированием пород на контуре выработки и развитием процессов дегазации массива в зоне влияния горизонтальной РДЩ глубиной 1,2 м, пройденной в одной из стенок разрезной выработки с помощью машины для нарезки компенсационных щелей «Урал – 50» (рисунок 2).





**Рисунок 2 – Общий вид исследовательской выработки с горизонтальной щелью в стенке**

После проходки щели на участках массива выше и ниже щели в течение 96 суток регулярно велись инструментальные наблюдения за смещением контурных реперов на замерных станциях [14, 15]. Результаты замеров показали развитие на контуре выработок со щелью деформаций растяжения. При этом установлено, что по мере увеличения расстояния от щели в направлении кровли и почвы выработки процессы деформирования пород в различных по высоте относительно щели слоях карналлитового пласта протекают менее активно. Кроме того, установлено, что в одних и тех же по высоте относительно щели слоях со временем происходит рост достигнутых ранее значений деформаций.

По результатам замеров между реперами для характерных периодов наблюдений на участках массива выше и ниже щели получены закономерности процессов деформирования карналлитового пласта, позволяющие оценивать изменение относительных вертикальных деформаций карналлитовых пород в стенке выработки выше щели (1) и ниже щели (2) в зависимости от расстояния до щели.

$$\varepsilon = -0,0002 \times h + 0,245, \% \quad (1)$$

$$\varepsilon = -0,0003 \times h + 0,202, \% \quad (2)$$

где  $h$  – расстояние от щели до определенного участка пород в стенке выработки относительно щели, мм.

Сходство зависимостей (1) и (2) свидетельствует о том, что при расположении горизонтальной разгрузочно-дегазационной щели в стенке горной выработки на равном расстоянии между кровлей и почвой обеспечивается возможность равномерной разгрузки карналлитового пласта в пределах высоты хода комбайна. В ходе исследований установлено, что по мере увеличения расстояния от щели в направлении кровли и почвы выработки процессы деформирования отдельных слоев карналлитового пласта протекают менее активно. При этом в одних и тех же по высоте относительно щели слоях в стенке выработки со временем происходит рост достигнутых ранее значений деформаций.

В ходе визуальных наблюдений на различных участках стенки выше и ниже щели, вскоре после начала исследований, были выявлены одиночные открытые трещины,

число и размеры которых со временем увеличивались, вплоть до образования систем связанных трещин.

Известно, что рост трещиноватости горных пород способствует снижению давления газа в массиве, уменьшению его газоносности до безопасного уровня и предотвращению ГДЯ. В результате развития трещин в массиве образуется система проводников для фильтрации газа в выработку. Проводники газа в этом случае представляют собой системы пустот, которые образуются в процессе отслоений, локальных приоткрываний по межзерновым границам, а также литологическим контактам и микротрещинам. Следовательно, раскрытие под воздействием растягивающих усилий в зоне влияния щели имеющихся трещин, а также формирование новых систем газопроводящих трещин способствует дегазации приконтурного массива, степень которой зависит от размеров, протяженности и местоположения трещин.

Для оценки эффективности влияния горизонтальной ДРЩ на процесс дегазации карналлитового пласта на участках исследований регулярно велись инструментальные наблюдения по известным методикам за изменением исходных значений газоносности и воздухопоглощения карналлитовых пород. Для этого в ходе конвергенции щели в массиве устанавливались достигнутые соответствующие показатели, которые сравнивались затем с исходными значениями [14, 15].

Установлено, что до проведения в стенке исследовательской выработки разгрузочно-дегазационной щели первоначальные значения газоносности пород по свободным газам (в пересчете на условный метан) составили в среднем  $0,91 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

При контроле эффективности противовыбросных мероприятий по остаточной газоносности эффект дегазации считается достигнутым, если остаточная газоносность карналлитовых пород по условному метану не превышает  $0,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$  [10].

Регулярные замеры содержания свободных газов в массиве и результаты анализов отобранных в массиве газовых проб показали, что применение щелевой разгрузки в условиях карналлитового пласта способствует эффективному снижению газоносности карналлитовых пород в приконтурном массиве на глубине, равной глубине щели. Так, период снижения газоносности пород до безопасной величины  $0,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$  в стенке исследовательской выработки со щелью составил 3 суток. За это время содержание свободных газов на участках массива над и под щелью снизилось по сравнению с исходным значением в 2,5 и в 2,3 раза соответственно (рисунок 3).

По результатам исследований процессов дегазации массива в стенке выработки со щелью получены следующие регрессионные зависимости остаточной газоносности по условному метану пород 6-го слоя карналлитового пласта В от времени, прошедшего после проходки горизонтальной щели:

- для участка массива над щелью:

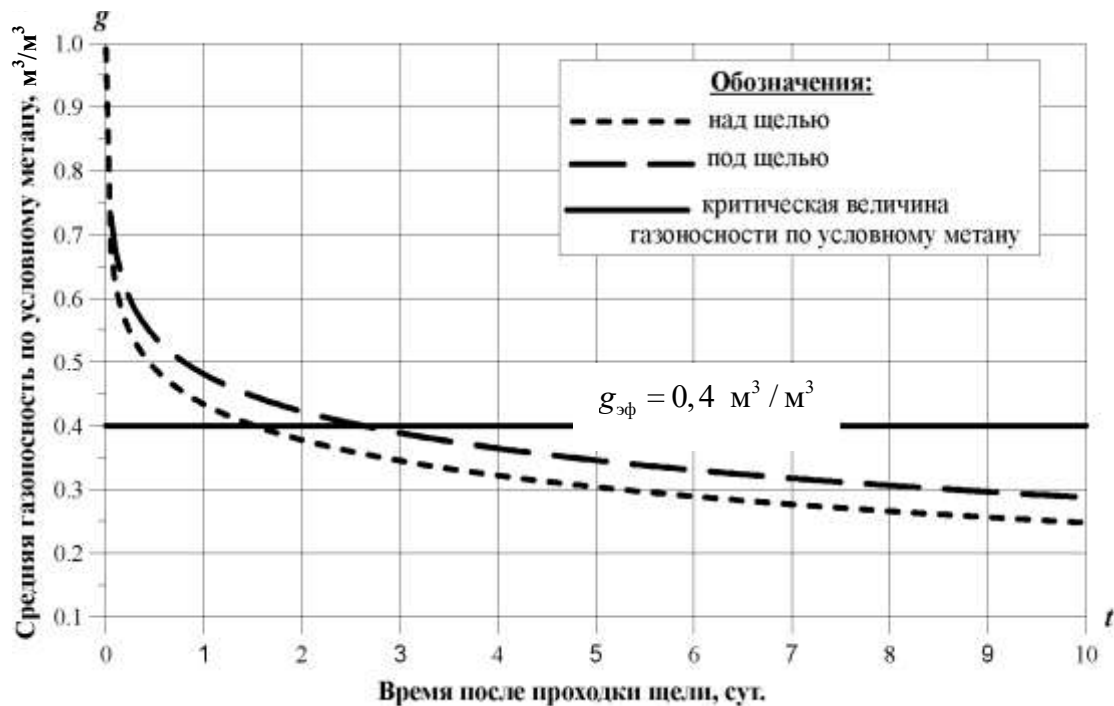
$$g = -0,081 \times \ln(t) + 0,433, \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (3)$$

- для участка массива под щелью:

$$g = -0,084 \times \ln(t) + 0,481, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (4)$$

где  $t$  – время после проходки щели, сут.

Сходство зависимостей (3) и (4) свидетельствует о том, что при расположении горизонтальной разгрузочно-дегазационной щели в стенке горной выработки на равном расстоянии между кровлей и почвой обеспечивается равномерная дегазация карналлитового пласта в пределах высоты хода комбайна.



**Рисунок 3 – Кривые изменения остаточной газоносности карналлитовых пород в стенке выработки с горизонтальной щелью**

Согласно методике исследований эффективность применения горизонтальной щели для предотвращения ГДЯ при механизированной выемке карналлита оценивалась также по величине коэффициента эффективности  $K_{эф}$  по воздухопоглощению, который определяется как отношения показателей воздухопоглощения, достигнутых в зоне влияния щели в разные периоды времени после проходки щели к среднему для определенных участков массива исходному значению. Эффект считается достигнутым при получении значения  $K_{эф} \geq 1,5$  [9].

Исследования показали, что проведение горизонтальной разгрузочно – дегазационной щели в стенке выработки способствует росту показателя воздухопоглощения карналлитовых пород в приконтурном массиве на глубине, равной глубине щели. При этом безопасный уровень эффективности по воздухопоглощению  $K_{эф} \geq 1,5$ , достигается, также как и по величине остаточной газоносности, через 3 суток после прорезки щели (рисунок 4).

По результатам замеров в течение периода  $t \leq 10$  суток, прошедшего после проходки щели, получены регрессионные зависимости изменения во времени коэффициентов эффективности щелевой разгрузки по воздухопоглощению, которые описываются функциями следующего вида:

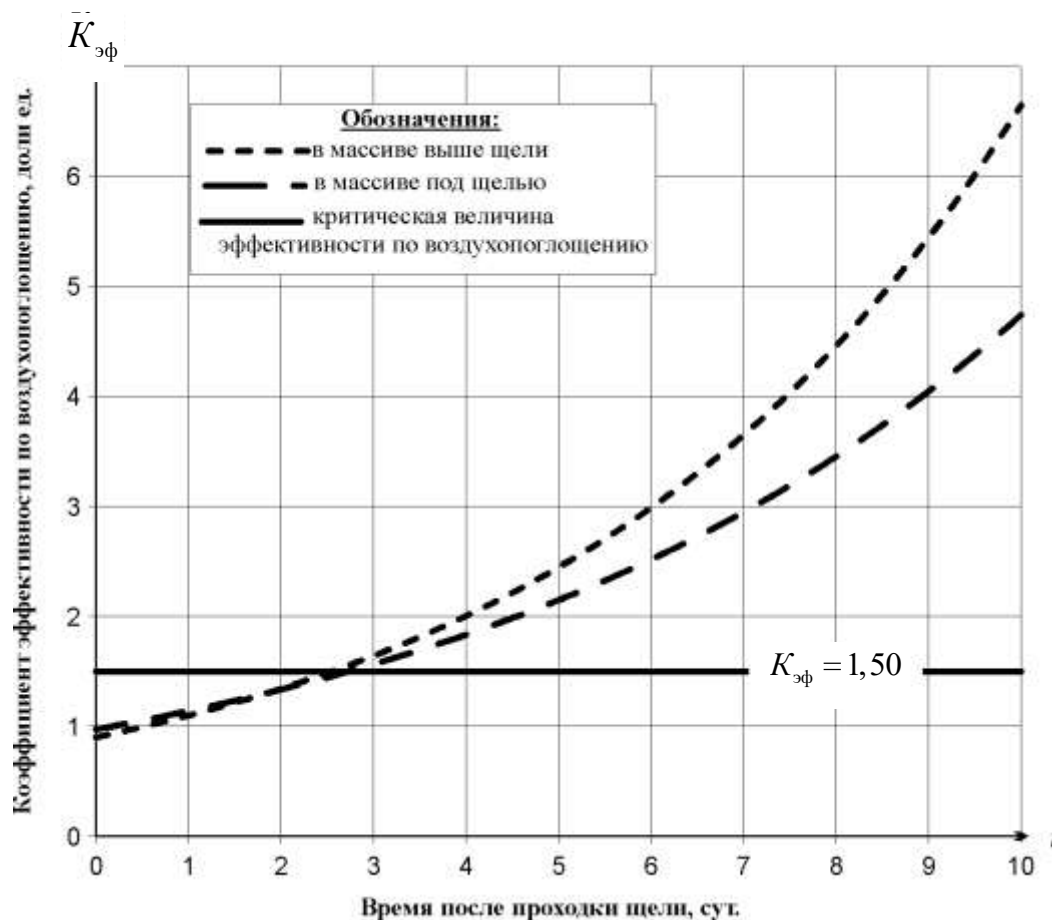
- для участка массива выше щели:

$$K_{эф} = 0,897 \times e^{0,2t}; \quad (5)$$

- для участка массива ниже щели:

$$K_{эф} = 0,969 \times e^{0,2t}, \quad (6)$$

где  $t$  – время после проходки щели, сут.



**Рисунок 4 – Кривые изменения коэффициентов эффективности по воздухопоглощению пород в стенке выработки с горизонтальной щелью**

Сходство зависимостей (5) и (6) свидетельствует о том, что при расположении горизонтальной разгрузочно-дегазационной щели в стенке горной выработки на равном расстоянии между кровлей и почвой в ходе конвергенции щели обеспечивается равномерный рост показателя воздухопоглощения карналлитовых пород в пределах высоты хода комбайна.

Дальнейшие наблюдения за изменением показателя воздухопоглощения показали, что через 40 суток после проходки щели в процессе нагнетания сжатого воздуха в массив в нескольких шпурах выше и ниже щели не удалось достичь заданного давления воздуха в системе. Этот факт также указывал на достижение в карналлитовом пласте на участке расположения нагнетательных шпуров необходимого уровня эффективности щелевой разгрузки по воздухопоглощению. Особо следует отметить тот факт, что сам процесс подачи воздуха в шпуры сопровождался характерными звуками в виде потрескивания пород, причем нагнетаемый воздух практически сразу и с шумом дренировал из стенки в выработку. Известно, что подобное поведение массива и отсутствие возможности достижения в системе заданного давления сжатого воздуха являются следствием постепенного формирования в карналлитовом пласте систем связанных трещин под влиянием щелевой разгрузки.

Таким образом, экспериментальными исследованиями в условиях рудника СКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» установлено, что применение щелевой разгрузки в условиях выбросоопасного карналлитового пласта способствует увеличению способности соляных пород пропускать газ вследствие развития в зоне влияния щели областей тре-



щиноватости и, следовательно, снижению давления газов в карналлитовом пласте, а также эффективной его дегазации.

Результаты исследований позволили сделать вывод о целесообразности применения горизонтальной дегазационно-разгрузочной щели в качестве эффективного способа дегазации выбросоопасного массива для предотвращения газодинамических явлений при механизированной добыче карналлитовой руды.

### Выводы

Основные научные и практические результаты экспериментальных исследований заключаются в следующем:

1. Экспериментально доказано, что проведение горизонтальной разгрузочно-дегазационной щели в карналлитовом пласте сопровождается развитием в стенке выработки со щелью деформаций растяжения. По результатам замеров получены закономерности процессов деформирования карналлитового пласта на контуре горной выработки с горизонтальной щелью, позволяющие оценивать изменение относительных вертикальных деформаций карналлитовых пород в стенке выработки в зависимости от расстояния до щели, а также изменение во времени скорости деформаций карналлитовых пород под влиянием щелевой разгрузки. В ходе исследований установлено, что по мере увеличения расстояния от щели в направлении кровли и почвы выработки процессы деформирования отдельных слоев карналлитового пласта протекают менее активно. При этом в одних и тех же по высоте относительно щели слоях в стенке выработки со временем происходит рост достигнутых ранее значений деформаций. Регулярными наблюдениями за состоянием стенки выработки на участке со щелью отмечено повышение трещиноватости карналлитового пласта и постепенное формирование в карналлитовом пласте систем связанных трещин.

2. Экспериментальными исследованиями доказана эффективность применения щелевой разгрузки в условиях карналлитового пласта В. Установлено, что проведение щели способствует снижению значений остаточной газоносности и росту показателей воздухопоглощения карналлитовых пород в массиве на глубине щели. По результатам замеров получены закономерности процессов дегазации приконтурной части карналлитового пласта с горизонтальной щелью, позволяющие оценивать изменение во времени значений остаточной газоносности и коэффициентов эффективности щелевой разгрузки по воздухопоглощению карналлитовых пород в зоне влияния щели.

3. По итогам экспериментальных исследований щелевая разгрузка рекомендована в качестве эффективного способа предотвращения газодинамических явлений при механизированной отработке карналлитовых пластов, основанного на разгрузке и дегазации карналлитового пласта с помощью горизонтальной щели. Для условий рудника СКРУ-1 ОАО «Уралкалий» разработаны два варианта технологических схем реализации способа предотвращения газодинамических явлений при механизированной отработке карналлитового пласта В с помощью щелевой разгрузки. Первый вариант заключается в предварительной дегазации и разгрузке выбросоопасного 6-го слоя карналлитового пласта В с помощью горизонтальной разгрузочно-дегазационной щели глубиной 3,0 м, создаваемой в одной из стенок разрезной выработки специальным устройством для нарезки РДЩ, установленным непосредственно на комбайне «Урал-10А». Вторым вариантом включает предварительную дегазацию и разгрузку выбросоопасного 6-го слоя карналлитового пласта В с помощью горизонтальных разгрузочно-дегазационных щелей глубиной 3,0 м, проводимых в обеих стенках разрезной выработки щеленарезной машиной.

4. Предложенный способ борьбы с ГДЯ при комбайновой отработке карналлита с помощью щелевой разгрузки имеет по сравнению с методом торпедирования карналлитового пласта В ряд достоинств, а именно: снижение сейсмического воздействия взрыва на приконтурный массив за счет исключения взрывных работ в стенках разрезной выработки и уменьшения общего расхода взрывчатого вещества на проходческий цикл; отсутствие ограничения максимального периода времени с момента прорезки разгрузочно-дегазационной щели до начала отработки комбайном предварительно дегазированных расширений; снижение риска производственного травматизма рабочих, занятых предварительной дегазацией массива верхнего выемочного слоя, в связи с исключением из проходческого цикла процесса бурения шпуров в недегазированные стенки горной выработки ручными электросверлами.

#### Список использованных источников

1. **Проскураков, Н.М.** Управление газодинамическими процессами в пластах калийных руд / Н.М. Проскураков, О.В. Ковалев, В.В. Мещеряков. – М.: Недра, 1988. – 240 с.
2. **Бей, М.М.** Об эффективности торпедирования массива при комбайновой выемке карналлита / М.М. Бей, В.В. Филатов, Г.В. Барышников // Горные работы на калийных рудниках / М.М. Бей [и др.]. – Л., 1990. – С. 11-16.
3. **Андрейко, С.С.** Предотвращение газодинамических явлений в почве выработанного пространства лав / С. С. Андрейко [и др.] // Горный журнал. – 2004. – № 2. – С. 45-48.
4. **Андрейко, С.С.** Статистические критерии и результаты оценки закономерностей распределения газодинамических явлений на калийных месторождениях / С.С. Андрейко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2003. – № 4. – С. 45-56.
5. **Журавков, М.А.** Влияние компенсационных щелей на устойчивость выработок, пройденных в породах, опасных по ГДЯ / М.А. Журавков // Совершенствование разработки соляных месторождений / М.А. Журавков. – Пермь, 1990. – С. 30-41.
6. **Лаптев, Б.В.** Предотвращение газодинамических явлений на калийных рудниках / Б.В.Лаптев. – М.: Недра, 1994. – 138 с.
7. **Андрейко, С.С.** Газодинамические явления в калийных рудниках. Генезис, прогноз и управление / С.С. Андрейко, П.А. Калугин, В.Я. Щерба; под ред. В.Я. Прушака. – Минск: Высшая школа, 2000. – 335 с.
8. **Жихарев, С.Я.** Разработка способа предотвращения динамических явлений для условий второго и третьего Березниковских рудников / С.Я. Жихарев, Г.Д. Полянина, Ю.Н. Падерин // Технология и безопасность горных работ в калийных рудниках / С.Я. Жихарев [и др.]. – Пермь: ППИ, 1985. – С. 104-108.
9. Специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей в условиях газового режима в ОАО «Уралкалий». – Пермь – Березники, 2005. – 67 с.
10. Указания по безопасной механизированной отработке карналлитового пласта В и пластов смешанного состава на рудниках ОАО «Сильвинит». – Пермь – Соликамск, 2002. – 47 с.
11. **Нестерова, С.Ю.** Оценка состояния стенок горных выработок после торпедирования при механизированной выемке карналлитового пласта В в условиях рудника СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит» / С.Ю. Нестерова // Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов: сборник докладов. – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2003. – С. 237-239.

12. Способ управления газодинамическими процессами в приконтурном массиве горной выработки: пат. 2199014 РФ, МПК7 E 21 F 5/00 / Н.И. Алыменко, С.С. Андрейко, Ю.П. Бушуев, В.В. Минин, С.Ю. Нестерова, А.Н. Чистяков; заявитель ОАО «Сильвинит» – № 2001114467/03; заявл. 25.05.01; опубл. 20.02.03 – Бюл. № 5.

13. **Нестерова, С.Ю.** Методика проведения исследований безвзрывного способа дегазации при механизированной выемке карналлитового пласта В / С.Ю. Нестерова // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник докладов / С.Ю. Нестерова [и др.]. – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2004. – С. 269-273.

14. **Нестерова, С.Ю.** Результаты исследования эффективности применения дегазационно-разгрузочной щели для предотвращения газодинамических явлений при механизированной выемке карналлитового пласта В / С.Ю. Нестерова // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы науч. сессии Горного ин-та УрО РАН по результатам НИР в 2004 г., Пермь, 18-22 апр. 2005 г. – Пермь, 2005. – С. 270-272.

15. **Андрейко, С.С.** Дегазация выбросоопасного карналлитового пласта с помощью щелевой разгрузки / С.С. Андрейко, С.Ю. Нестерова, Т.А. Бикмаева // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 8. – С. 89-91.

---

**Andreyko S.S., Nesterova S.Y., Ivanov O.V.**

**Estimation of the kerf dump effectiveness for prevention of the gas-dynamic phenomena by machine mining of carnallite**

*The results of mining experimental research on the estimation of the dump and degassing processes effectiveness of dangerous on blowout carnallite layer with the help of the horizontal dump degassing kerf are presented. Regularities of changes over time in the influence zone of kerf of the residual gas bearing values and carnallite rocks air absorption indicators are established. Technological scheme of machine mining of carnallite with dump degassing kerf for existing heading and stall method parameters are proposed.*

Поступила в редакцию 12.07.2012 г.

УДК 622.25:536

## ТЕРМОВЛАЖНОСТНОЙ ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Белоусов В.И., Шваб Р.Г., Батяновский А.Л. (ОАО «Белгорхимпром», г. Минск, Беларусь)

*В статье дан инженерный метод прогнозирования микроклимата калийных рудников, основанный на результатах натурных исследований. Метод с достаточной для практики точностью позволяет определить ожидаемые термовлажностные параметры атмосферы в проектируемых рудниках, необходимость применения в них специальных мероприятий и средств для ее нормализации, а также мощность и места размещения этих средств.*

### Введение

Микроклимат рудников при нормализованной пылегазовой обстановке рудничной атмосферы определяется температурой, влажностью и скоростью движения воздуха, из которых основным фактором является температура.

Комфортное состояние человеческого организма соблюдается при тепловом балансе, когда количество тепла, вырабатываемое в организме, равно количеству тепла, отдаваемого в окружающую среду. При несоблюдении данного баланса происходит перегрев или переохлаждение организма со всеми вытекающими негативными последствиями. Количество вырабатываемого человеческим организмом тепла зависит от вида деятельности человека (от 90 Вт при бодрствовании в покое до 500 Вт и более при выполнении тяжелой физической работы). Теплоотдача тела человека и поддержание в нем температуры 36,6 °С является важным условием для нормального протекания жизненных процессов. Переохлаждение тела человека приводит к простудным заболеваниям, а перегрев – к ухудшению самочувствия, заболеваниям кровеносных сосудов, гипертонии, ишемической болезни сердца и др., возможны тепловой стресс и даже удар.

Теплоотвод от человека через дыхание составляет 10 %, через кожу за счет лучеиспускания, конвекции и испарения пота 90 %. Теплообмен дыханием осуществляется при температуре воздуха менее 37 °С; за счет лучеиспускания при температуре стенок выработок менее 34 °С; в результате конвекции, когда существует движение воздуха; посредством испарения пота, когда относительная влажность воздуха ниже влажности насыщения [1].

На участках с повышенной температурой воздуха травматизм на 20-30 % выше. Превышение допустимой температуры только на 1 °С влечет по оценке физиологов снижение производительности труда горнорабочих на 3-10 % [2, 3]. Нормализация теплового режима шахт и рудников позволяет повысить производительность труда на 20-50 % [4].

Существующими нормативами [5, 6] определены оптимальные и допустимые температуры рудничного воздуха в зависимости от интенсивности энергозатрат и времени выполнения работы.

Согласно [7] для предотвращения обмерзания воздухоподающего ствола и разрушения его крепи в холодный период года поступающий в этот ствол воздух должен иметь температуру не ниже +2,0 °С, а для создания комфортных условий труда температура воздуха на рабочих местах в рудниках не должна превышать +26,0 °С.



Одной из специфических особенностей калийных рудников является гигроскопичность соляных руд и пород и обусловленные ею процессы конденсации водяных паров при относительной влажности воздуха  $\varphi$  менее 100 %. Критическая относительная влажность воздуха  $\varphi_{кр}$ , когда начинаются процессы конденсации, составляет для каменной соли, галита (NaCl) 77 %, сильвинита (KCl) 67 %, карналлита ( $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ ) 50 % и бишофита ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) 40 % [8].

При  $\varphi \geq \varphi_{кр}$  происходит конденсация содержащихся в воздухе водяных паров как поверхностная – на стенках, кровле и почве горных выработок, так и объемная – на частицах витающей пыли. Конденсация водяных паров сопровождается выделением в воздух скрытого тепла фазового перехода.

Образование водного конденсата затрудняет работу автотранспорта, особенно при его движении на уклонах; вызывает снижение несущей способности целиков и расслоение пород кровли. Образующиеся при этом соляные рассолы оказывают агрессивное воздействие на горное оборудование, увеличивают его коррозионный износ, снижают взрывобезопасность, нарушают изоляцию электрооборудования и кабельных электросетей, выводят из строя устройства автоматизации. Процессы растворения и гидратации солей приводят к нарушению герметичности вентиляционных сооружений.

### **1. Геология месторождения, горнотехнические условия и характеристики вентиляционной сети рудника**

Для разработки достоверного прогноза ожидаемого микроклимата в конкретном руднике необходимо получение как можно более полной информации о геологии месторождения, горнотехнической характеристике рудника, климата района его расположения и термометрии пород.

Дается географическое расположение месторождения, его площадь, размеры, наименование полезного ископаемого, мощность рудного тела, характер и глубина залегания. Указывается тип и особенности вмещающих пустых пород, обводненность в районе вскрытия месторождения. Описывается схема вскрытия, количество рабочих горизонтов и характеристики воздухоподающих и воздуховыдающих стволов, их глубина, сечение, тип крепления, наличие и назначение подъемных сосудов, схемы добычи и транспортировки полезного ископаемого. Дается порядок отработки шахтного поля, тип и количество проходческого, горнодобывающего и горнотранспортного оборудования, производительность и режим работы рудника.

В изометрии приводится схема вентиляции рудника, на которой для каждого рабочего горизонта выбираются наиболее протяженный характерный маршрут, который разбивается на отдельные участки (воздухоподающий ствол, выработки главных направлений и панели, вентиляционные выработки панели и главных направлений, воздуховыдающий ствол).

Узловые сечения вентиляционной сети выбранного маршрута нумеруются:

- «0» – сопряжение воздухоподающего ствола с калориферным каналом;
- «1» – сопряжение воздухоподающего ствола с рабочим горизонтом (околоствольным двором);
- «2» – сопряжение околоствольного двора с выработками главных направлений;
- «3» – сопряжение выработок главных направлений с панелью;
- «4» – сопряжение выработок панели с очистным блоком;
- «5» – сопряжение очистного блока с вентиляционными выработками панели;

«6» – сопряжение вентиляционных выработок панели с вентиляционными выработками главных направлений;

«7» – сопряжение вентиляционных выработок главных направлений с воздуховыдающим стволом;

«8» – сопряжение воздуховыдающего ствола с вентиляторным каналом.

Для каждого узлового сечения указывается относительная высотная отметка. Дается описание выбранных участков: технологическое назначение, длина, количество выработок, площадь их сечения и периметр, наличие и тип крепления, расходы воздуха и депрессия, величины внутрирудничных утечек и подсосов воздуха.

Приводятся параметры калориферного и вентиляторного каналов (площадь сечения, периметр, длина, расход воздуха, депрессия), величина внешних подсосов на воздухоподающем и воздуховыдающем стволах.

Указывается тип вентиляторов главного проветривания, их месторасположение и характеристики в графическом виде, общерудничный расход воздуха и величина рудничной депрессии.

## 2. Климат района расположения рудника

Дается общая характеристика климата района расположения рудника, например: умеренно теплый (холодный) с малоснежной зимой и сухим (влажным) летом; континентальный с холодной малоснежной зимой и жарким, засушливым летом; пустынно-континентальный, засушливый, с большими суточными и межсезонными колебаниями температур и низкой влажностью воздуха и т.д.

По данным близлежащей метеостанции по восьми срокам суточных наблюдений (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 ч) принимаются средние за последние 10 лет метеопараметры района расположения рудника: температуры воздуха на высоте 2,0 м над поверхностью земли  $t_A$ , °С, температуры поверхности почвы  $t_{пов}$ , °С, относительной влажности воздуха  $\varphi_A$ , % и его атмосферного (барометрического) давления  $P_{б(А)}$ , Па или мм рт. ст. Значения этих параметров записываются в таблицы по нижеприведенной форме, т.е. соответственно таблицы 1-4.

Таблица 1 (2, 3, 4) – Значения параметров  $t_A$  ( $t_{пов}$ ,  $\varphi_A$ ,  $P_{б(А)}$ )

Сроки наблюдений, ч	Месяцы												Среднее за год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Среднее за месяц													

Также из всех наблюдений на метеостанции за принятый период времени фиксируются экстремально низкая  $t_{min}$  и экстремально высокая  $t_{max}$  температуры воздуха и соответствующие им по времени  $\varphi_A$  и  $P_{б(А)}$ .

### 3. Термометрическая характеристика пород месторождения

Температура горных пород на различной глубине  $H$  от поверхности описывается уравнением:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{нс}} - \Gamma_{\text{г}}(H - h_{\text{нс}}), \quad (1)$$

где  $t_{\text{п}}$  – температура пород, °С;

$t_{\text{нс}}$  – температура пород нейтрального слоя Земли, °С;

$\Gamma_{\text{г}}$  – геотермический градиент пород, град/м;

$H$  – глубина (от поверхности) слоя породы, в котором определяется  $t_{\text{п}}$ , м, со знаком «минус»;

$h_{\text{нс}}$  – глубина (от поверхности) горизонтальной оси нейтрального слоя Земли со знаком «минус».

Для определения в (1) численных величин  $t_{\text{нс}}$ ,  $\Gamma_{\text{г}}$  и  $h_{\text{нс}}$  все значения  $t_{\text{п}}$  при различных  $H$  по замерам в геологической скважине заносятся в соответствующую таблицу и на график  $t_{\text{п}} - H$ , где  $H$  – ось абсцисс, а  $t_{\text{п}}$  – ось ординат. График анализируется, примерно через интервалы  $\Delta H$  в 50-100 м выбираются точки характерные для функции  $t_{\text{п}} = f(H)$ . Обычно выбирается 10-20 точек.

Значения  $H$  и соответствующие им  $t_{\text{п}}$  выбранных точек записываются в отдельную таблицу и наносятся на новый график  $t_{\text{п}} - H$ .

В первом приближении принимается, что  $t_{\text{нс}}$  равна среднегодовой температуре поверхности почвы (таблица 2). Все выбранные данные  $t_{\text{п}} = f(H)$  разбиваются на две равные группы и путем решения этих групп по уравнению (1) при принятой  $t_{\text{нс}}$  находятся величины  $\Gamma_{\text{г}}$  и  $h_{\text{нс}}$ . После чего при полученных  $\Gamma_{\text{г}}$  и  $h_{\text{нс}}$  вторично по решению (1) всех выбранных  $t_{\text{п}}$  при различных  $H$  уточняется величина  $t_{\text{нс}}$ . Уравнение (1) записывается в окончательном виде с полученными значениями  $t_{\text{нс}}$ ,  $\Gamma_{\text{г}}$  и  $h_{\text{нс}}$  и графически. Определяется погрешность полученных  $t_{\text{п}}$  от исходных данных.

### 4. Разработка прогноза рудничного микроклимата

Из всего диапазона изменения температур атмосферного воздуха для района расположения рудника (таблица 1) примерно через интервал в 10 °С выбираются значения  $t_{\text{А}}$ ,  $t_{\text{А(min)}}$  и  $t_{\text{А(max)}}$  и соответствующие им по срокам наблюдений  $\varphi_{\text{А}}$  и  $P_{\text{б(А)}}$  (таблицы 3 и 4). Эти данные записываются в таблицу 5 по нижеприлагаемой форме. Выполняется расчет парциального давления насыщающих воздух водяных паров  $P_{\text{н}}$  ( $P_{\text{н(А)}}$ ):

$$P_{\text{н}} = 10^{-3} \cdot 6,149 \cdot P_{\text{г}} \cdot \exp\left(\frac{17,18 \cdot t}{236 + t}\right), \text{ Па}; \quad (2)$$

парциального давления содержащихся в воздухе водяных паров  $P$  ( $P_{\text{А}}$ ):

$$P = 0,01 \cdot \varphi \cdot P_{\text{н}}, \text{ Па}; \quad (3)$$

влажностности  $d (d_A)$ :

$$d = 622 \cdot P / (P_6 - P), \text{ г/кг сух. в.}; \quad (4)$$

плотности воздуха  $\rho (\rho_A)$ :

$$\rho = (P_6 - 0,378 \cdot P) / 287 \cdot (273 + t), \text{ кг/м}^3. \quad (5)$$

Таблица 5 – Характерные параметры атмосферы

Сроки наблюдений, ч, м-ц	$t_A$ , °C	$P_{6(A)}$ , Па	$\varphi_A$ , %	$(P_{\text{н}(A)})$ , Па	$P_A$ , Па	$d_A$ , г/кг сух. в.	$\rho_A$ , кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8

Термодинамика воздуха в калийных рудниках достаточно полно с учетом их специфических особенностей описывается физическими моделями, разработанными на основе теплового баланса. При этом учитываются только факторы, величина которых оказывает практическое влияние на изменение термовлажностного режима рудников.

### 5. Расчет параметров воздуха, поступающего на рабочий горизонт

По исходным данным принимается глубина воздухоподающего ствола до рабочего горизонта  $H$ , м, его диаметр «в свету»  $D$ , м, периметр  $\Pi$ , м и площадь поперечного сечения  $S$ , м<sup>2</sup>. Описывается технологическое назначение ствола, армировка и крепление. Даются объемный  $V_0$ , м<sup>3</sup>/с, массовый  $G_0$ , кг/с расходы и скорость  $U$ , м/с движения воздуха в стволе, а также депрессия ствола  $h$ , Па.

При нисходящем движении по воздухоподающему стволу тепловая мощность  $Q_0$ , кДж/с и температура  $t_0$ , °C поступающего воздуха изменяется вследствие действия следующих факторов: адиабатического сжатия ( $\Delta Q_{\text{а с}}, \Delta t_{\text{а с}}$ ), затрат тепла на испарение влаги со стенок ствола ( $\Delta Q_{\text{исп}}, \Delta t_{\text{исп}}$ ), теплообмена с вмещающими породами ( $\Delta Q_{\text{т о}}, \Delta t_{\text{т о}}$ ), потерь энергии движения на преодоление аэродинамического сопротивления шероховатых стенок ствола и лобовых сопротивлений армировки ( $\Delta Q_{\text{сопр}}, \Delta t_{\text{сопр}}$ ), расширения или сжатия воздуха в результате действия главного вентилятора общерудничного проветривания ( $\Delta Q_{\text{гвп}}, \Delta t_{\text{гвп}}$ ).

Величины ( $\Delta Q_{\text{сопр}}, \Delta t_{\text{сопр}}$ ) и ( $\Delta Q_{\text{гвп}}, \Delta t_{\text{гвп}}$ ) относительно малы, примерно численно равны и при всасывающем способе общерудничного проветривания (что типично для калийных рудников) имеют противоположный знак [9]. Поэтому эти величины при расчетах не учитываются.

Таким образом, тепловая мощность и температура воздушного потока при его поступлении на рабочий горизонт будет:



$$Q_1 = Q_0 + \Delta Q_{ac} - \Delta Q_{исп} \pm \Delta Q_{то}, \text{ кДж/с}; \quad (6)$$

$$t_1 = t_0 + \Delta t_{ac} - \Delta t_{исп} \pm \Delta t_{то}, \text{ }^\circ\text{C}, \quad (7)$$

с учетом  $t_1 = Q_1 / (G \cdot c)$ ,  $\Delta t_i = \Delta Q_i / (G \cdot c)$ ,  $^\circ\text{C}$ , где  $c \approx 1,0 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – удельная теплоемкость воздуха.

В (6) и (7) индексы «0» и «1» согласно вентиляционной схеме рудника относятся, соответственно, к «нулевой» отметке воздухоподающего ствола и к глубине околоствольного двора рабочего горизонта.

У  $\Delta Q_{то}$  и  $\Delta t_{то}$  знак «плюс», когда температура воздуха в стволе ниже температуры вмещающих пород – и тепловой поток направлен от пород к воздуху, знак «минус», когда температура воздуха в стволе выше температуры пород – и тепловой поток направлен от воздуха к породам.

При наличии других источников тепlopоступлений они дополнительно вводятся в (6) и (7). Например, подача материала закладки учитывается по [8].

$$Q_0 = G_0 \cdot c \cdot t_0, \text{ кДж/с}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ac} = G_0 \cdot c \cdot \gamma \cdot |H_1|, \text{ кДж/с}, \quad (9)$$

где  $\gamma$  – вертикальный сухоадиабатический градиент температуры, град/м,  $\gamma = 0,0098 \text{ град/м}$ ;

$|H_1|$  – абсолютная величина глубины ствола до околоствольного двора рабочего горизонта, м.

$$\Delta Q_{исп} = 0,001 \cdot G_{сухв} \cdot (d_1 - d_0) \cdot r, \text{ кДж/с}, \quad (10)$$

где  $d_0$ ,  $d_1$  – влагосодержание воздуха, соответственно, при поступлении в ствол и на рабочий горизонт, г/кг сух. в.:

$$d_1 = d_0 + 0,0052 \cdot K_{ос} \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi_0) \cdot |H_1|, \text{ г/кг сух. в.}; \quad (11)$$

$G_{сухв}$  – массовый расход сухого воздуха, кг сух. в./с:

$$G_{сухв} = G_0 / (1 + 0,001 \cdot d_0), \text{ кг сух. в./с}; \quad (12)$$

$r$  – скрытая теплота фазового перехода (испарения или конденсации) воды, кДж/кг:

$$r = 2500 - 2,42 \cdot \bar{t}, \text{ кДж/кг}, \quad (12')$$

где  $\bar{t}$  – средняя температура, при которой происходит фазовый переход, °С. При относительно незначительном изменении  $\Delta t$  в стволе вместо  $\bar{t}$  в первом приближении можно принимать  $t_0$ ;

$K_{об}$  – безразмерный коэффициент, характеризующий степень обводненности ствола,  $K_{об} = 0$  при абсолютно сухой и  $K_{об} = 1$  при влажной поверхности ствола.

При движении воздуха по выработке в горном массиве вокруг выработки формируется зона охлаждения (нагрева) в которой, в основном, и осуществляется теплообмен. Ширина этой зоны  $l_{то}$  зависит от теплофизических свойств пород, скорости движения воздуха и др. По данным [10]  $l_{то} \approx 3 - 20$  м.

Изменение тепловой мощности  $\Delta Q_{то}$  воздушного потока в стволе в результате его теплообмена с вмещающими породами [1]:

$$\Delta Q_{то} = 10^{-3} \cdot \alpha \cdot \Pi \cdot |H_1| \cdot (\bar{t}_п - \bar{t}), \text{ кДж/с}, \quad (13)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от воздуха к породам или наоборот, Вт/(м<sup>2</sup> · К), по данным натуральных исследований [9] для воздухоподающих стволов с армировкой расстрелами и бетонным креплением:

$$\alpha = 0,0105 \cdot (G_0 / S)^{3,18}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}; \quad (14)$$

$\bar{t}_п$  – средняя температура вмещающих пород в стволе, °С:

$$\bar{t}_п = 0,5 \cdot (t_{пс} + t_п), \text{ °С}, \quad (15)$$

где  $t_п$  – температура пород на глубине околоствольного двора по (1), °С;

$\bar{t}$  – средняя температура воздуха в стволе, °С:

$$\bar{t} = 0,5 \cdot (t_0 + t_1) \text{ °С}. \quad (16)$$

Величина  $\Delta Q_{то}$  рассчитывается методом приближений, порядок расчета следующий:

1) По (14) вычисляется  $\alpha$ , в первом приближении в (13) вместо  $\bar{t}$  подставляется значение  $t_0$  и рассчитывается  $\Delta Q_{то}$ .

2) По (8), (9) и (10) вычисляются соответственно  $Q_0$ ,  $\Delta Q_{ас}$  и  $\Delta Q_{исп}$ .

3) По (6) и (7) определяются величины  $Q_1$ ,  $t_1$  и  $\Delta t_1$ .

4) По (16) вычисляется  $\bar{t}$ , значение которой подставляется в (13) и определяется новое значение  $\Delta Q_{то}$ .

5) По (6) и (7) вычисляются уточненные значения  $Q_1$ ,  $t_1$  и  $\Delta t_1$ . Отклонения между  $\Delta t_1$ ,  $t_1$  не должны превышать 0,1 °С. В противном случае расчеты повторяются при

новых значениях  $t_1$  и  $\bar{t}$ . И т.д. до получения отклонения у последовательно вычисленных  $t_1$  не более, чем на 0,1 °С.

Согласно [9] в воздухоподающих стволах калийных рудников барометрическое давление на глубине  $H_1$ :

$$P_{61} \approx P_{6(0)} - 11,2 \cdot H_1, \text{ Па.} \quad (17)$$

Принимается, что в воздухоподающий ствол поступает воздух с атмосферными параметрами, т.е.  $t_0 = t_A$  и т.д. Для всего диапазона температур воздуха согласно таблицы 5 по вышеприведенной методике выполняются расчеты  $Q_0$ ,  $\Delta Q_{ac}$ ,  $\Delta Q_{исп}$ ,  $\Delta Q_{то}$ ,  $Q_1$ ,  $\Delta t_1$ ,  $t_1$  и других параметров воздуха. Их значения заносятся в таблицы 6 и 7.

Таблица 6 – Изменение тепловой мощности и температуры воздуха в воздухоподающем стволе

$t_0 = t_A, \text{ }^\circ\text{C}$	$Q_0,$ кДж/с	$\Delta Q_{ac},$ кДж/с	$\Delta Q_{исп},$ кДж/с	$\Delta Q_{то},$ кДж/с	$Q_1,$ кДж/с	$\Delta t_1, \text{ }^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 7 – Параметры воздуха, поступающего на рабочий горизонт

$t_0 = t_A,$ °C	$t_1 = t_0 + \Delta t_1,$ °C	$P_{61},$ Па	$\varphi_1,$ %	$P_{н1},$ Па	$P_1,$ Па	$d_1,$ г/кг сух.в	$\rho_1,$ кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8

## 6. Расчет параметров воздуха на рабочем горизонте и рабочих местах

Согласно вентиляционной сети рудника на рабочем горизонте свежий воздух от околоствольного двора до рабочих мест (очистные работы) поступает по выработкам главных направлений (участок 2-3) и панельным выработкам (участок 3-4). При расчетах принимается, что параметры воздуха на выходе из околоствольного двора (сечение 2) соответствуют параметрам воздуха, поступающего на рабочий горизонт, т.е.  $P_{62} = P_{61}$ ,  $t_2 = t_1$ ,  $d_2 = d_1$  и  $\varphi_2 = \varphi_1$ , см. таблицу 7.

Параметры воздуха на рабочем горизонте изменяются вследствие действия следующих факторов:

- теплообмена с породами ( $\Delta Q_{то}, \Delta t_{то}$ );
- поступления тепла от техногенных источников, т.е. от работающих конвейеров по транспортировке отбитой горной массы, дизельного транспорта, электрооборудования, от людей и т.д. ( $\Delta Q_{техн}, \Delta t_{техн}$ );
- адиабатического сжатия (расширения) при изменении глубины расположения выработок ( $\Delta Q_{ac}, \Delta t_{ac}$ );
- затрат или привноса тепла при фазовых переходах, соответственно, при испарении влаги из горного массива с поверхности выработок и транспортируемой по кон-

вейерному штреку свежееотбитой горной массы или конденсации содержащихся в воздухе водяных паров ( $\Delta Q_{\phi}$ ,  $\Delta t_{\phi}$ );

- затрат энергии движения воздушного потока на преодоление аэродинамического сопротивления шероховатых стенок выработок ( $\Delta Q_{\text{сопр}}$ ,  $\Delta t_{\text{сопр}}$ );

- расширения или сжатия воздуха в результате действия главного вентилятора общерудничного проветривания ( $\Delta Q_{\text{гвп}}$ ,  $\Delta t_{\text{гвп}}$ ).

Следует отметить, что увеличение влагосодержания воздуха в калийном руднике происходит не только за счет испарения влаги, но и в результате работы автотранспорта. Так, при сгорании 1 кг дизельного топлива образуется порядка 1,4 кг водяных паров. Это изменение влагосодержания воздуха относительно испарения (конденсации) сравнительно незначительно, поэтому оно при практических расчетах не учитывается [11]. Также не учитываются  $\Delta Q_{\text{сопр}}$ ,  $\Delta t_{\text{сопр}}$  и  $\Delta Q_{\text{гвп}}$ ,  $\Delta t_{\text{гвп}}$ .

С учетом вышесказанного, тепловая мощность воздушного потока на сопряжении выработок главных направлений с панельными выработками (сечение 3) будет:

$$Q_3 = Q_2 \pm \Delta Q_{\text{т.о.}(2-3)} + \Delta Q_{\text{техн}(2-3)} \pm \Delta Q_{\text{т.с.}(2-3)} \pm \Delta Q_{\phi(2-3)}, \quad (18)$$

а температура:

$$t_3 = t_2 \pm \Delta t_{\text{т.о.}(2-3)} + \Delta t_{\text{техн}(2-3)} \pm \Delta t_{\text{т.с.}(2-3)} \pm \Delta t_{\phi(2-3)}, \quad ^\circ\text{C}, \quad (19)$$

где  $Q_2$ ,  $t_2$  – соответственно тепловая мощность воздушного потока и его температура на выходе из околоствольного двора в сечении 2, кДж/с,  $^\circ\text{C}$ :

$$Q_2 = G_2 \cdot c \cdot t_2, \quad \text{кДж/с}; \quad (20)$$

$$t_3 = Q_3 / (\bar{G}_{(2-3)} \cdot c); \quad \Delta t_i = \Delta Q_i / \bar{G}_{(2-3)} \cdot c; \quad ^\circ\text{C};$$

$\bar{G}_{(2-3)}$  – средний массовый расход воздуха на участке 2-3, кг/с:

$$\bar{G}_{(2-3)} = 0,5 \cdot (G_2 + G_3), \quad \text{кг/с}, \quad (21)$$

где  $G_2$ ,  $G_3$  – массовый расход воздуха соответственно в сечениях 2 и 3, кг/с.

Внутрирудничные утечки воздуха на участке 2-3:

$$G_{\text{ут в}(2-3)} = G_2 - G_3, \quad \text{кг/с} \quad (22)$$

В (18) и (19) знаки ( $\pm$ ) у  $\Delta Q_{\text{т.о.}(2-3)}$  и  $\Delta t_{\text{т.о.}(2-3)}$  обозначают то же, что и в (6) и (7); у  $\Delta Q_{\phi(2-3)}$ ,  $t_{\phi(2-3)}$  знак (-) при испарении влаги, (+) при конденсации водяных паров; у  $\Delta Q_{\text{т.с.}(2-3)}$ ,  $\Delta t_{\text{т.с.}(2-3)}$  знак (-), когда глубина сечения 3 меньше глубины сечения 2, а (+) – наоборот.

На рабочем горизонте движущийся по горным выработкам воздух в результате теплообмена с породами стремится к достижению температуры пород [11]. Тогда

$$\Delta Q_{\tau_0} = \bar{G}_{(2-3)} \cdot c \cdot (t_{\text{п3}} - t_2), \text{ кДж/с}, \quad (23)$$

где  $t_{\text{п3}}$  – температура пород в сечении 3, °С.

В то же время [1]:

$$\Delta Q_{\tau_0} = 10^{-3} \cdot \alpha \cdot \sum \Pi \cdot L \cdot (\bar{t}_{\text{п}} - \bar{t}), \text{ кДж/с}, \quad (24)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от воздуха породам (или наоборот), Вт/(м<sup>2</sup> · К), по результатам натурных исследований [11] в выработках без крепления:

$$\alpha = 0,0154 \cdot (\bar{G} / \sum S)^{3,18}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}, \quad (25)$$

где  $\sum \Pi$ ,  $\sum S$  – суммарные соответственно периметр (м) и площадь сечения (м<sup>2</sup>) параллельных выработок со свежей струей на участке 2-3;

$L$  – длина выработок, когда температура воздуха в результате теплообмена с породами сравнивается с их температурой, м;

$$\bar{t}_{\text{п}} = 0,5 \cdot (t_{\text{п2}} + t_{\text{п3}}), \text{ }^\circ\text{С}; \quad (26)$$

$$\bar{t} = 0,5 \cdot (t_2 + t_{\text{п3}}), \text{ }^\circ\text{С}. \quad (27)$$

При  $\bar{t}_{\text{п}} > \bar{t}$  тепловой поток направлен от пород к воздуху, в результате чего происходит нагрев воздуха; при  $\bar{t}_{\text{п}} = \bar{t}$  – теплообмен отсутствует; при  $\bar{t}_{\text{п}} < \bar{t}$  тепловой поток направлен от воздуха к породам, в результате чего происходит охлаждение воздуха.

Приравняв правые части уравнений (23) и (24) и решив относительно  $L$ , имеем:

$$L = \frac{\bar{G}_{(2-3)} \cdot c \cdot (t_{\text{п3}} - t_2)}{10^{-3} \cdot \alpha \cdot \sum \Pi \cdot (\bar{t}_{\text{п}} - \bar{t})}, \text{ кДж/с}. \quad (28)$$

Если длина участка 2-3  $L_{(2-3)} \geq L$ , тогда  $\Delta Q_{\tau_0(2-3)}$  рассчитывается по (23), если же  $L_{(2-3)} < L$ , тогда  $\Delta Q_{\tau_0(2-3)}$  рассчитывается по зависимости:

$$\Delta Q_{\tau_0(2-3)} = \frac{L_{(2-3)}}{L} \bar{G}_{(2-3)} \cdot c \cdot (t_{\text{п3}} - t_2), \text{ кДж/с} \quad (29)$$

На рабочем горизонте калийных рудников ленточные конвейеры по транспортировке отбитой горной массы от очистных забоев до подземных бункеров, как правило, располагают на свежей струе. При этом тепловыделения от работающих конвейеров в сумме всех техногенных источников составляют не менее 95 % [11]. Поэтому при практических расчетах величина  $\Delta Q_{\text{техн}(2-3)}$  определяется только по конвейерам, тогда [1, 10]:

$$\Delta Q_{\text{техн}(2-3)} = 0,0136 \cdot L_{\text{к}} \cdot U_{\text{к}} \cdot \frac{K_0}{\eta_{\text{эл}}} \cdot (g_{\text{ГМ}} + 2g_{\text{л}} + g_{\text{р}}' + g_{\text{р}}''), \text{ кДж/с}, \quad (30)$$

где  $L_k$  – длина нитки конвейеров на рассматриваемом участке, м;  
 $U_k$  – скорость движения несущей ленты конвейера, м/с;  
 $K_0$  – безразмерный коэффициент сопротивления движению ленты по роликам,  
 $K_0 = 0,05$ ;  
 $\eta_{эл}$  – КПД электродвигателей,  $\eta_{эл} = 0,89$ ;  
 $g_{гм}$  – масса горной массы, приходящаяся на 1 пог. м ленты конвейера, кг/м;  
 $g_l$  – масса 1 пог. м ленты конвейера, кг/м;  
 $g'_p, g''_p$  – масса вращающихся роликов на 1 пог. м, соответственно, грузовой и холостой ветвей конвейера, кг/м.

$$\Delta Q_{ac(2-3)} = \bar{G}_{(2-3)} \cdot c \cdot \gamma \cdot (H_2 - H_3), \text{ кДж/с}, \quad (31)$$

где  $H_2, H_3$  – высотные отметки соответственно сечений 2 и 3, м.

При  $t_2 < t_{п2}$  и  $\varphi_2 < \varphi_{кр}$  на участке 2-3 происходит испарение влаги из горного массива и влагосодержание воздуха в сечении 3 рассчитывается по формуле [11]:

$$d_3 = d_2 \cdot (1 + 0,042 \cdot L_{(2-3)}^{1,46}), \text{ г/кг сух. в.}, \quad (32)$$

а при  $t_2 > t_{п2}$  и  $\varphi_2 \geq \varphi_{кр}$  на участке 2-3 создаются условия для конденсации содержащихся в воздухе водяных паров и влагосодержание воздуха в сечении 3 рассчитывается по формуле:

$$d_3 = d_2 \cdot (1 - 0,145 \cdot L_{(2-3)}^{0,5}), \text{ г/кг сух. в.}, \quad (33)$$

где в (32) и (33)  $L_{(2-3)}$  – длина участка 2-3 в км.

Примечание: В калийных рудниках конденсация водяных паров в основном может происходить в околоствольном дворе и выработках главных направлений на участке протяженностью 2,5-3,0 км от воздухоподающего ствола [11].

$$\Delta Q_{ф(2-3)} = 0,001 \cdot \bar{G}_{\text{сух в}(2-3)} \cdot (d_2 - d_3) \cdot r, \text{ кДж/с}, \quad (34)$$

где  $\bar{G}_{\text{сух в}(2-3)}$  – средний массовый расход сухого воздуха на участке 2-3, кг сух. в./с;

$r$  – скрытая теплота фазового перехода, кДж/кг, рассчитывается по (12').

Рассчитанные изменения тепловой мощности воздушного потока в выработках главных направлений на участке 2-3 и основные параметры воздуха в сечении 3 для всего диапазона температур атмосферного воздуха записываются в таблицы 8 и 9 аналогичные таблицам 6 и 7.

Расчеты изменения тепловой мощности воздушного потока в панели на участке 3-4 и параметров воздуха в сечении 4 перед рабочими местами (очистными работами) выполняются так же, как и на участке 2-3 и сечении 3. При этом принимаются соответствующие панели  $\sum \Pi, \sum S, L_{(3-4)}, \bar{G}_{(3-4)}$  и др. Результаты расчетов сводятся в таблицы 10 и 11 аналогичные таблицам 8 и 9.

При необходимости выполнения расчетов изменения тепловой мощности воздушного потока и параметров исходящего воздуха в вентиляционных выработках и воздухоподающем стволе, т.е. согласно схеме вентиляции на участках 5-6, 6-7, 7-8 и сечениях 6, 7, 8 можно использовать данные результатов исследований, изложенные в [11].

### 7. Анализ результатов прогноза и выводы

По данным таблиц 7, 9 и 11 для всего диапазона изменения температур атмосферного воздуха (таблица 5) строятся графики  $t_1 = f_1(t_0)$ ,  $t_3 = f_2(t_0)$ ,  $t_4 = f_3(t_0)$ ,  $\varphi_1 = f_4(t_0)$ ,  $\varphi_3 = f_5(t_0)$  и  $\varphi_4 = f_6(t_0)$ , которые анализируются, определяется соответствие температуры и относительной влажности воздуха нормативным требованиям [5, 6, 7]. По таблице 1 находятся временные периоды нарушения нормативов.

Формулируются выводы и при необходимости намечаются мероприятия и средства по подготовке воздуха на поверхности и/или рабочем горизонте. Определяется мощность этих средств.

### Заключение

В последние годы наметилась тенденция к освоению калийных месторождений, имеющих более глубокое залегание полезного ископаемого, повышенный геотермический градиент пород, а также расположенных в районах с теплым и жарким климатом. Поэтому термовлажностный прогноз должен быть обязательным при проектировании таких горнодобывающих предприятий. Последующая эксплуатация рудников с соблюдением прогнозных рекомендаций позволит обеспечить условия для выполнения горных работ с более высокой производительностью, без травматизма и профессиональных заболеваний горнорабочих.

### Список использованных источников

1. **Гончаров, С.А.** Термодинамика: учебник / С.А. Гончаров. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2002. – 440 с.
2. **Шемаханов, М.М.** Основы термодинамики и кондиционирования рудничной атмосферы: учебное пособие / М.М. Шемаханов. – М.: Недра, 1974. – 208 с.
3. Воздух в шахте: трактат о проветривании угольных шахт / Ф.С. Клебанов [и др.]. – М.: Имидж-Сет, 1995. – 574 с.
4. Справочник по рудничной вентиляции / К.З. Ушаков [и др.]; под общ. ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1977. – 328 с.
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Санитарные правила и нормы. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Постановление Госкомсанэпиднадзора России от 01.10.1996 № 21.
6. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к микроклимату при проектировании и эксплуатации калийных рудников». Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 5, 2009.
7. Правила технической безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь. – Минск, Госпроматомнадзор РБ, 2006.
8. **Медведев, И.И.** Аэрология калийных рудников / И.И. Медведев, А.Е. Красноштейн. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 250 с.



9. **Белоусов, В.И.** Термодинамика стволов калийных рудников Старобинского месторождения / В.И. Белоусов, Р.Г. Шваб, А.Л. Батяновский // Горная механика. – 2007. – № 3. – С. 27-36.

10. **Щербань, А.Н.** Руководство по регулированию теплового режима шахт / А.Н. Щербань, О.А. Кремнев, В.Я. Журавленко. – 3 изд. – М.: Недра, 1977. – 359 с.

11. **Белоусов, В.И.** Термовлажностные процессы на 1-м горизонте Солигорского калийного рудника 1РУ / В.И. Белоусов, Р.Г. Шваб, А.Л. Батяновский // Горная механика. – 2008. – № 3. – С. 54-67.

---

**Belousov V.I., Shvab R.G., Batianovsky A.L.**

**Forecast on temperature and humidity of potash mines' atmosphere**

*An engineering method of a forecast development of potash mines' microclimate based on results of natural researches is given in the article. The method with sufficient accuracy for practice allows to define expected temperature and humidity parameters of atmosphere in designed mines, need of application of special measures and facilities for its normalization and capacity and location of these facilities.*

Поступила в редакцию 15.05.2012 г.

УДК 622.271:622.362

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ОБВОДНЕННОЙ ТОЛЩИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕСКА И ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ

Иванов В.В. (ФГБОУВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия)

*В статье рассмотрены основные особенности ведения открытых горных работ в условиях добычи строительных песков и песчано-гравийной смеси, а также выявлены типы горного оборудования, используемого при разработке обводненной толщи месторождений. Предложена наиболее рациональная технология разработки обводненной толщи, приведены основные элементы рабочей площадки и добычного забоя при выемке породы из воды.*

### Введение

По объему горных работ предприятия, связанные с добычей нерудного сырья для производства строительных материалов, составляют большую часть горнодобывающего комплекса. Увеличение объемов гражданского и дорожного строительства требует наращивания производственной мощности горнодобывающего производства.

Около 60 % песчано-гравийных карьеров имеют обводненные залежи полезного ископаемого. Выбор средств механизации и схем разработки этих карьеров определяется степенью обводненности, содержанием гравийно-валунных фракций и горно-геологическими условиями месторождений [1]. Снижение уровня воды требует рассмотрения целого ряда технических, экономических и экологических проблем. Ведение работ по откачиванию грунтовых вод из забоя ведет за собой повышение затрат на закупку основных фондов и энергетических ресурсов.

Выемку пород из подводного забоя производят различными горными машинами. Для добычи песков и песчано-гравийных пород традиционно используют земснаряды широкого диапазона производительности и разнообразных конструкций для различных глубин разработки [2]. Для разработки обводненной толщи чаще всего используются различные виды землесосных установок и грейферных земснарядов, установленных на плавучей платформе. Однако при высоком содержании в горной массе гравия и валунов их производительность значительно снижается, что увеличивает и без того высокий удельный расход электроэнергии.

В связи с необходимостью обезвоживания пород после их добычи земснарядами в карьере создаются специальные площадки для формирования карт намыва, а также необходимо выделение специального оборудования для обеспечения процесса погрузки обезвоженных пород в транспорт, что повышает экономические затраты на разработку, особенно при низких температурах эксплуатации.

### Особенности разработки месторождений строительных песков и песчано-гравийной смеси

Запасы месторождений строительных песков и песчано-гравийной смеси используются для приготовления строительных растворов и смесей, в дорожном строительстве для отсыпки насыпей автомобильных дорог, при планировочных работах и для обратных засыпок.

Для начала разработки месторождения и ввода карьера в эксплуатацию осуществляются горно-капитальные работы. К этим работам относится проходка въездных траншей в контуре или вне контура карьерного поля, а также проведение разрезных траншей длиной, необходимой для нормальной эксплуатации. Производят нарезку уступов и выполняют вскрышные работы в объеме, обеспечивающем подготовку к выемке запасов на срок менее 6-ти месяцев работы. Кроме того, должны быть проведены работы по осушению поверхности месторождения, проведению нагорных каналов, вырубке леса и корчеванию пней на площади горно-капитальных выработок.

Выбор рационального способа вскрытия месторождений производится в период проектирования горного предприятия и является сложной инженерной задачей в связи с изменчивостью природных факторов, разрозненностью и непрерывным перемещением выемочных забоев. Вскрытие месторождений строительных песков включает проведение наклонных открытых горных выработок с трапецидальным поперечным сечением с поверхности земли или от разрабатываемой части карьера.

Если направление перемещения горных пород (грузопотоков) из карьера разное, каждый уступ может вскрываться отдельной капитальной траншеей. Продольный уклон наклонных капитальных траншей, предназначенный для железнодорожного или автомобильного транспорта, в большинстве случаев не превышает соответственно 40 и 80 %. Транспортные коммуникации, размещающиеся в траншеях, определяют создание вскрывающих выработок значительной ширины, значение которой зависит от габаритов транспортных сосудов.

При установлении положения трассы траншей ее стремятся провести так, чтобы при минимальных объемах строительных работ обеспечить наилучшие условия в период эксплуатации. Различают тупиковую, спиральную и петлевую формы трасс.

Разработка месторождений строительных песков в основном ведется с использованием транспортных систем разработки комбинированными заходками, по циклической технологической схеме с размещением вскрышных пород в буртах, расположенных по периметру карьера, с отгрузкой пород полезной толщи в автотранспорт.

Вскрышные породы на рассматриваемых месторождениях представлены преимущественно почвенно-растительным слоем незначительной средней мощности и на отдельных локальных участках маломощными торфяно-болотными отложениями. На карьерах по добыче нерудного сырья для производства строительных материалов наблюдается тенденция к увеличению высоты уступов. Увеличение глубины разработки месторождений позволяет снизить затраты на ведение вскрышных работ и рекультивацию, увеличить срок эксплуатации карьера, отложить выделение инвестиций на строительство нового горного предприятия, а также несколько сократить расстояние доставки полезных ископаемых.

В связи с увеличением глубины ведения горных работ в разработку вовлекаются большие запасы обводненного полезного ископаемого, что создает определенные требования к принимаемым технологическим решениям. Качество технической воды, сбрасываемой в близлежащие к карьере водоемы, должно соответствовать нормативным требованиям, что также вызывает рост затрат на очистку откачиваемой воды.

На конец отработки выработанное пространство карьеров представляет собой выемку, частично заполненную водой, что позволяет размещать на территории законсервированных предприятий зоны отдыха, сооружения для водоснабжения сельскохозяйственных угодий и другое.

Наличие в полезной толще водоносного горизонта, который делит ее на сухую и обводненную части, а также технические параметры выемочно-погрузочного оборудования обуславливают порядок разделения полезной толщи на добычные горизонты.

Подошву нижнего уступа по сухой толще месторождения устанавливают на 0,5 м выше уровня грунтовых вод с целью создания предохранительной подушки над водоносным горизонтом.

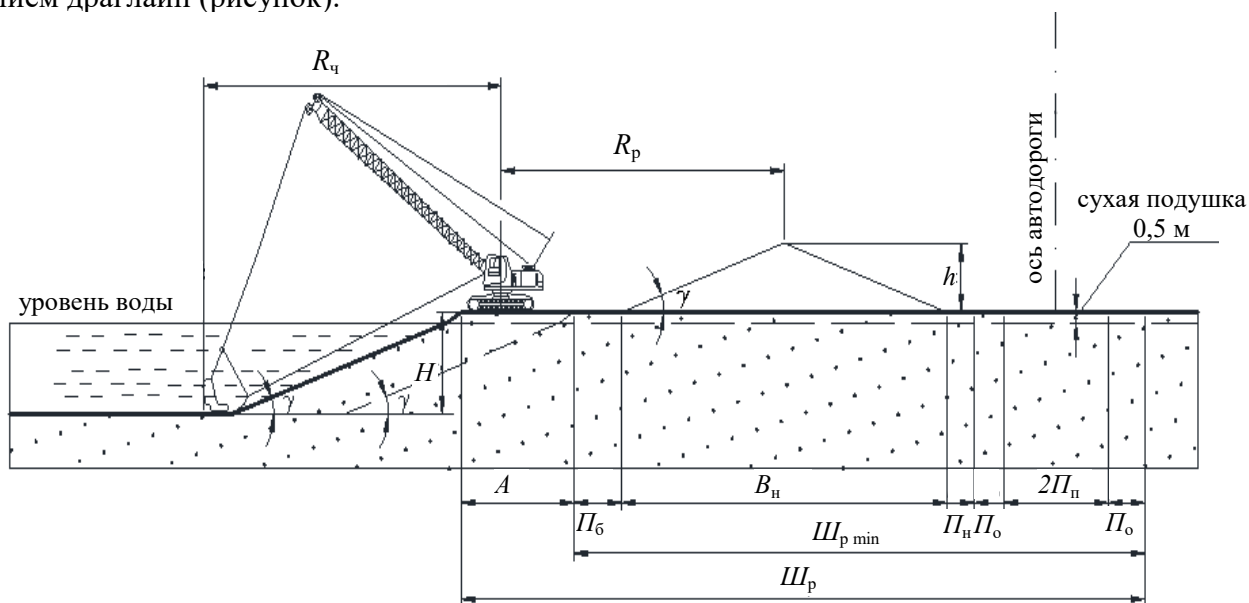
### Обоснование технологии ведения горных работ в условиях разработки обводненной толщи месторождений строительных материалов

Помимо земснарядов на месторождениях строительных песков и песчано-гравийной смеси используются одноковшовые экскаваторы, а в связи с тем, что данные месторождения могут включать в себя большое содержание валунного материала, то наиболее эффективным является применение экскаваторов с оборудованием обратного действия.

Гидравлические экскаваторы и экскаваторы типа «механическая лопата» имеют незначительные радиусы черпания, поэтому обеспечение безопасного угла откоса обводненного уступа (в соответствии с требованиями нормативной документации угол откоса рабочего уступа при разработке обводненных песков принимается не более  $18^\circ$ ) сокращает возможную глубину разработки.

Удаленность месторождений от магистральных линий электропередач и незначительные производственные мощности предприятий определяют использование дизельного добычного оборудования.

Таким образом, учитывая вышесказанное, для разработки обводненной толщи обособленных месторождений песков и песчано-гравийной смеси наиболее рациональным является использование дизельных экскаваторов на гусеничном ходу с оборудованием драглайн (рисунок).



$A$  – ширина заходки экскаватора;  $П_б, П_н$  – расстояние между заходкой экскаватора и нижней бровкой насыпи, нижней бровкой насыпи и дорогой соответственно;  $B_н$  – ширина насыпи понизу;  $П_о, П_п$  – ширина обочины и проезжей части автодороги соответственно;  $Ш_р$  – ширина рабочей площадки;  $Ш_{р\ min}$  – минимальная ширина рабочей площадки;  $h$  – высота насыпи;  $H$  – глубина черпания;  $\gamma$  – угол откоса уступа;  $R_ч, R_р$  – радиусы черпания и разгрузки экскаватора соответственно

Рисунок – Элементы рабочей площадки и экскаваторного забоя гусеничного драглайна при выемке породы из воды

Основным параметром предлагаемой системы разработки является глубина черпания горной массы из подводного забоя, значение которой зависит от линейных характеристик применяемого выемочно-погрузочного оборудования.

Так как пески и песчано-гравийная смесь являются относительно рыхлыми породами, для проведения выемочно-погрузочных работ по обводненной толще этих месторождений необходимо использовать экскаваторы с увеличенной шириной трака гусеницы, за счет чего снижается поверхностное давление выемочно-погрузочного оборудования на почву и не происходит его увязание в мягких грунтах.

Отгрузка песков из навалов после их обезвоживания производится специальным оборудованием, а также может быть осуществлена драглайном, что позволит значительно сократить затраты на приобретение основных производственных фондов.

### Заключение

Проведенный анализ особенностей разработки месторождений строительных песков и песчано-гравийной смеси позволяет сделать следующие выводы:

- большинство месторождений нерудного сырья относятся к обводненным, поэтому некоторые из них разрабатываются с осушением, то есть с откачиванием карьерных вод. Данные способы разработки приводят к негативным экологическим и социально-экономическим последствиям для окружающих месторождения территорий;

- для разработки обводненной толщи без водопонижения используются различные виды горных машин как на плавучей платформе (землесосы, грейферные земснаряды и другие установки), так и сухопутные (экскаваторы типа «механическая лопата», драглайны и другое выемочно-погрузочное оборудование);

- для условий обособленных месторождений строительного песка и песчано-гравийной смеси наиболее рациональным является использование дизельных гусеничных экскаваторов с оборудованием драглайн, но их применение требует подробного рассмотрения параметров добычного забоя с целью обеспечения эффективности и безопасности ведения добычных работ.

### Список использованных источников

1. **Гилев, А.В.** Механизированный комплекс для добычи строительных материалов на обводненных месторождениях / А.В. Гилев // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 6. – С. 18-20.

2. **Буткевич, Г.Р.** Проблемы разработки обводненных месторождений нерудного сырья / Г.Р. Буткевич // Горный журнал. – 2004. – № 5. – С. 27-31.

---

**Ivanov V.V.**

### **Characteristics of development of watercut mass in deposits of sand and sand and gravel mix**

*The article describes the main features of surface mining in conditions of production of mortar sand and sand and gravel mix and identified types of mining equipment used by development of deposits' watercut mass. The most efficient technology of watercut mass development is proposed, the main elements of a site and a gravel face by rock excavation out of water are given.*

Поступила в редакцию 27.04.2012 г.

УДК 622.693.2.004.4

## **ФОРМИРОВАНИЕ В ГОРНОМ МАССИВЕ ИНЪЕКЦИОННЫХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ УПРУГИХ ВОЛН**

Войтенко В.С. (ООО «Белорусское горное общество», г. Минск, Беларусь),  
Оника С.Г., Халявкин Ф.Г. (Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь), Новиков С.С. (ПКФ «Недра – С», Россия)

*В статье рассматриваются технология производства работ и оборудование для увеличения проницаемости горных пород воздействием упругих волн, создаваемых оборудованием. Приведен анализ существующих видов тампонирующего и тампонирующих смесей.*

### **Введение**

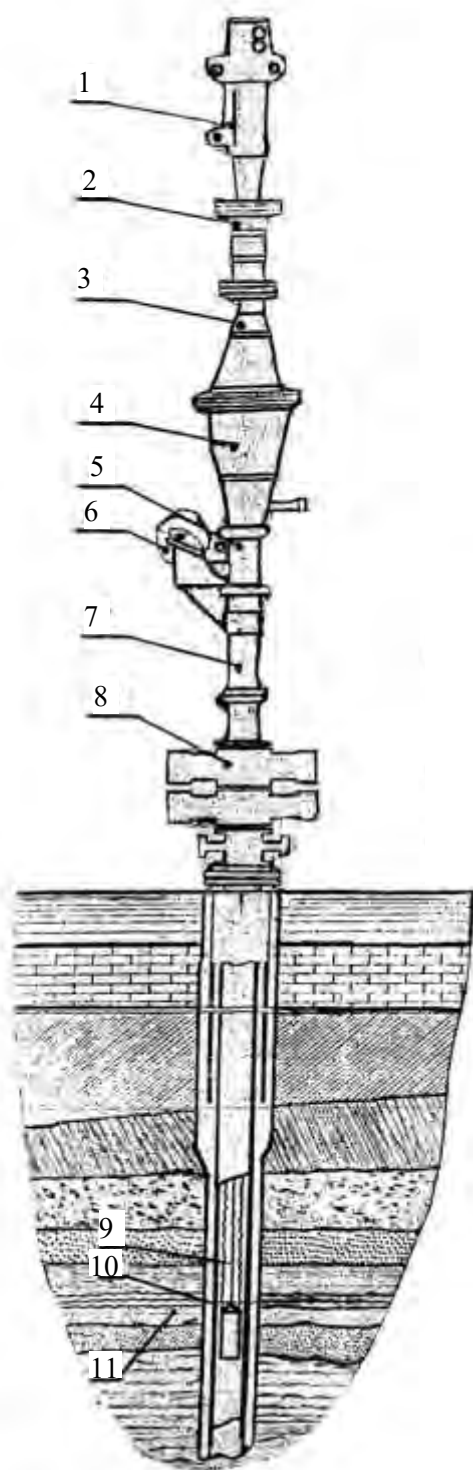
В рассматриваемом инъекционном способе создания противofильтрационных завес для защиты шахтных стволов и карьеров от притока подземных вод применяется разработанная под руководством профессора А.И. Божала технология волнового нагнетания жидких и вязких сред в пористые структуры. Эта технология позволяет обеспечить продвижение различных эмульсионных, коллоидных и суспензионных материалов в пористые и трещиноватые горные породы на значительно большие расстояния от места нагнетания и тем самым создать более надежную защиту в результате затвердевания кольматантов. Образование этой защиты осуществляется через скважины, пробуренные до глубины, на которой создается завеса. Диаметр скважины выбирается с учетом конкретных условий проведения работ. Эти скважины должны иметь одинаковую проходимость по всему сечению и быть обсаженными до зоны образования завесы.

Созданию противofильтрационной завесы на проектной глубине предшествуют замеры интенсивности зон поглощения на проектных отметках и в целом по скважине. Аналогичные замеры проводят и в ближайших скважинах. Повторяются эти замеры после образования проектной фofильтрационной завесы, а при необходимости и в процессе ее формирования.

### **Результаты исследований**

Для обеспечения жидкостной проницаемости грунтов и скальных структур направленными ударными («силовыми») волнами путем вскрытия существующих и образования в горном массиве новых пор и трещин разработано специальное оборудование (рисунок). Волновую обработку участка горного массива, в котором запроектирована противofильтрационная завеса проводят до начала работ по созданию этой завесы. При этом общую проницаемость скважины доводят до максимального расхода жидкой фазы, который способна пропустить волновая установка при расчетном давлении нагнетания.

В волновую установку кольматант (тампонирующая смесь) подается под нарастающим статическим давлением от 0,1 МПа в начале до расчетного в конце закачки. Величина давления в конце закачки зависит от вязкости кольматанта по мере потери приемистости горного массива в зоне создания противofильтрационной завесы.



- 1 – пульсатор (ударный механизм); 2 – излучатель силовых волн;  
 3, 4 – генератор силовых волн; 5 – катушка с патрубками;  
 6 – приспособления для спуска отражателя; 7 – катушка переходная;  
 8 – противовыбросовое оборудование;  
 9 – каротажный кабель (трос для спуска отражателя силовых волн);  
 10 – отражатель силовых волн; 11 – объект обработки

**Рисунок – Специальное оборудование для обеспечения жидкостной проницаемости грунтов и скальных структур направленными ударными («силовыми») волнами**

При больших объемах поглощения кольматанта допускается на первом этапе закачка более вязких растворов и растворов с более крупным гранулометрическим составом наполнителя, который сменяется на второй и последующих стадиях менее вязким раствором и с менее крупным гранулометрическим составом наполнителя. При необходимости увеличения протяженности противофильтрационной завесы увеличивают интенсивность и время волнового воздействия, снижают вязкость кольматанта.

Для увеличения размера противофильтрационной завесы по толщине закачку кольматанта осуществляют на разных уровнях с помощью специального устройства и технологии.

При создании площадных завес с помощью сетки скважин, волновую закачку кольматанта в каждой отдельной скважине осуществляют до тех пор, пока он не появится в близлежащих скважинах, окружающих закачную. Для улучшения контроля кольматант в этом случае окрашивают.

При закачке кольматанта не допускается остановка процесса до полной потери приемистости пласта. Для этого заранее готовят необходимое количество кольматанта и обеспечивают надежность работы оборудования. Срок действия противофильтрационной завесы зависит от вида кольматанта и гидродинамики подземных вод. Поэтому при выборе кольматанта учитывают эти факторы.

В зависимости от того какой материал нагнетают в массив горных пород, различают следующие виды тампонирующей инъеционных завес: цементация, глинизация, битумизация, силикатизация, смолизация (таблица) [1, 2].



Таблица – Классификация наиболее распространенных способов глубинного закрепления горных пород

№ п/п	Тампонирующая смесь (кольматант)	Способ закрепления	Порода
1	Раствор $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ 10-20 %-ной концентрации, модуль 2,7-3,0	Силикатизация однорастворная	Лессы, $K_\phi = 0,1-0,5$ м/сут; Скальные породы: $Q = 0,0006-0,00006$ м <sup>3</sup> /ч
2	Раствор $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ 10-20 %-ной концентрации, модуль 1,0-3,0 с добавлением $\text{H}_3\text{PO}_3$ , $\text{NaNO}_2$ , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{H}_2\text{Si}_6$	Силикатизация однорастворная	Мелкие пески и супеси, $K_\phi = 1-5$ м/сут Средние пески и супеси, $K_\phi = 0,75-2,0$ м/сут
3	Раствор $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ + глинистый раствор	Силикатно-глинистый	Разнозернистые пески, $K_\phi = 10-30$ м/сут
4	Раствор $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ соленостью 16-17 мг·экв/л, модуль 2,7-3,0, 30 %-ный раствор $\text{CaCl}_2$	Силикатизация Двухрастворная	Пески, $K_\phi = 2-80$ м/сут
5	Цементные растворы	Цементация	Крупные пески и гравий, $K_\phi = 100-500$ м/сут Скальные породы, $Q = 0,6-0,06$ м <sup>3</sup> /ч
6	Глинистые растворы	Глинизация	Щебень и крупные пески, $K_\phi = 80-500$ м/сут Скальные породы $Q > 0,6$ м <sup>3</sup> /ч
7	Цементные и глинистые растворы	Цементно-глинистый	Песчано-гравийные породы, $K_\phi = 80-500$ м/сут
8	Расплавленные битумы	Битумизация (горячая)	Крупные пески и гравий, $K_\phi = 100-500$ м/сут
9	Битумные эмульсии, коагуляторы: раствор $\text{CaCl}_2$ , раствор $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ и др.	Битумизация (холодная)	Скальные породы, $Q = 0,6-0,06$ м <sup>3</sup> /ч Крупные пески и гравий, $K_\phi = 100-500$ м/сут
10	Смолы. Крепители (HCl, щавелевая кислота и др.)	Смолизация	Скальные породы, $Q = 0,6-0,06$ м <sup>3</sup> /ч Пески и супеси, $K_\phi = 0,5-20$ м/сут

Примечание:  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации, м/сут;  $Q$  – удельное водопоглощение, м<sup>3</sup>/ч на 1 м длины скважины при давлении 0,0098 МПа.

Для каждого метода глубинного закрепления отдельных разновидностей пород установлены границы его применимости.

Цементацию применяют для снижения притоков воды при строительстве подземных сооружений путем возведения противодиффузионных завес:

- 1) в крепких трещиноватых горных породах с размером трещин не менее 0,1 мм и скоростью фильтрации подземных вод не выше 600 м/сут;
- 2) в гравийно-галечных породах с размером зерен более 2 мм при условии, что породы между зернами свободны от глинистых или песчаных частиц;
- 3) в крупнозернистых песках диаметр зерен которых более 0,8 мм.

По зарубежным данным цементация может быть применена для песков крупностью зерен более 1 мм и коэффициентом фильтрации не менее 0,1 см/с (86,4 м/сут). В скальных и полускальных породах удовлетворительное проникновение цементного раствора в породу происходит при ширине трещины не менее 0,1 мм, что подтверждает и отечественный опыт. В ряде случаев сооружение цементационных завес осуществляется при одновременном водопонижении, то есть при больших скоростях движения подземных вод. В связи с этим важное значение имеют сроки схватывания цементных растворов.

Глинизация при создании противодиффузионных завес инъекционным методом применяется тогда, когда прочность тампонажного материала не играет решающей роли. Наиболее целесообразно применять ее при агрессивных водах, при наличии карстовых полостей, в сдренированных трещиноватых и кавернозных породах с размером трещин более 1 мм, а также в песках с коэффициентом фильтрации более 30 м/сут. Концентрация раствора задается в зависимости от водопроницаемости горных пород. Поскольку обычные глины слабо проникают в трещины, то для тампонирувания чаще всего используют бентонитовые глины с 15 %-ной концентрацией раствора. Эти глины медленно впитывают воду, продолжительно набухают и не разжижаются водой.

К недостаткам глинизации относят большой расход тампонажных материалов, малую сопротивляемость глинистого камня внешнему давлению, ненадежность тампонирувания тонкотрещиноватых горных пород. В связи с этим глинизацию целесообразно применять только в породах с весьма крупной трещиноватостью или в карстовых породах.

При битумизации в трещиноватые породы через скважины нагнетают расплавленный битум при температуре 140-190 °С. Попадая в заполненные водой трещины или пустоты горных пород, горячий битум отвердевает и, таким образом, делает массив пород водонепроницаемым. Битумизация может применяться при значительных скоростях движения подземных вод при наличии в массиве крупных трещин размером более 0,6 мм.

Однако этот способ имеет ряд недостатков, из-за которых он не нашел широкого применения в практике:

- 1) перед нагнетанием битума необходима тепловая обработка массива горных пород;
- 2) производственные неудобства, связанные с использованием горячего битума и подогрева его в процессе нагнетания;
- 3) высокая пластичность битума в твердом состоянии и способность подвижки тампонажной смеси в трещинах породы при напоре воды более 0,3 МПа.

Силикатизация осуществляется путем инъекции в горную породу жидкого стекла, выделяющего кремнекислые, быстротвердеющие гели, которые устойчивы к агрессивным водам. Этот способ применяется для снижения водопроницаемости как трещиноватых прочных пород, так и песчаных пород с крупностью зерен 1-1,2 мм.

В качестве коагулянта используют хлористый кальций, алюминат натрия, углекислый газ и другие добавки.

Существуют два способа силикатизации пород:

1) двухрастворный – путем поочередного нагнетания жидкого стекла и раствора хлористого кальция в пески с коэффициентом фильтрации 2-80 м/сут;

2) однорастворный – путем нагнетания жидкого стекла плотностью 1,13 г/см<sup>3</sup> в породы с коэффициентом фильтрации 0,5-5 м/сут.

Силикатизация также применяется в сочетании с цементацией и битумизацией.

Для создания противofильтрационных завес в песчано-гравелистых грунтах с коэффициентом фильтрации менее 50 м/сут применяются силикатно-глинистые растворы. Эти растворы образуют в порах пород эластичные, водостойкие гели в любой водной среде. Однако они имеют невысокие показатели механической прочности и относительно малые радиусы распространения.

Смолизация производится путем нагнетания в горные породы синтетических смол и других высокомолекулярных соединений с добавками отвердителей. Незначительная вязкость растворов смол в воде и широкие возможности увеличения ее с помощью отвердителей позволяют достигать больших радиусов распространения и регулировать сроки твердения смол в скальных и песчано-суглинистых породах с коэффициентом фильтрации 0,3-20 м/сут. Например, в мелкозернистые пески с коэффициентом фильтрации 10 м/сут растворы смол МФ и КМ проникают на расстояние до 4 м от инъектора. При этом коэффициент фильтрации снижается до 0,001-0,004 м/сут.

В целом, из всех разработанных к настоящему времени видов инъекционных завес наибольшее применение для защиты карьеров нашли цементация и глинизация как наиболее дешевые и не требующие дефицитных материалов.

Цементацию рекомендуется применять в крепких трещиноватых породах (в зонах дробления) с размером трещин более 0,1 мм, скоростью фильтрации от 10 до 600 м/сут и удельным водопоглощением  $Q = 0,6-0,06$  м<sup>3</sup>/ч.

Глинизацию целесообразно применять в трещиноватых породах с размером трещин более 1 мм и в скальных породах с удельным водопоглощением  $Q > 0,6$  м<sup>3</sup>/ч.

Для создания противofильтрационных завес волновым способом можно использовать особое тонкодисперсное вещество (ОТДВ), которое поступает на предприятия под названием «Микродур». Это вещество предназначено для усиления ленточных и столбчатых фундаментов на основаниях, сложенных из песчаных грунтов, создания искусственных флюидоупоров в котлованах, а также при строительстве тоннелей и микрополитенов. В последние 10 лет «Микродур» широко используется в глубоких нефтяных и газовых скважинах для проведения гидроизоляционных работ и создания флюидоупорных экранов при капитальном ремонте и ликвидации скважин.

«Микродур» – дорогостоящий материал, тем не менее, его технологическая эффективность достигает 20-100 % по сравнению с существующими технологиями реконструкции стен, фундаментов, ремонта бетонных и каменных конструкций и улучшения свойств грунтов. В целях снижения затрат приготовление суспензий «Микродур» осуществляется в высокоскоростных смесителях-диспергаторах с внесением тонкодисперсных минеральных добавок и суперпластификаторов. Применение последних в сочетании с высокоскоростными смесителями позволяет повысить текучесть концентрированных суспензий и резко снизить седиментацию смесей составов В:М (Вода : «Микродур», по весу) до 6:1. Таким образом, при проектировании суспензии «Микродур» с В:М от 1:1 до 6:1, в отличие от цементных суспензий того же состава, следует рассматривать как стабильные структурированные вязко-пластичные жидкости.

Благодаря малому размеру частиц и рациональному гранулометрическому составу «Микродур» имеет широкую область применения (от весьма трещиноватых и крупнообломочных с коэффициентами фильтрации  $1 \times 10^{-6}$  м/сут), обладает высокой проникающей способностью в трещины и поры размером до 18 мкм и менее, имеет высокую прочность тампонажного камня и сроки схватывания (3-4 часа), быстрый набор прочности (70 % марочной за 48 час) и существенное снижение коэффициента фильтрации (с  $1 \times 10^{-4}$  до  $1 \times 10^{-7}$  м/с).

По сравнению с бездисперсными материалами для двухрастворной и однорастворной силикатизации и полимерными композициями на основе эпоксидной, карбомидной, финолформальдегидной смол и др. суспензии «Микродур» характеризуются несомненными преимуществами: качество инъекции, долговечность, простая и удобная технология приготовления и инъектирования, экологическая чистота, однородность с цементами по составу, высокая адгезия.

Инъекционное закрепление грунта в виде вертикальных стен (противофильтрационных завес) в песчаных прослоях грунта позволяет уменьшить фильтрацию воды через грунт в сотни раз. Эффективность состоит в том, что инъекционный метод уплотняет только фильтрующие грунты и не расходует инъекционную суспензию на суглинистые прослои грунта, которые являются водоупорами.

### Выводы

В статье рассмотрена технология производства работ и специальное оборудование для увеличения жидкостной проницаемости горных пород направленными ударными волнами при создании противофильтрационных завес инъекционным способом. Приведен краткий анализ существующих видов тампонирующего материала в том числе и применения такого перспективного тонкодисперсного вещества как «Микродур».

### Список использованных источников

1. Защита карьеров от воды / Абрамов С.К. [и др.]. – М.: Недра, 1970. – 215 с.
2. Лев, М.А. Устройство противофильтрационных завес и ограждений в водонесных породах / М.А. Лев // Шахтное строительство. – 1960. – № 3. – 95 с.

---

**Voitenko V.S., Onika S.G., Khalyavkin F.G., Novikov S.S.**

### **Formation of injection sealing curtains in rock mass using elastic energy**

*The article discusses manufacturing technology and equipment for increasing of porosity of rock mass using elastic energy produced by equipment. The analysis of existing kinds of plugging and plugging mixtures is given.*

Поступила в редакцию 05.04.2012 г.

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

УДК 622.232.73.054.36:622.641.033(045)(476)

**МАШИНА ДЛЯ ДОБЫЧИ КУСКОВОГО ТОРФА**

Чистый В.И. (Инспекция охраны природных ресурсов и окружающей среды),  
Стасевич В.И. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Бела-  
русь), Чистый И.Н. (Иностранное предприятие «Малер-Инвест»)

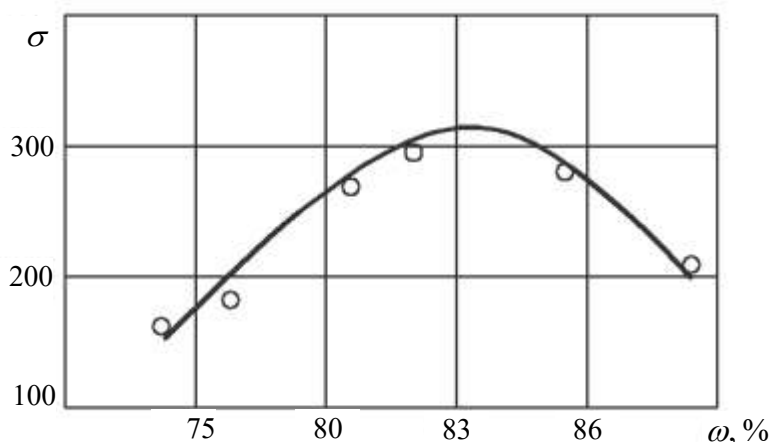
*В статье рассмотрены результаты испытаний опытного образца машины МТК-1,3 для добычи кускового торфа фрезформовочным способом. Приведена техническая характеристика и основные технологические показатели работы машины МТК-1,3 с тракторами ДТ-75 и МТЗ 1523. Описаны особенности конструкции машины, назначение и работа всех узлов и агрегатов. Проведены сравнительный анализ работы МТК-1,3 с аналогичными машинами МТК-12, НТК, АНБ.*

**Введение**

Вновь создаваемые машины любого технологического процесса по сравнению с существующими должны быть более надежными в работе, обеспечивать технологический процесс при меньшей энергоемкости, хорошем качестве продукции и снижении трудозатрат.

Для добычи кускового торфа ранее использовали мощный добывающий комплекс ТЭМП-ЭСМ. Это были высокопроизводительные машины, обеспечивавшие хорошее качество кускового торфа за счет оптимальной влажности при формовании и перемешивании сырья, извлекаемого из карьера.

Считалось, что качество (прочность) кускового торфа обеспечивается прежде всего механической переработкой. Но это не совсем так. Ныне работающие добывающие машины типа МТК-12 обеспечивают более высокую степень механической переработки торфа, но прочность кусков не повышается, а в некоторых случаях и снижается по сравнению с комплексом ТЭМП-ЭСМ. Практические результаты и научно-исследовательские работы свидетельствуют, что основное влияние на прочность куска при переработке и формовании оказывает исходная влажность (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Влияние исходной влажности на прочность торфяных кусков**

При влажности 84-86 % перерабатываемая масса приходит в состояние близкое к двухфазному.

### Анализ работы современных машин

В ходе сушки кусков, сформованных при оптимальной влажности, под воздействием капиллярного давления усадочные процессы проходят более равномерно по всему объему куска.

При эксплуатации ТЭМП-ЭСМ залежь разрабатывалась на значительную глубину (до 4,25 м), где встречаются различные по ботаническому составу и степени разложения слои торфа. Усреднение качественных характеристик торфа при добыче за счет его перемешивания так же способствовало улучшению усадочных процессов в ходе сушки.

Несмотря на хорошее качество продукции и высокую надежность в работе, комплекс ТЭМП-ЭСМ в настоящее время для добычи торфа не применяется из-за высокой энергоемкости – 16,2 кВт·ч/т и больших трудозатрат – 0,28 чел·час/т. Не в пользу этого комплекса свидетельствует его высокая металлоемкость – около 3,0 т/т и необходимость электрификации полей добычи.

Первоначально казалось, что с переходом на фрезформовочный способ добычи многие показатели можно улучшить и получить качественный и дешевый кусковой торф. Однако опыт эксплуатации машин типа МТК-12 свидетельствует, что наряду со многими положительными факторами фрезформовочному способу присущи и существенные недостатки. Прежде всего, современные добывающие машины не всегда обеспечивают нужное качество продукции и надежность в работе. У всех известных машин высокая энергоемкость процесса добычи и недостаточно высокая производительность.

В процессе разработки залежи щелевым способом фрезой из щели извлекается торф влажностью 80-83 %, а иногда и ниже. При щелевом фрезеровании верхнего слоя залежи получить оптимальную для формирования влажность практически невозможно. Торфяная масса становится трехфазной. Поры частично заполнены воздухом, что препятствует усадочным процессам и отрицательно сказывается на прочности кусков. Уплотнить торфомассу до состояния близкого к двухфазному можно, применив предварительное увлажнение, вибрацию, подогрев перерабатываемой и формируемой массы.

У всех добывающих машин типа МТК, НТК, АНБ при выходе из мундштука сформованный торфяной ручей «зависает» в воздухе и, достигнув некоторой критической длины, обламывается и падает на поверхность залежи в виде куска. Ручей обламывается по самой глубокой трещине, но в нем имеются трещины и до момента обламывания. Таким образом, в куске появляются трещины уже при формировании, и в ходе сушки они увеличиваются вплоть до разрушения куска. Выпадение осадков ускоряет развитие трещин. Кроме того, сформованная структура частично нарушается при падении куска на залежь. Уменьшить трещинообразование при формировании и выстилке кусков можно применением откладчиков и выстилающих лотков.

При формировании торфа пониженной влажности (80 % и менее) возрастает сопротивление продвижению торфа в мундштуках. Касательные напряжения в торфе у стенок мундштука часто превышают предельное напряжение сдвига, и скорость движения торфа в середине потока (формируемого ручья) становится выше, чем в пристенном слое. Это проявляется в отделении верхнего слоя торфа в ручье от основной массы, т.е. поверхность начинает «ершиться». Трещины от «ершения» так же способствуют разрушению куска при сушке. Уменьшить «ершение» и даже исключить его можно применением мундштуков с полиэтиленовыми вкладышами.

На всех известных машинах, как правило, установлены одновинтовые прессформователи с неразъемными мундштуками. Только у машин АНБ предусмотрена периодическая механическая очистка мундштуков. Даже частичное засорение остатками

древесины снижает противодавление в прессе. В связи с этим часть энергии расходуется на трение торфа о кожух, возрастает энергоемкость процесса. На привод машины с одновинтовым прессом производительностью 2,5-3 т/ч потребляется вся мощность трактора ДТ-75 (55 кВт). Энергоемкость процесса составляет около 19 кВт·ч/т.

### Опытный образец машины МТК- 1,3

На торфяном предприятии «Туршовка» Минской области испытывался опытный образец добывающей машины, при проектировании и изготовлении которой мы попытались учесть недостатки существующих машин фрезформовочного способа добычи и по возможности устранить их.

#### *Техническая характеристика опытного образца*

**Тип машины** – полунавесная на трактор ДТ-75 (МТЗ-1523)

#### **Фрезы дисковые:**

- количество, шт.	4
- диаметр по концам ножей, мм	1000
- диаметр съемного ножа, мм	78
- число ножей в плоскости резания, шт.	18
- частота вращения, с <sup>-1</sup>	3,0

#### **Пресс винтовой сдвоенный:**

- диаметр винта, мм	150
- шаг винта, мм	100
- длина, мм	1395
- частота вращения, с <sup>-1</sup>	3,8
- количество винтов, шт.	8
- количество мундштуков разъемных, шт.	14

#### **Катки ходовые:**

- диаметр, мм	400
- длина, мм	1500
- количество, шт.	2
- удельное давление на грунт, кПа	40

**Ширина стилки за один проход, м** 1,3

**Рабочая скорость машины, м/ч** до 1200

**Производительность, м<sup>3</sup>/ч** 40-45 (60-65) м<sup>3</sup>/ч при w<sub>y</sub>=33 % 8-9 (12-13)

#### **Габаритные размеры, мм:**

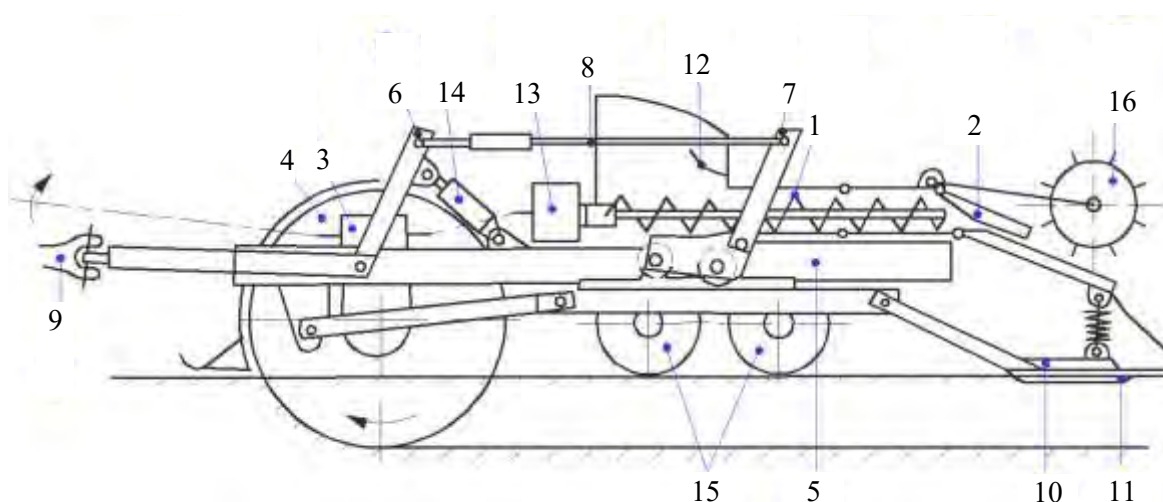
- длина	4325
- ширина	1670
- высота	1300

**Масса машины, кг** 3500

Общий вид машины представлен на рисунке 2 и рисунке 3. Условно она названа машиной МТК-1,3 (машина для добычи кускового торфа с шириной выстилki сформованных кусков 1,3 м).

Основные узлы машины – фрезы, пресс с мундштуками и редукторы смонтированы на раме неподвижно относительно друг друга. В рабочее и транспортное положения они устанавливаются с помощью гидроцилиндров, вместе с рамой машины опираясь через систему рычагов на раму ходового устройства и серьгу трактора. Нагрузка на серьгу трактора составляет около 20 % общей массы машины. В рабочем положении до 5 % массы машины воспринимает лыжа.





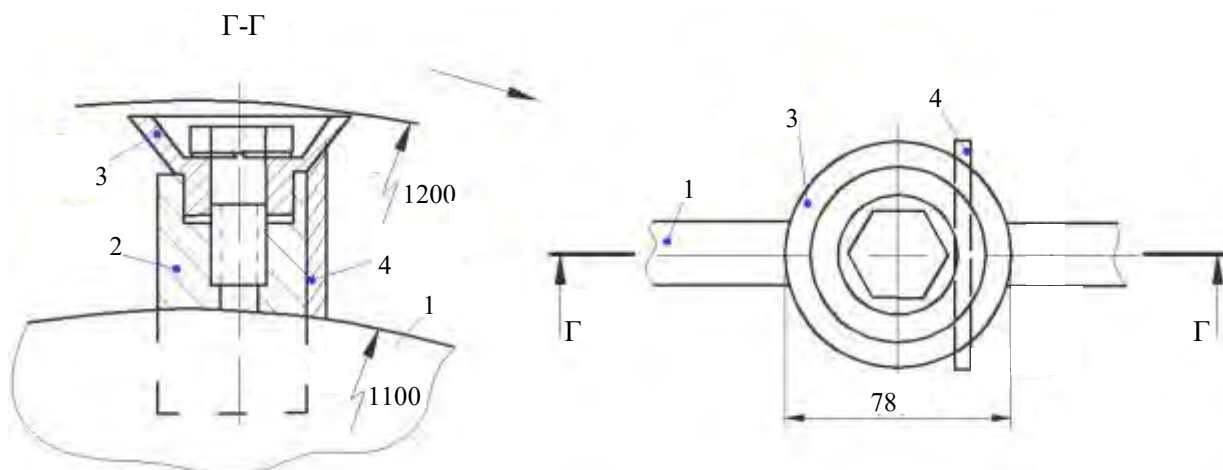
- 1 – винты пресса; 2 – мундштуки разъемные; 3 – редуктор привода фрез; 4 – фрезы;  
 5 – рама машины; 6, 7, 8 – система рычагов подъема и опускания;  
 9 – прицельная серьга трактора; 10 – лыжа; 11 – ребра лыжи; 12 – ловушка;  
 13 – редуктор привода винтов; 14 – гидравлические цилиндры;  
 15 – катки ходового устройства; 16 – делитель

**Рисунок 2 – Добывающая машина МТК-1,3**



**Рисунок 3 – Общий вид машины МТК-1,3**

Залежь торфа разрабатывается четырьмя дисковыми фрезами и подается в бункер сдвоенного пресса. Каждый пресс включает в себя по 4 винта. Винты пресса перерабатывают торф вместе со стружкой древесины и формируют через разъемные мундштуки, установленные по горизонтальной линии в конце винтов прессов по всей ширине машины. Выходящий из мундштуков сформованный торф через откладчики выстилается сзади машины равномерно по всей ширине. За один проход машина выстилает торф на полосу шириной 1,3 м. На рисунках 4-9 приводится описание основных узлов машины, принцип их работы и взаимосвязь.

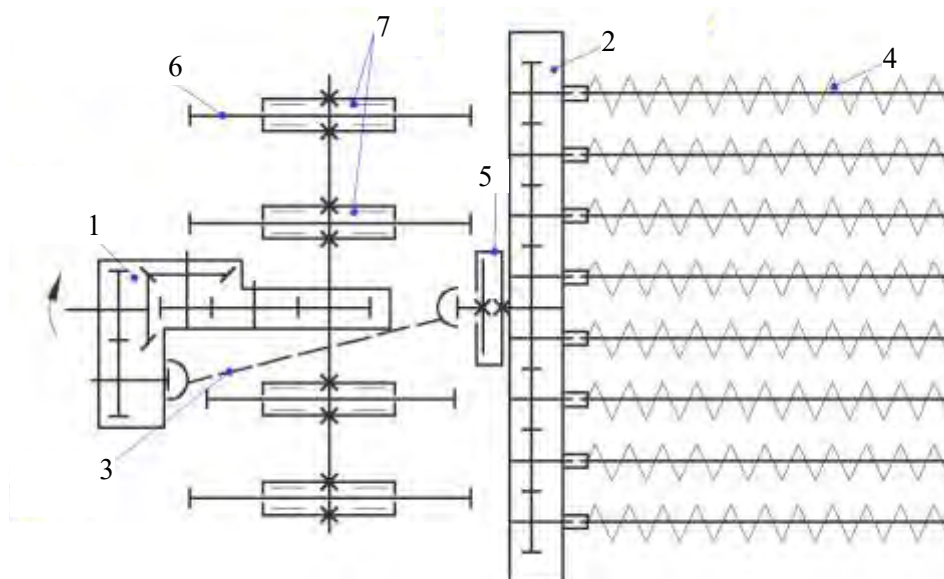


1 – диск фрезы; 2 – бобышки; 3 – нож; 4 – лопасть

**Рисунок 4 – Режущий и экскавирующий элементы дисковой фрезы**

Машина оснащена четырьмя дисковыми фрезами. Режущими элементами являются чашечные ножи машины МТП-42. Перед ножами установлены лопасти. Они обеспечивают экскавацию сфрезерованного торфа и стружки древесины из щели, сообщая им кинетической энергии для подачи в бункер пресса на расстояние до 1 м. На каждой фрезе закреплены дисковые фрикционные накладки. Фрезы с накладками зажимаются ступицами фрез, посаженными на шпонках вала фрез. Сила прижатия ступиц к фрикционным накладкам и возможность пробуксовки фрез регулируется.

Трансмиссия машины (рисунок 5) состоит из коническо-цилиндрического редуктора 1, привода фрез 6, фрез с фрикционными муфтами 7, цилиндрического редуктора 2 привода валов пресса, соединенных карданным валом 3. Привод всей машины осуществляется от вала отбора мощности трактора через телескопический карданный вал. Цилиндрический редуктор и винты 4 пресса от поломок защищает дисковая фрикционная муфта 5, установленная на вал-шестерне цилиндрического редуктора.

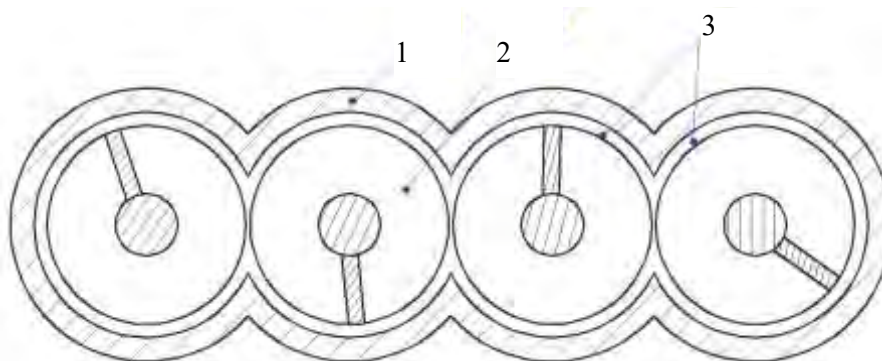


1 – коническо-цилиндрический редуктор фрез; 2 – цилиндрический редуктор;  
3 – карданный вал; 4 – винты пресса; 5 – фрикционная муфта привода прессов; 6 – фрезы;  
7 – фрикционные муфты фрез

**Рисунок 5 – Кинематическая схема МТК-1,3**

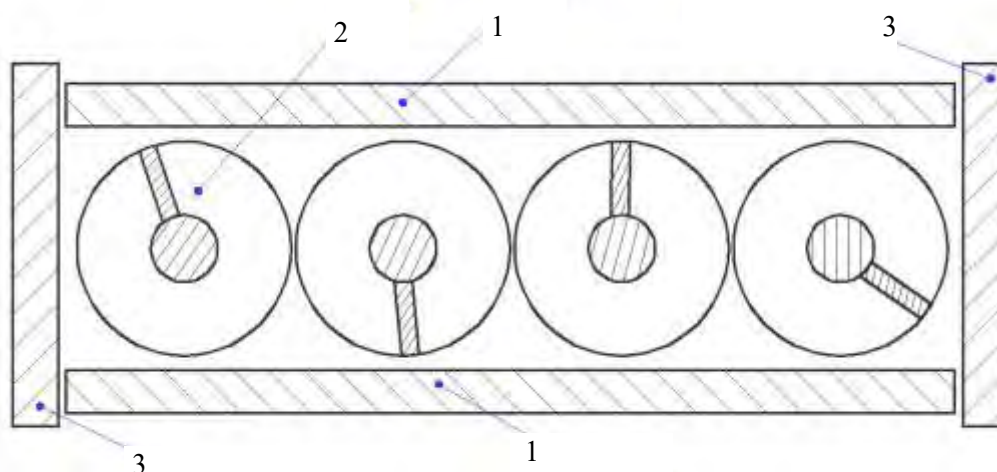
Нагнетающе-перерабатывающий пресс включает в себя два четырехвинтовых пресса. Каждый четырехвинтовой пресс состоит из двух левых и двух правых винтов, заключенных в один общий кожух. Винты пресса крепятся на конической части валов цилиндрического редуктора посредством шпонки и стяжного винта.

По длине 1/3 винтов расположена в бункере пресса. Они принимают сфрезерованную массу, захватывают ее и падают в нагнетающую часть. В нагнетающей части пресса 1/3 длины винтов расположена в цилиндрических направляющих. В них полости винтов сообщаются (рисунок 6). Конечная часть винтов находится в общей пресскамере прямоугольного сечения (рисунок 7). Нижняя и верхняя стенки этой пресскамеры втулочно-пальцевыми шарнирами крепятся к камере цилиндрических направляющих, подвижны и при необходимости могут вибрировать, улучшая уплотнение перерабатываемой массы. В общем кожухе пресса с сообщающимися камерами вращение торфа вместе с винтом исключено, пресс более экономичен и постоянно создает достаточное для формования давление. К подвижным нижней и верхней стенкам пресскамеры через втулочно-пальцевые шарниры крепятся блоки мундштуков.



1 – кожух винтов; 2 – винты; 3 – сообщающиеся полости

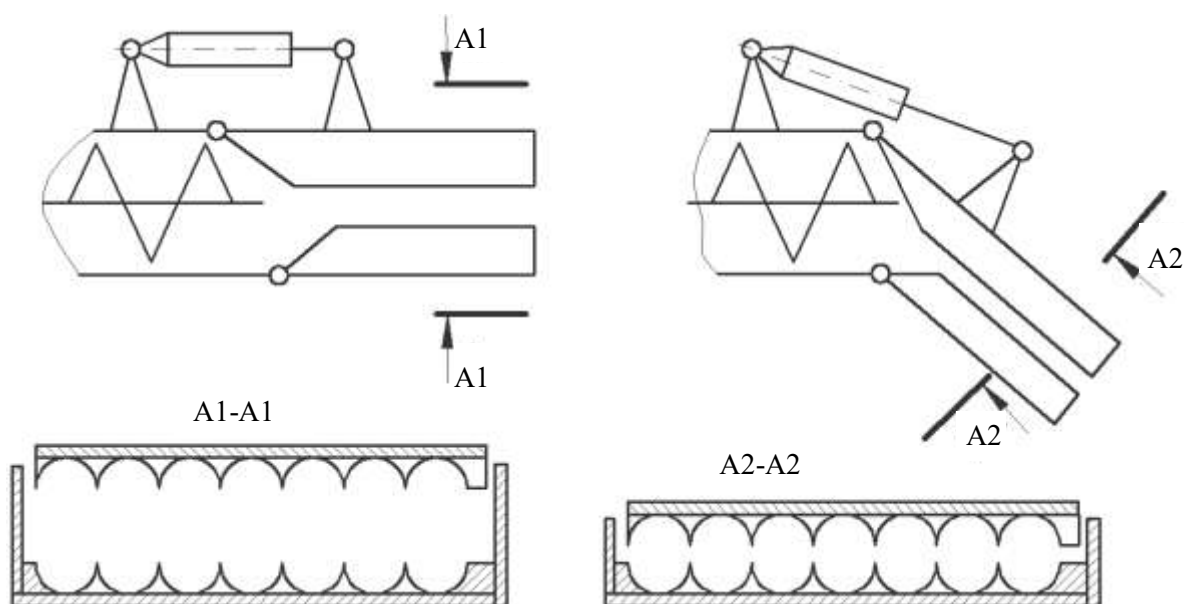
**Рисунок 6 – Цилиндрические направляющие винтов с сообщающимися полостями**



1 – подвижные стенки пресскамеры; 2 – винты;  
3 – неподвижные стенки кожуха

**Рисунок 7 – Общая пресс-камера прямоугольного сечения**

Формующие мундштуки установлены в конце винтов по горизонтальной линии на всю ширину машины. Они разъемные, составлены из двух блоков. Формуемая масса из пресса плавно переходит в мундштуки. Здесь нет никаких резко выступающих перегородок, где может зацепиться и удерживаться стружка древесины. Верхний блок мундштуков может управляться гидроцилиндром. При засорении формующих каналов крупными обломками древесины верхний блок приподнимают и дают возможность мундштуку очиститься от древесины без остановки машины. У блочной конструкции мундштуков можно менять геометрию поперечного сечения формующих каналов (рисунок 8). Если формирующие каналы блоков расположить горизонтально, поперечное сечение мундштуков будет максимальным. Наклоном блоков вниз можно уменьшить размеры формующих каналов в поперечнике, тем самым увеличивается давление в мундштуках и уплотнение формуемой массы.

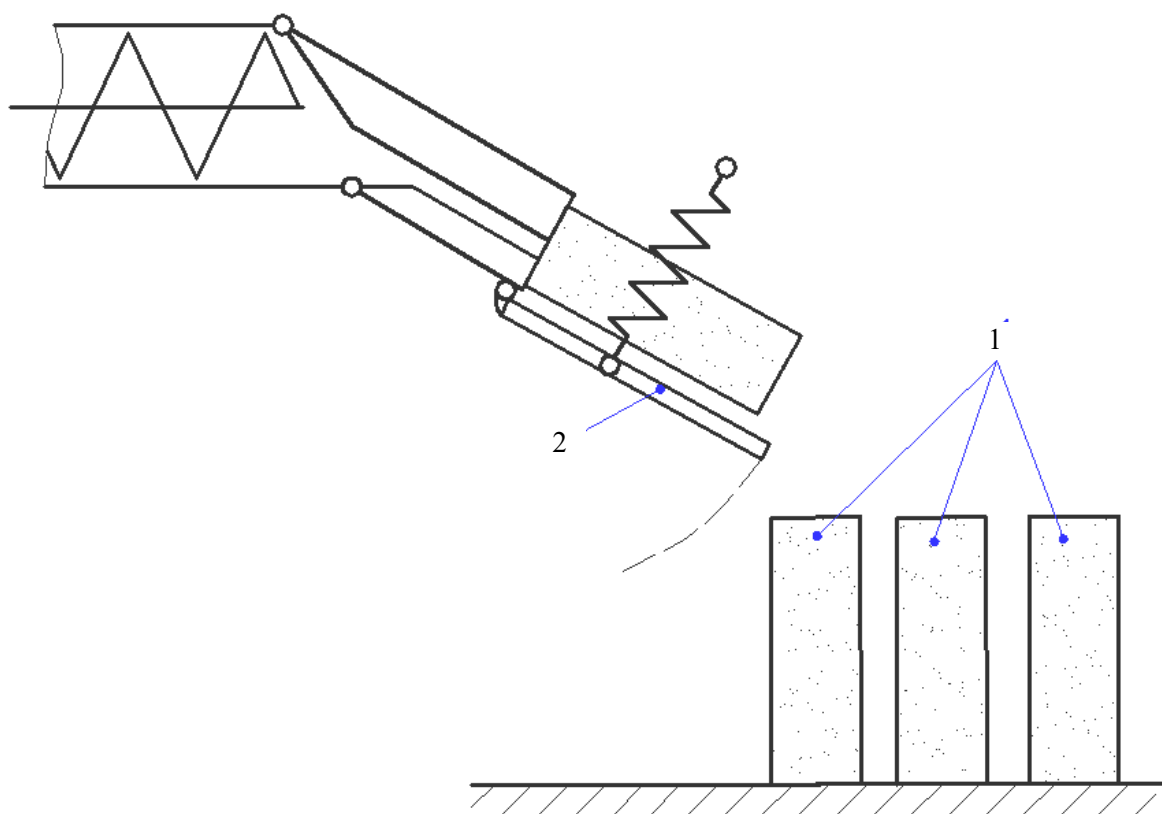


**Рисунок 8 – Схема изменения геометрии поперечного сечения формующих каналов**

Откладчик сформованного торфа в виде опрокидывающейся площадки шарнирно крепится к нижнему блоку мундштуков (рисунок 9). Откладчик срабатывает от массы груза на нем. Достигнув определенной длины, масса ленты сформованного на откладчике торфа преодолевает усилие пружины, поддерживающей откладчик, и пластина с торфом на ней опрокидывается. Торфяная лента обламывается, куски падают на залежь торцом вниз и часто остаются в вертикальном положении. Обламывание сформованной ленты происходит в одном месте только в момент опрокидывания откладчика. Чтобы не нарушить структуру сформованных кусков, высота падения их на залежь подбирается минимальной.

Лыжа шарнирно крепится к раме ходового устройства. Снизу лыжи наискосок приварены ребра, которые срезают торф с поверхности залежи и сдвигают его к щелям, частично засыпая их. На рабочем проходе машины лыжа скользит по поверхности залежи и выравнивает поле перед выстилкой торфа для сушки.

Бункер пресса установлен над передней частью винтов. Его назначение – «поймать» весь поток сфрезерованной массы и осадить на винты. В бункере установлена ловушка. Сфрезерованный торф с нее падает на винты пресса, а твердые металлические предметы остаются в ловушке.



1 – сформованные торфяные куски на залежи; 2 – откладчик

**Рисунок 9 – Откладчик сформованного торфа**

При работе с трактором ДТ-75Б производительность машины составляет 8 т/ч, энергоемкость фрезерования залежи, переработки и формования торфа около 6,9 кВт·ч/т, трудозатраты 0,12 чел·час/т.

Основные технологические показатели существующих и испытанного способов добычи кускового торфа приведены в таблице.

Таблица – Основные технологические показатели

Тип добывающей машины	Производительность, т/ч	Энергоемкость, кВт·ч/т	Трудозатраты, чел·час/т	Металлоемкость, т
ТЭМП-ЭСМ	25	16	0,28	3,0
МТК-12	3	19	0,3	2,9
МТК-1,3 с ДТ-75	8	6,9	0,12	1,3
МТК-1,3 с МТЗ 1523	12	9,8	0,08	1,1

В перспективе добывающие машины с энергонасыщенными тракторами позволят разрабатывать торфяную залежь вместе с находящимися в ней остатками древесины. В основном мы добываем торф для последующего сжигания. Добывая торф на топливо на сегодняшний день, мы предварительно удаляем и вывозим крупные древесные остатки за пределы полей добычи. Но ведь это тоже топливо, а мы его практически не используем. Сегодня необходимо использовать в залежи все, в том числе и пень, разработав его фрезами вместе с торфом, не извлекая из залежи. Для этого необходимо осна-

стить фрезы надежными и эффективными режущими элементами и обеспечить на них необходимый запас кинетической энергии. Опыт эксплуатации машин ЭТУ-0,75 и МТП-13 свидетельствует, что эта задача вполне выполнима.

Винтовые прессы с сообщающимися полостями расположения винтов и разъемные мундштуки конструкции машины МТК-1,3 обеспечивают формование торфа вместе со всей находящейся в нем стружкой древесины. В связи с этим разработка будет экономически выгоднее, чем применение энергоемких и трудоемких операций корчевания и вывозки пня. К тому же навалы пня, вывезенного за пределы полей добычи, являются потенциальными очагами пожаров вблизи полей добычи и прилегающей территории.

### Заключение

Приведенные в статье данные являются результатом испытаний первого опытного образца. Как и всякий опытный образец машина требует конструктивной доводки. Но даже существующая конструкция дает основание считать, что машина является перспективной. Энергоемкость процесса добычи машиной МТК-1,3 в 2-2,5 раза ниже, чем у существующих с одновинтовыми прессами и неразъемными мундштуками, трудозатраты на добыче меньше в 2,5 раза. Предлагаемая конструкция добывающей машины позволяет эффективно задействовать энергонасыщенные трактора мощностью до 200-250 кВт и довести ее производительность до 30 т/ч.

### Список использованных источников

1. Государственная программа «Торф на 2008-2010 годы и на период до 2020 года» – Минск, 2008 (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.01.2008 № 94)
2. Разработка высокопроизводительного оборудования для производства кускового торфа. Жданович Ч.И., Чистый И.Н., Стасевич В.И. изд. Х/д №280/08 № 20082101, Минск, 2008.

---

**Chisty V.I., Stasevich V.I., Chisty I.N.**

### **Machine for Lump Peat Production**

*The article deals with the test results of the pilot machine MTK-1,3 for lump peat production using a cutting-forming method. Performance specifications and basic processing characteristics of the machine MTK-1,3 in combination with tractors DT-75 and MTZ 1523 are mentioned. The article describes distinctive construction features of the designed machine and operational principles of all units and assemblies. A comparative analysis of MTK-1,3 performance with similar machines such as MTK-12, NTK, ANB is carried out.*

Поступила в редакцию 19.03.2012 г.



УДК 622.753; 628.1

**РАСЧЕТ ВСАСЫВАЮЩЕЙ И НАПОРНОЙ ЛИНИЙ НАСОСОВ ПРИ  
ТРАНСПОРТИРОВКЕ РАССОЛОВ ПРЕДПРИЯТИЙ КАЛИЙНОЙ ОТРАСЛИ**

Шейко А.М., Шемет С.Ф., Долматова О.П., Николаев А.А. (ОАО «Белгорхим-пром», г. Минск, Беларусь)

*Приведен гидравлический расчет по определению полного напора насоса, потерь напора в трубопроводах при транспортировке рассолов, отметок оси насосных агрегатов, а также расчет сифонных рассолопроводов, обеспечивающих безкавитационную работу насосных агрегатов. Расчет учитывает изменение абсолютной шероховатости рассолопроводов, их диаметра, плотность и вязкость перекачиваемой жидкости, область гидравлического сопротивления и число Рейнольдса. Исследованы напорные характеристики насосных агрегатов, транспортирующих рассол из шламохранилища 2 РУ ОАО «Беларуськалий».*

**Введение**

Гидравлический транспорт на предприятиях калийной промышленности является важным звеном технологического процесса добычи и переработки минерального сырья. В процессе производства калийных удобрений образуются минерализованные рассолы хвостов обогащения, часть которых используется в технологическом процессе для обеспечения непрерывного производства на силвинитовой обогатительной фабрике (СОФ). Излишки рассолов хвостов обогащения утилизируются путем их закачки в глубинные подземные горизонты. Это обстоятельство вызывает необходимость строительства комплекса сооружений и оборудования для гидравлического транспорта отжимных рассолов из солеотвалов и осветленных оборотных рассолов из шламохранилищ на СОФ, а также закачки лишних рассолов в подземные горизонты с помощью установки закачки избыточных рассолов (УЗИР). На предприятии ОАО «Беларуськалий» на рудоуправлениях в технологическом процессе используются осветленный рассол, состоящий из растворенных солей NaCl и KCl различного процентного содержания.

Для транспортировки рассолов на СОФ и УЗИР применяют специальные химически стойкие насосные агрегаты, установленные на стационарных либо передвижных насосных станциях, всасывающие и напорные трубопроводы, контрольно-измерительную аппаратуру и необходимую трубопроводную арматуру. Эффективность работы всех элементов системы гидравлического транспорта рассолов хвостов обогащения будет зависеть от правильного подбора этих элементов, основанных, прежде всего на гидравлическом расчете насосных агрегатов, всасывающих и напорных рассолопроводов. Трудность проводимых гидравлических расчетов заключается в правильном определении потерь напора рассолов при их транспортировке, определении отметок оси насосов с учетом перекачки рассолов во всасывающем трубопроводе, а также в расчетах сифонных линий насосов, обеспечивающих нормальную, безкавитационную работу насосных агрегатов. Методика расчета потерь напора, приводимая в [1-3], применима только для транспортировки чистой воды и не учитывает изменение абсолютной эквивалентной шероховатости стенок труб  $\Delta_3$ , плотности жидкости, вязкости, области гидравлического сопротивления, где критерием является число Рейнольдса ( $Re$ ), и на основе этих параметров изменение коэффициента гидравлического трения (коэффициента Дарси)  $\lambda$ . Поэтому дальнейшее совершенствование гидравлического расчета, применимого для транспортировки рассолов хвостов обогащения на предприятиях калийной отрасли, является важной инженерной задачей, решение которой способствует повышению эффективности работы применяемого оборудования, уменьшению эксплуатационных и капитальных затрат.



### Определение полного напора насоса

Полный напор насоса при перекачке рассолов хвостов обогащения калийных производств будет определяться по формуле [4]:

$$H = h_0 \left( \frac{\rho_p - \rho_B}{\rho_B} \right) \pm H_r \frac{\rho_p}{\rho_B} + h_{\text{тв}} \frac{\rho_p}{\rho_B} + h_{\text{тн}} \frac{\rho_p}{\rho_B}, \quad (1)$$

где  $h_0$  – расстояние от устья всасывающей трубы до уровня рассола;

$\rho_p$  – плотность рассола,  $\rho_B$  – плотность воды;

$H_r$  – геометрическая высота подъема рассола;

$h_{\text{тв}}$  – потери напора во всасывающем трубопроводе;

$h_{\text{тн}}$  – потери напора в напорном трубопроводе.

Геометрическая высота подъема рассола  $H_r$  определяется как разность уровней рассола в шламохранилище (рассолосборнике) и выпуска рассола на фабрике. Потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах можно определить как сумму потерь напора по длине  $h_l$  и местных потерь напора  $h_w$  [4, 5]:

$$h_{\text{тв}} = (h_l + h_w) \frac{\rho_p}{\rho_B}, \quad (2)$$

$$h_{\text{тн}} = (h_l + h_w) \frac{\rho_p}{\rho_B}. \quad (3)$$

Потери напора по длине определяются по формуле Дарси-Вейсбаха [6]:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}, \quad (4)$$

где  $l$  – длина рассолопровода;

$V$  – средняя скорость движения рассола;

$d$  – внутренний диаметр рассолопровода;

$g$  – ускорение силы тяжести.

Ввиду сложности описания движения жидкости по трубопроводам в литературе приводятся эмпирические зависимости различных авторов для определения коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  в зависимости от области сопротивления, шероховатости  $\Delta_3$  и числа Рейнольдса ( $Re$ ).

Рассматривая турбулентный режим движения рассолов, как часто встречаемый, можно выделить три области гидравлического сопротивления.

- первая область гидравлически гладких труб. Критерий этой области является число Рейнольдса, которое лежит в пределах  $20 \left( \frac{d}{\Delta_3} \right) > Re > 2300$ . Для расчета  $\lambda$  можно воспользоваться формулой Блазиуса [6, 7]:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}; \quad (5)$$

- вторая область переходная от гидравлически гладких к гидравлически шероховатым трубам. Число Рейнольдса для этой области лежит в пределах  $500 \left( \frac{d}{\Delta_э} \right) > \text{Re} > 20 \left( \frac{d}{\Delta_э} \right)$ . Для определения  $\lambda$  можно воспользоваться формулой Альтшуля [6, 7]:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_э}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}; \quad (6)$$

- третья область гидравлически шероховатых труб или квадратичная область. Для этой области при значениях числа Рейнольдса  $\text{Re} > 500 \left( \frac{d}{\Delta_э} \right)$  коэффициент Дарси можно определить по формуле Шифринсона [6, 7]:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_э}{d} \right)^{0,25}. \quad (7)$$

Число Рейнольдса для круглоцилиндрических труб определяется по формуле:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu}, \quad (8)$$

где  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости рассола.

Местные потери напора  $h_w$  определяются по формуле Вейсбаха [6]:

$$h_w = \sum \xi \frac{V^2}{2g}, \quad (9)$$

где  $\xi$  – коэффициент местных сопротивлений, который зависит от вида местных сопротивлений и значение принимается по справочникам.

Для длинных трубопроводов при длине более 200 метров величину потерь напора на местные сопротивления рекомендуют определять как 10-25 % от величины потерь по длине [5].

Для подбора насоса на рассол необходимо проанализировать совместную работу насоса и рассолопроводной сети для обеспечения насосом расчетного расхода рассола  $Q_p$ , требуемого для технологических нужд СОФ. Характеристика сети при прочих равных условиях будет определяться как функция расхода рассола, т.е. потери напора для данной сети рассолопровода зависят от расхода  $h = f(Q)$  [8]. Графоаналитическим способом путем наложения характеристики сети и напорной характеристики насоса по рабочей точке определяются фактические параметры работы насосного агрегата напор  $H_a$  и расход  $Q_a$ . Найденный по графику расход  $Q_a$  должен быть больше или равен расходу  $Q_p$  для поддержания технологического режима СОФ.

Для перекачки рассолов существуют серия специальных насосных агрегатов,

работающих в агрессивных средах. Для этих целей применяются насосные агрегаты марок «ГР», выпускаемые в Республике Беларусь (ОАО «Бобруйский машиностроительный завод», ОАО «ЛМЗ Универсал»), а также насосы зарубежных производителей (metso Minerals, Flowserve, Hidrostal и др.). Также на рудоуправлениях ОАО «Беларуськалий» хорошо себя зарекомендовали центробежные насосные агрегаты марок «Д» и многоступенчатые насосы «ЦНС». При подборе таких насосных агрегатов необходим пересчет характеристик насоса с воды на транспортировку рассола заданной плотности. С этой целью приводятся зависимости, опытные данные или различные поправки и коэффициенты для пересчета напора, мощности и КПД агрегата для заданной подачи рассола [9-11].

Для пересчета напора насоса на рассол можно воспользоваться следующей формулой [10]:

$$H_p = H \left[ 1 + 0,6 \left( \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_b} \right)^{0,9} \right]; \quad (10)$$

или формулой [5]:

$$H_p = H \frac{\rho_p}{\rho_b}, \quad (11)$$

где  $H$  – напор насоса при работе на воде.

Максимальная подача насоса при работе на рассол определяется по формуле [10]:

$$Q_a \leq Q_b^{\max} \frac{0,9\rho_b}{\rho_p}, \quad (12)$$

где  $Q_b^{\max}$  – максимальная производительность насоса на воде.

Мощность насосного агрегата  $N_p$  при работе его на рассол будет определяться по зависимости [5, 10]:

$$N_p = N_b \frac{\rho_p}{\rho_b}, \quad (13)$$

где  $N_b$  – мощность насосного агрегата при работе его на воде.

Согласно приведенным зависимостям при работе насоса на рассол напорная характеристика и мощность повышается на величину, зависящую от плотности рассола и воды соответственно. На основании сопротивления сети и новых параметров насоса, работающего на рассол, строится характеристика сети и насоса и определяется фактический напор  $H_a$  и расход  $Q_a$ .

Для исследования работы насосных агрегатов, транспортирующих рассол, был проведен анализ работы существующих насосных станций оборотных рассолов второго рудоуправления (2 РУ) ОАО «Беларуськалий». Так как СОФ 2 РУ работает в технологическом режиме потребности определенного количества рассола на данный момент времени, то проверка работы насосных агрегатов во всем диапазоне подач и напоров не представляется возможным. Поэтому для анализа были замерены параметры насосов с определенной производительностью. Параметры насосных агрегатов, работающих на СОФ 2 РУ, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры насосных агрегатов

Марка насоса	Напор $H_a$ , м	Расход $Q_a$ , м <sup>3</sup> /ч	Сила тока $J$ , А	Напряжение $U$ , В
Д 320-50	90	140	120	380
Д 320-50	50	300	140	380
ГР 350-40	30	290	80	380
ЦНС 180-1050 ( $n = 1500$ об/мин)	220	124	240	380

Мощность насосных агрегатов, работающих на СОФ, определялась по формуле:

$$N = J \cdot U \sqrt{3} \cos \varphi, \quad (14)$$

где  $\cos \varphi$  принимается для данных типов трехфазных электродвигателей равным 0,8.

Мощность насосных агрегатов, рассчитанная по формуле (14), и параметры сети, на которых работают агрегаты, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Мощность насосных агрегатов и параметры сети

Марка насоса	Мощность, кВт	Диаметр трубопровода $d$ , мм	Длина трубопровода $l$ , м
Д 320-50	63	426x10	4520
Д 320-50	74	426x10	2900
ГР 350-40	43	426x10	2500
ЦНС 180-1050 ( $n = 1500$ об/мин)	126	146x10	2300

Плотность рассола, взятого из шламохранилища карты № 6 при температуре в 6 °С, определялась весовым методом в лаборатории отдела ВиК ОАО «Белгорхимпром» и составила 1173 кг/м<sup>3</sup>. Вязкость рассола при температуре пробы в 6 °С определялась вискозиметром капиллярным типа ВПЖ-4 в лаборатории и составила  $\nu = 1,61 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. Химический состав рассолов следующий: содержание КСl=7,7 %, NaCl=17,4 %. Для расчета принимался  $\Delta_{\text{э}}$ , равный 0,5 мм для стальных труб [6].

Путем наложения характеристики сопротивления сети и напорной характеристики были определены фактические параметры  $H_a$  и  $Q_a$  насосного агрегата, работающего на рассол (рисунок 1, 2)

Для насоса Д 320-50 были исследованы два режима работы, соответственно точки  $A_1$  и  $A_2$  (рисунок 1). Фактические значение расхода и напора при работе насоса на рассол (штриховая линия на рисунке 1) отличаются от работы на воде (точка  $A_1$  на рисунке 1) и для данного насоса превышают значения, вычисленные по формулам (10) и (11). Характеристика насоса, работающего на рассол, в начале лежит выше кривой на воду и резко снижается в конце. В [5, 10] такая тенденция описана для разных плотностей перекачиваемой жидкости.

Для насоса ЦНС 180-1050, работающего на УЗИР с одним режимом, были пересчитаны значения напора и расхода с числом оборотов  $n = 1500$  об/мин на  $n = 3000$  об/мин, и полученные данные были нанесены на заводскую напорную характеристику (рисунок 2). В результате пересечения напорной характеристики насоса, работающего на рассол (штриховая линия на рисунке 2), и сопротивления сети определяется рабочая точка  $A$  и фактический напор и расход. Для данного насоса также наблюдается резкое снижение напоров в конце напорной характеристики.

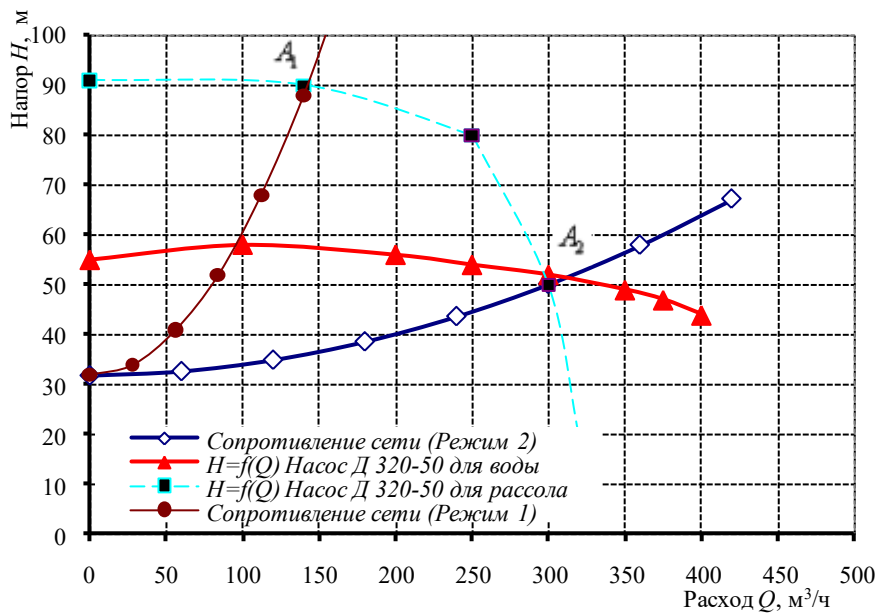


Рисунок 1 – Характеристика насоса Д 320-50 и сети

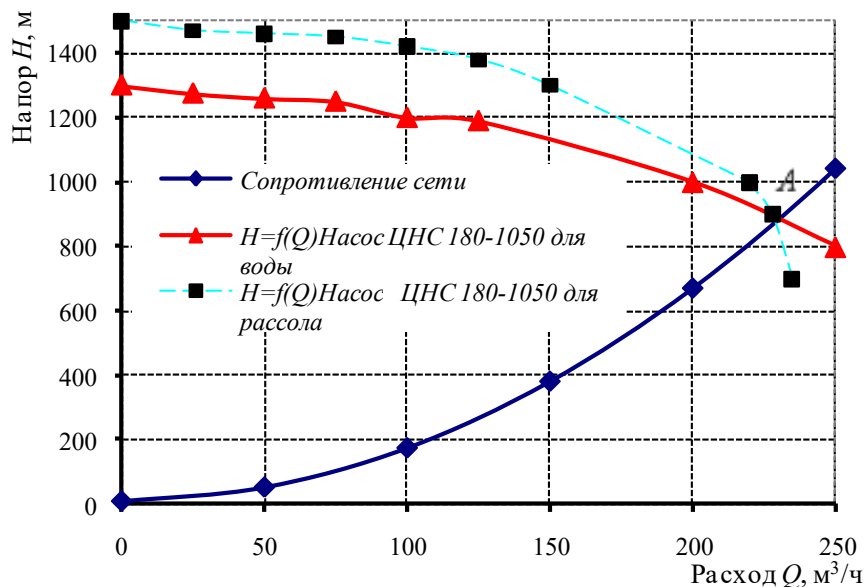


Рисунок 2 – Характеристика насоса ЦНС 180-1050 и сети

Анализ работы насосов показал, что с увеличением плотности перекачиваемого рассола, характеристика насоса изменяется в сторону увеличения напора в начале кривой и резкого снижения в конце. Данный факт необходимо учитывать при подборе насосного оборудования для транспортировки рассолов хвостов обогащения. Увеличения напора с воды на рассол можно определить, используя формулы (10) и (11). Установленная мощность двигателя определяется с учетом повышения потребляемой мощности на величину плотности рассола по формуле (13).

Для обеспечения безкавитационной работы насосного агрегата, работающего с положительной высотой всасывания, необходимо выполнить гидравлический расчет по определению отметки оси насоса и работы сифона в случае забора рассола из шламохранилища (рассолосборника) через дамбу (рисунок 3) или через вакуумный бак на всасывающей линии (рисунок 4).

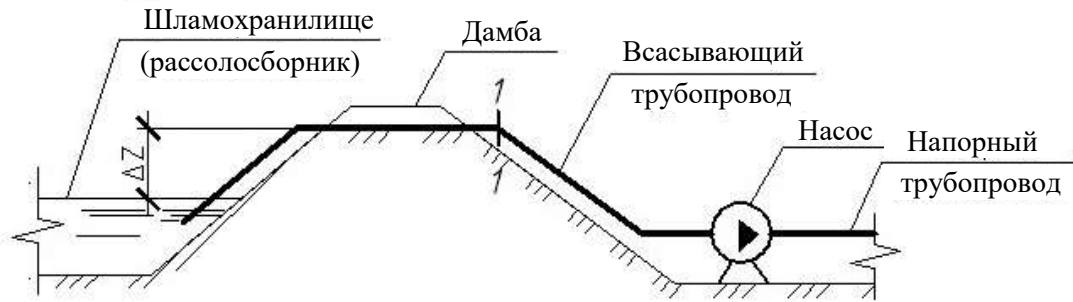


Рисунок 3 – Схема работы всасывающей линии через дамбу

Расчет сифонной линии рассолопровода сводится к определению максимального вакуумметрического давления (напора)  $H_{\text{вак}}$  и сравнению его с допустимым вакуумметрическим давлением (напором)  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  для данной местности. Для обеспечения безкавитационной работы сифона, не допускающей разрыва сплошности рассола, необходимо соблюдение следующего условия:  $H_{\text{вак}} \leq H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ . Максимальный вакуум  $H_{\text{вак}}$  определяется по формуле [6]:

$$H_{\text{вак}} = \Delta Z \cdot \rho_p + h_{\text{пв}1-1} \frac{\rho_p}{\rho_v} + \frac{\alpha V_{1-1}^2}{2g} \cdot \rho_p, \quad (15)$$

где  $\Delta Z$  – превышение всасывающей линии насоса в рассматриваемом сечении над минимальным уровнем рассола в шламохранилище (рассолоборнике), где возникает наибольший вакуум;

$h_{\text{пв}1-1}$  – потери напора во всасывающем трубопроводе до сечения, соответствующего наибольшему вакууму (сечение 1-1 на рисунке 3 и 4);

$\alpha$  – коэффициент Кориолиса, для расчетов принимается равным 1,1;

$V_{1-1}$  – средняя скорость рассола в сечении 1-1.

Наибольший вакуум будет образовываться в сечении максимально удаленном по длине и по высоте от входа во всасывающий водовод.

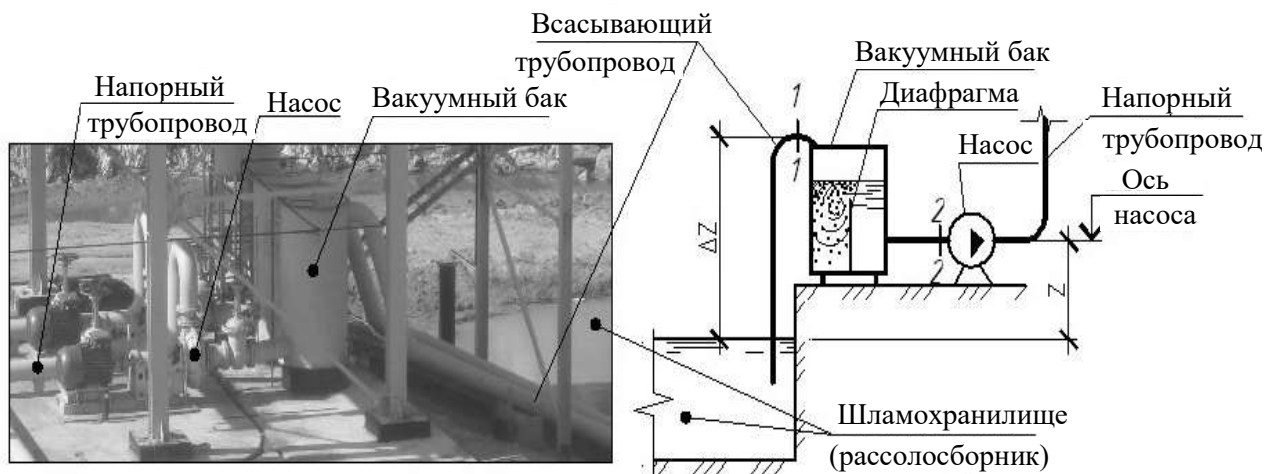


Рисунок 4 – Схема работы насоса с вакуумным баком

Допустимое вакуумметрическое давление (напор)  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  принимается как для воды и зависит от температуры перекачиваемой жидкости и отметки местности. Согласно СНБ 2.04.02-2000 «Строительная климатология» среднегодовая температура воздуха в Солигорском районе равняется  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для данных климатических условий и рельефа местности в районе расположения хвостового хозяйства ОАО «Беларуськалий» в расчет принимается  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 7\text{ м}$ .

Многолетний опыт эксплуатации насосных станций для транспортировки рассолов в хвостовых хозяйствах рудоуправлений ОАО «Беларуськалий» показал, что применение на всасывающей линии рассолопровода обратных клапанов приводит к преждевременному выходу их из строя в связи с образованием на них отложений. Запуск насосных агрегатов с положительной высоты всасывания без работающего обратного клапана проблематичен, так как происходит заполнение всасывающей линии воздухом. Поэтому наиболее простым в эксплуатации и по конструкции является применение вакуумных баков, устанавливаемых перед насосом (рисунок 4). Объем бака не зависит от типа и производительности насоса, а только от параметров всасывающей линии и давления в баке. Расчет по определению объема бака приводится в [9]. Для минимизации поступления в насос воздуха возможна установка в баке диафрагмы, образующей успокоительный отсек, где происходит гашение избыточной кинетической энергии и локализация пузырьков воздуха.

При схеме забора рассола при условии длинной сифонной линии, для минимизации заполнения рассолопровода воздухом в момент отключения насосного агрегата, в начале всасывающей линии проектируют местное повышение рассолопровода (рисунок 5). При такой схеме всасывания после остановки насосного агрегата не происходит опорожнение рассолопровода в шламохранилище (рассолосборнике), и последующие пуски насосного агрегата происходят без необходимости заливки рассолопровода рассолом.

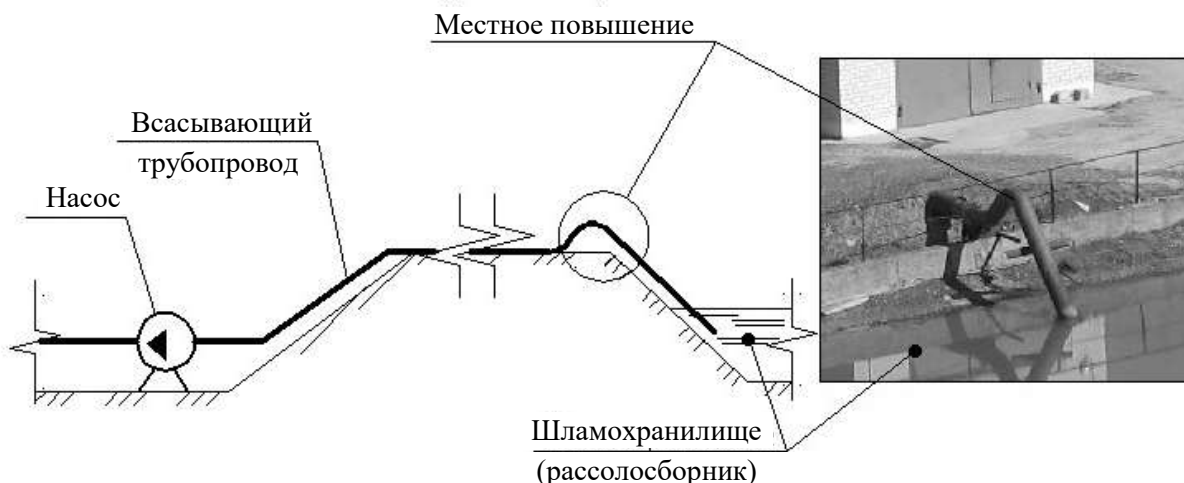


Рисунок 5 – Схема работы насоса с местным повышением рассолопровода

Отметка оси насоса при положительной высоте всасывания определяется также из условия недопущения образования кавитации и разрыва сплошности рассола путем нахождения геометрической высоты всасывания  $Z$  по формуле [12]:

$$Z = (h_{\text{атм}} - \Delta h - h_{\text{пж}}) / \rho_p - h_{\text{пв}2-2} \frac{\rho_p}{\rho_v}, \quad (16)$$

где  $h_{\text{атм}}$  – атмосферное давление, выраженное в метрах водяного столба;

$\Delta h$  – допустимый кавитационный запас (NPSHr), который приводится в характеристике насоса в зависимости от его подачи;

$h_{\text{пж}}$  – давление паров жидкости, зависит от температуры жидкости, значение приводится в [12];

$h_{\text{пв 2-2}}$  – потери напора от входа во всасывающий водовод до сечения 2-2 (рисунок 4).

Допустимый кавитационный запас ( $\Delta h$ ) – это абсолютное минимальное давление, которое необходимо обеспечить на входе в насос с целью исключения такого нежелательного явления как кавитация.

### Заключение

Приведен гидравлический расчет по определению полного напора насоса при перекачке рассолов хвостов обогащения калийных производств, а также потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах. Расчет учитывает изменение абсолютной эквивалентной шероховатости стенок рассолопроводов, их диаметра, плотности, вязкости транспортирующей жидкости. По числу Рейнольдса (Re) в зависимости от области гидравлического сопротивления приводятся эмпирические зависимости для определения коэффициента гидравлического трения  $\lambda$ . Для расчета выделяются три зоны гидравлического сопротивления: первая область гидравлически гладких труб; вторая область переходная от гидравлически гладких к гидравлически шероховатым трубам и третья область гидравлически шероховатых труб или квадратичная область.

Для подбора насоса на рассол необходимо проанализировать совместную работу насоса и рассолопроводной сети для обеспечения насосом расчетного расхода рассола, требуемого для технологических нужд СОФ. При подборе насосных агрегатов необходимо выполнить пересчет характеристик насоса с воды на транспортировку рассола заданной плотности. С этой целью приводятся зависимости для пересчета напора и мощности насосного агрегата, и производится проверка максимальной подачи рассола. Согласно приведенным зависимостям при работе насоса на рассол напорная характеристика и мощность повышается на величину, зависящую от плотности рассола и воды соответственно. На основании сопротивления сети и новых параметров насоса, работающего на рассол, строится характеристика сети и насоса и определяется фактический напор и расход. Установленная мощность двигателя определяется с учетом повышения потребляемой мощности на величину плотности рассола.

Анализ работы насосных станций оборотных рассолов 2 РУ ОАО «Беларуськалий» с плотностью  $1173 \text{ кг/м}^3$  и вязкостью  $\nu = 1,61 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  при температуре рассола в  $6^\circ\text{C}$  показал, что с увеличением плотности перекачиваемого рассола напорные характеристики насосов ДЗ20-50 и ЦНС 180-1050 изменяются в сторону увеличения напора вначале кривой и резкого снижения в конце. Данный факт необходимо учитывать при подборе насосного оборудования для транспортировки рассолов хвостов обогащения.

Приведен гидравлический расчет по определению отметки оси насоса и работы сифона в случае забора рассола из шламохранилища (рассолосборника) через дамбу или через вакуумный бак на всасывающей линии.

Отметка оси насоса при положительной высоте всасывания определяется из условия недопущения образования кавитации и разрыва сплошности путем нахождения геометрической высоты всасывания  $Z$  относительно минимального уровня рассола. Для обеспечения безкавитационной работы сифона, не допускающей разрыва сплошности рассола, необходимо соблюдение следующего условия:  $H_{\text{вак}} \leq H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ .



---

**Список использованных источников**

1. ТКП 45-4.01-32-2010. Наружные водопроводные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования. – Минск: Минстройархитектуры, 2011.
2. **Шевелев, Ф.А.** Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справочное пособие / Ф.А. Шевелев. – 8-е изд. – М.: Бастет, 2008. – 352 с.
3. **Лукиных, А.А.** Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского / А.А. Лукиных, Н.А. Лукиных. – 4-е изд. – М.: Стройиздат, 1974. – 156 с.
4. Пособие по проектированию гидравлического транспорта (к СНиП 2.05.07-85) / Промтрансниипроект. – М.: Стройиздат, 1988.
5. **Евдокимов, П.Д.** Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогащительных фабрик / П.Д. Евдокимов, Г.Т. Сазонов. – 2-е изд. – М.: Недра, 1978. – 439 с.
6. **Чугаев, Р.Р.** Гидравлика: учебник для вузов / Р.Р. Чугаев. – 4-е изд. – Л.: «Энергия», 1982. – 600 с.
7. Лабораторный практикум по механике жидкости и газа / И.В. Качанов [и др.]; под ред. И.В. Качанова, В.Н. Юхновца. – 4 изд. – Минск: БНТУ, 2006. – 366 с.
8. **Дмитриев, А.В.** Выбор, маркировка и условные обозначения насосов: учеб. пособие / А.В. Дмитриев, Д.Н. Латыпов, Н.Х. Зиннатуллин. – Казань: КГТУ, 2008. – 142 с.
9. **Лямаев, Б.Ф.** Гидроструйные насосы и установки / Б.Ф. Лямаев. – Л.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
10. **Дмитриев, Г.П.** Напорные гидротранспортные системы / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
11. **Джваршеишвили, А.Г.** Системы трубопроводного транспорта горнообогатительных предприятий / А.Г. Джваршеишвили. – М.: Недра, 1981. – 384 с.
12. ТКП 45-4.01-200-2010. Насосные станции систем водоснабжения. Правила проектирования. – Минск: Минстройархитектуры, 2011.

---

**Sheiko A.M., Shemet S.F., Dolmatova O.P., Nikolaev A.A.**

**Calculation of pump suction and pressure lines during transportation of brines of potash industry plants**

*Hydraulic calculation for determination of pump total head, head losses in pipelines resulting from brines transportation, marks of pumping units' axis, and calculation of siphon brine pipes providing non cavitation work of pumping units are presented. Change of absolute roughness and diameter of brines pipes, density and viscosity of pumped over liquid, area of hydraulic resistance and Reynolds number were taken into account when calculating. Head characteristics of pumping units transporting brine from the slime storage of JSC «Belaruskali's» mining and refinery complex 2 are examined.*

Поступила в редакцию 25.05.2012 г.

УДК 674.81.0182.666.189

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Екименко А.Н., Колдаев О.Ю. (ЧНПУП «Институт инновационных исследований», г. Гомель, Беларусь), Колдаева С.Н. (УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина», Беларусь)

*Предложены новые составы высоконаполненных древесных термореактивных пресс-материалов для производства профильных погонажных изделий повышенной прочности. Представлены новые конструкции роликов и методы их формирования из разработанных материалов, обеспечивающие повышение надежности и долговечности роликоопор.*

### Введение

Одним из главных видов транспорта в химическом, горнодобывающем и металлургическом производствах являются ленточные конвейеры, включающие большое количество однотипных узлов – роликоопор. От их состояния и конструкции зависит сопротивление движению ленты, срок ее службы и энергоемкость конвейеров. Ролики ленточных конвейеров в процессе эксплуатации подвергаются воздействию различных абразивно-агрессивных сред (песок, глина, цемент, фосфогипс, сернистый колчедан, фосфорные, калийные, азотные удобрения и др.), что приводит к коррозированию их металлических деталей, заклиниванию подшипников и в результате – к преждевременному выходу из строя как роликоопор, так и несущего органа конвейера – транспортной ленты. По данным ряда предприятий химической промышленности, усредненный срок службы металлических роликов в химических цехах составляет около 3,5 тыс. часов.

Одним из перспективных способов повышения работоспособности и долговечности конвейерного транспорта, эксплуатируемого в условиях воздействия агрессивных и абразивных сред, является применение в его конструкции узлов и деталей, изготовленных из неметаллических материалов. Однако отсутствие высокопрочных, износостойких и при этом сравнительно недорогих полимерных композитов для производства погонажных изделий (труб, направляющих, специальных профилей) не позволяет решить данную проблему в полном объеме.

В настоящее время в производстве трубопроводов химических и горнодобывающих производств в качестве альтернативы металлическим трубам (по показателям прочности, износостойкости, интервалу рабочих температур и стойкости к агрессивным средам) применяют стеклопластиковые трубы, получаемые методом намотки стеклонити на оправку с последующим нанесением и отверждением жидкого связующего на основе эпоксидных смол. Трудоемкость технологии, а также высокая стоимость исходного сырья препятствует применению таких труб в конвейерном транспорте.

Имеющаяся обширная номенклатура труб из термопластов (полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида) также непригодна для изготовления роликов, поскольку такие трубы не обеспечивают необходимой надежности и работоспособности по своим физико-механическим свойствам – низкий коэффициент трения между поверхностью ролика и транспортной лентой, а также практически полная потеря прочности при повышенных температурах.

### Результаты исследований

Нами впервые разработан метод изготовления погонажных изделий из высоконаполненных терморезактивных композитов, позволяющий непрерывным способом изготавливать трубы различных диаметров и разной длины. Описываемый метод позволяет реализовать возможность регулирования ориентации волокнистого наполнителя (преимущественно по оси экструзии), что существенно повышает прочность изделий на изгиб и кручение. Таким образом устраняется основной недостаток плунжерной экструзии – укладка отрезков армирующих волокон и частиц наполнителя по плоскостям, перпендикулярным направлению прессования.

На рисунках 1, 2 представлены схемы устройства для изготовления из высоконаполненных (до 80 %) терморезактивных полимерных композитов погонажных изделий, в частности труб [1].

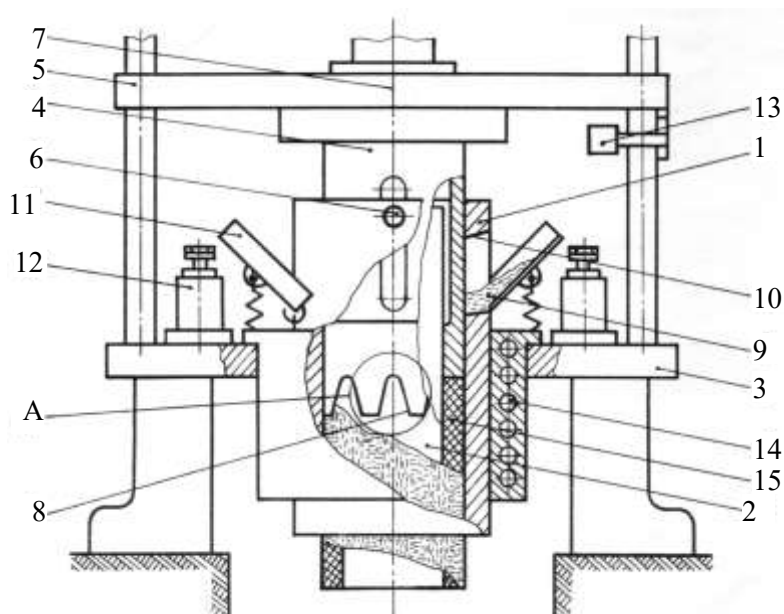
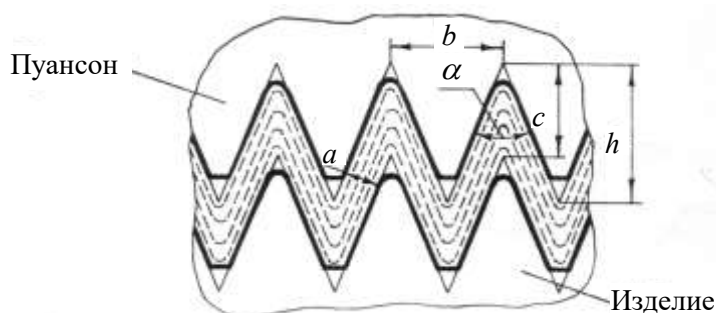


Рисунок 1 – Схема устройства для формирования погонажных профильных изделий с заданной ориентацией волокнистого наполнителя по длине и сечению изделия



$\alpha$  – угол заострения зуба;  $h$  – высота зуба;  $b$  – ширина зуба у основания;  
 $a, c$  – технологические характеристики прессования

Рисунок 2 – Схема прессующего торца пуансона плунжерного экструдера

Устройство состоит из гильзы 1 и сердечника 2, образующих формующий канал и закрепленных на неподвижной плите 3 пресса; пуансона 4, закрепленного на подвижной плите 5 пресса и совершающего возвратно-поступательное движение в формующем канале. Сердечник 2 зафиксирован относительно гильзы 1 переключкой 6, которая одновременно является направляющей для пуансона 4, в боковых стенках которого выполнены две вертикальные прорези 7. Рабочая (прессующая) часть пуансона 4 выполнена зубчатой с радиальным размещением зубьев 8 по периметру, причем размеры зубьев выбираются из условия:

$$h > \frac{ab}{\sqrt{b^2 - 4a^2}},$$

где  $h$  – высота зуба, мм;

$b$  – ширина зуба у основания, мм;

$a$  – технологическая характеристика прессования,  $a = 20\text{--}40$  мм; при этом  $b > 2a$ .

Для подачи пресс-материала 9 в формующий канал в гильзе выполнены загрузочные окна 10. Загрузочный механизм состоит из подпружиненной загрузочной воронки 11, шарнирно прикрепленной к стенке гильзы и способной совершать колебательные движения от вибрационной нагрузки; виброэлемента 12, рабочий орган которого соединен с воронкой, и фотоэлемента 13, управляющего работой виброэлемента 12. Гильза 1 и сердечник 2 снабжены электронагревательными элементами 14. 15 – спрессованное изделие.

Устройство работает следующим образом.

Пресс-масса 9 подается в подпружиненную загрузочную воронку 11. Пуансон 4, совершая возвратно-поступательное движение в формующем канале, открывает и закрывает загрузочные окна 10 в гильзе 1. Движение пуансона 4 относительно переключки 6 осуществляется по прорезям 7 по ходовой посадке, что предотвращает поворот и смещение пуансона 4 внутри формующего канала. Перемещение пуансона 4 «вверх-вниз» составляет один цикл. Когда пуансон 4 при своем движении открывает загрузочные окна 10, срабатывает фотоэлемент 13, включается виброэлемент 12, подпружиненная загрузочная воронка 11 приводится в колебательное движение, и пресс-масса 9 просыпается в формующий канал. При закрывании загрузочных окон пуансоном 4 загрузочный механизм отключается.

Пуансон 4 отдельными порциями (порцию составляет количество пресс-материала, попадающего в формующий канал за один цикл движения пуансона 4) проталкивает пресс-массу через обогреваемый формующий канал, где происходит формование и термостабилизация изделия 15. Зубчатая форма торца пуансона обеспечивает требуемую ориентацию частиц наполнителя в изделии.

Температура меняется по длине формующего канала – в зоне прессования от 25 до 70 °С, в зоне формования 155-170 °С, в зоне термостабилизации 110-120 °С.

Давление прессования, в зависимости от вида и соотношения компонентов пресс-материала, составляет 40-70 МПа.

В качестве армирующих элементов использовали измельченные отходы стеклянного, углеродного, полиоксадиазольного и др. видов высокопрочных высокомодульных волокон, в качестве наполнителя – измельченные отходы древесины в виде опилок, стружки, крошки и т.п. Использование комплексного связующего, обладающего повышенной термостойкостью и структурообразованием, позволило существенно повысить износостойкость изделий при одновременном, без потери прочностных свойств, снижении доли связующего в композите.

Для изготовления труб, брусков, досок, направляющих и других погонажных изделий нами разработан новый высоконаполненный термореактивный композиционный материал (ДПКА-4), включающий в своем составе, масс %: измельченной древесины 51-67, арселенового волокна 8-14, полиэфирного волокна 3,5-5,5, составного связующего (фенолформальдегидная и кремнийорганическая смолы в соотношении 5:1) по сухому остатку 20-25, окиси хрома 0,3-0,9, глицерина 0,3-1,0, сульфата алюминия 0,1-0,4, смеси гексаметилентетрамина с хлористой медью 0,8-2,2.

Физико-механические свойства материала представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства ДПКА-4.

Наименование показателя	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1300-1350
Теплостойкость по Мартенсу, °С	200-230
Предел прочности, МПа	
– при сжатии	190-220
– растяжении	75-80
– статическом изгибе	90-110
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	25-30

Модификация фенолформальдегидной смолы кремнийорганической позволяет снизить угол смачивания полимерных волокон связующим и обеспечивает сплошность пленки связующего на их поверхности. Кроме того, составное связующее увеличивает износостойкость, снижает и стабилизирует коэффициент трения материала, что объясняется присутствием в составе связующего термостойких силоксановых фрагментов кремнийорганической смолы и увеличением степени структурирования связующего. Наличие в материале сульфата алюминия улучшает его технологические свойства и снижает горючесть.

Из разработанного пресс-материала методом плунжерной экструзии были изготовлены трубы наружным диаметром 159 мм и внутренним 139 мм. Образцы труб представлены на рисунке 3.

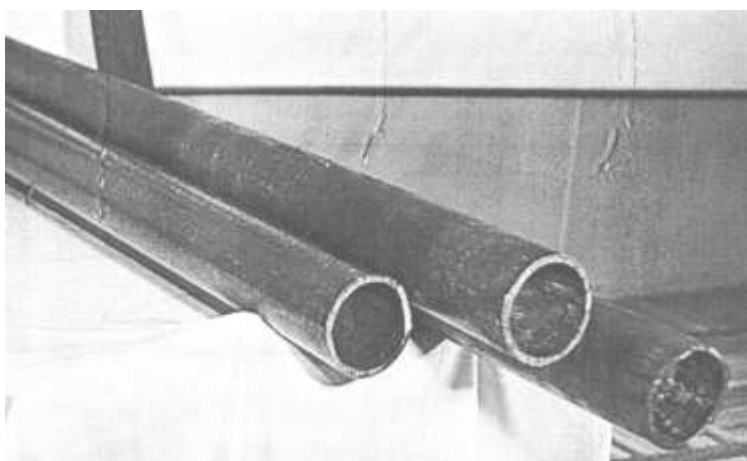


Рисунок 3 – Образцы труб из высоконаполненных древесных композитов на основе составного связующего, армированных отходами полимерных волокон

В результате проведенного в Институте инновационных исследований комплекса лабораторных и производственных испытаний нами был разработан ряд конструкций роликов из новых композиционных материалов (ДПКА-1, ДПКА-4) [4-6], обеспечивающих повышение надежности и долговечности роликоопор. Выбор материала, применяемого для изготовления композитной трубы корпуса ролика, определялся, исходя из условий эксплуатации и величины нагрузок, действующих на ролик.

Одним из главных критериев повышения работоспособ-

ности и долговечности роликов является снижение их веса. Ниже приведен сравнительный расчет долговечности металлических и полимерных роликов ленточных конвейеров, применяемых в конвейерах на ОАО «Беларуськалий». При расчете учитывали, что долговечность роликов определяется в основном долговечностью подшипников качения.

Значение долговечности определяется как:

$$L = a_{23} \left( \frac{c}{P} \right)^m, \text{ млн. об.},$$

где  $a_{23} = 0,7 \dots 0,8$  – обобщенный коэффициент, характеризующий комплексное влияние качества материала изделий и условий эксплуатации (принимается  $a_{23} = 0,75$ );

$c$  – динамическая грузоподъемность, Н (для подшипника № 305  $c = 17600$  Н);

$P$  – эквивалентная динамическая нагрузка, Н.

Величина  $P$  складывается из веса ролика  $P_1$ , веса транспортируемой руды  $P_2$  и веса транспортерной ленты  $P_3$ .  $P_1$  для ролика КЛС 1200 (ширина ленты конвейера 1200 мм) верхнего полимерного  $P_1^{\text{п}} = 111$  Н; для ролика КЛС 1200 верхнего металлического  $P_1^{\text{м}} = 225$  Н.

Вес ролика  $P_1$  для ролика КЛС 1400 верхнего полимерного  $P_1^{\text{п}} = 129$  Н; для ролика КЛС 1200 верхнего металлического  $P_1^{\text{м}} = 251$  Н.

$$P_2 = \frac{N}{v \cdot n}, \text{ Н},$$

где  $N$  – производительность конвейера, Н/с ( $N = 825$  [т/час] ·  $g$  [м/с<sup>2</sup>] = 2290 Н/с);

$g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>);

$v$  – скорость ленты ( $v = 3$  м/с);

$n$  – количество подшипников в роликах на 1 м.п., ( $n = 6$ ).

Таким образом, вес транспортируемой руды:

$$P_2 = \frac{2290}{3 \cdot 6} = 127, \text{ Н}.$$

Вес транспортерной ленты:

$$P_3 = \frac{G}{n}, \text{ Н},$$

где  $G$  – вес погонного метра транспортерной ленты, Н.

Для ленты шириной 1200 мм  $G_{1200} = 200$  Н; для ленты 1400 мм  $G_{1400} = 300$  Н.

$$P_3^{1200} = \frac{200}{6} = 33 \text{ Н}; P_3^{1400} = \frac{300}{6} = 50 \text{ Н}.$$

Для ролика КЛС 1200 полимерного:

$$L_{\text{п}}^{1200} = 0,75 \left( \frac{17600}{111 + 127 + 33} \right)^3 = 206, \text{ млн. об.}$$

Для ролика КЛС 1200 металлического:

$$L_M^{1200} = 0,75 \left( \frac{17600}{225 + 127 + 33} \right)^3 = 73, \text{ млн. об.}$$

Аналогично, для ролика КЛС 1400 полимерного:

$$L_n^{1400} = 0,75 \left( \frac{17600}{129 + 127 + 50} \right)^3 = 185, \text{ млн. об.}$$

Для ролика КЛС 1400 металлического:

$$L_M^{1400} = 0,75 \left( \frac{17600}{225 + 127 + 50} \right)^3 = 52, \text{ млн. об.}$$

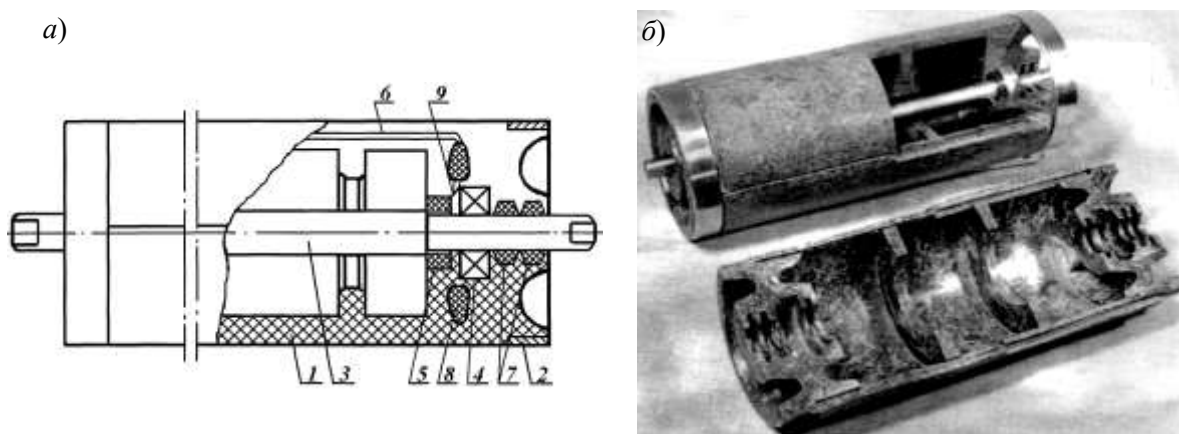
Расчетное увеличение долговечности полимерных роликов в сравнении с металлическими:

$$k_{1200} = \frac{L_n^{1200}}{L_M^{1200}} = \frac{206}{73} = 2,82 \text{ раза,}$$

$$k_{1400} = \frac{L_n^{1400}}{L_M^{1400}} = \frac{185}{52} = 3,5 \text{ раза.}$$

Проведенный расчет показывает, что применение роликоопор из композита, вследствие снижения их веса, ведет к существенному (в среднем в 2,5 раза) увеличению срока их службы.

Улучшенные показатели прочности и износостойкости материала ДПКА-4 позволили разработать конструкцию ролика ленточного конвейера (рисунок 4) для тяжелых режимов работы (высокая энергоемкость конвейера).



*a* – схема, *б* – элементы ролика

1 – полу ролик; 2 – бандаж; 3 – вал; 4 – подшипник качения; 5 – подшипник скольжения; 6 – паз; 7 – сальниковые уплотнения; 8 – резервуар для смазки; 9 – масляный канал

**Рисунок 4 – Полимерный ролик ленточного конвейера из ДПКА-4**

Ролик состоит из двух зеркально симметричных полуроликов 1 из конструкционного армированного древопласта, соединенных между собой бандажами 2. В конструкции ролика предусмотрены резервные подшипники скольжения 4 из антифрикционного древопласта. Они выполняются за одно целое с полуроликами и предназначены для предохранения роликов от поломки в случае выхода из строя подшипников качения 5. Для предохранения от попадания в зону трения абразива в конструкции ролика предусмотрены пазы 6, в которые перед сборкой укладывается резиновый шнур и сальниковые уплотнения 7. Резервуары для смазки 8, соединенные с узлом трения масляными каналами 9, обеспечивают самосмазывание узла трения в течение всего эксплуатационного периода. Масляные каналы 9 закрываются со стороны подшипников капиллярно-пористым материалом (войлок, древесина и пр.)

Масляные резервуары и каналы в процессе сборки роликов заполняются консистентной смазкой. Принцип самосмазывания узла трения заключается в следующем [2, 3]: по мере эксплуатации роликов смазка, находящаяся в узлах трения, расходуется, вследствие чего ужесточается эксплуатационный режим, что приводит к повышению температуры трущихся деталей и, следовательно, разогреву смазки, находящейся в масляных каналах и резервуарах. Нагрев смазки снижает ее вязкость и способствует интенсификации ее подачи к трущимся поверхностям, благодаря чему сохраняется и поддерживается нормальный рабочий режим узла трения в течение длительного периода эксплуатации роликоопор. Наличие резервных подшипников скольжения исключает аварийный износ роликов в случае разрушения сепараторов или износа шариков и обойм подшипников качения выше допустимого предела. При нарушении рабочего режима основных подшипников ролик проседает на величину зазора между осью и резервными подшипниками скольжения, и последние временно вступают в работу до останова конвейера на ремонт.

Ролики, представленные на рисунке 4, предназначены для работы в составе верхней роликоопоры ленточного конвейера. Полуролики 1, имеющие заданную длину, формировали методом прямого прессования.

Нами также разработаны и изготовлены длинномерные ролики для нижних роликоопор. Композитные корпуса роликов изготавливали из труб, производимых методом плунжерной экструзии. Корпуса подшипников и лабиринтные уплотнения выполнены из материала ДПКА-1 методом прямого прессования.

На рисунке 5 представлены образцы роликов с наружным диаметром 159 мм, изготовленные и испытанные на ОАО «Беларуськалий» при выполнении государственной научно-технической программы. Ролики показали высокую работоспособность и долговечность и рекомендованы к внедрению в производство.



Рисунок 5 – Образцы роликов ленточных конвейеров из ДПКА-1, ДПКА-4



### Заклучение

Применение зубчатой формы прессующего торца пуансона плунжерного экструдера позволяет реализовать требуемую ориентацию армирующих волокон и частиц наполнителя по длине и сечению формируемого изделия, что существенно повышает прочность формируемых изделий на изгиб и кручение.

Применение полимерных роликоопор на предприятиях химической и горнодобывающей промышленности позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики конвейерного транспорта (увеличение срока службы роликоопор, увеличение периода между операциями замены вышедших из строя роликов) и, тем самым, сэкономить значительные денежные средства.

### Список использованных источников

1. Устройство для изготовления погонажных изделий: пат. 2463 Респ. Беларусь, МПК 7 В 29N 3/00 / Ю.Д. Терешко, А.Н. Екименко, С.Н. Колдаева, Н.А. Екименко, О.Ю. Колдаев, Н.Ф. Крюкова; заявитель УО «БелГУТ». – № и 20060228; заявл. 22.04.2005; опубл. 28.02.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1. – С. 176.

2. **Нарышкин, В.Н.** Подшипники качения: справочник-каталог / В.Н. Нарышкин. – М.: Машиностроение, 1984.

3. **Перель, Л.Я.** Подшипники качения / Л.Я. Перель. – М.: Машиностроение, 1987.

4. Полимерная пресс-композиция: пат. 11215 Респ. Беларусь, МПК 8 С 08L 61/00, С 08L 99/00 / Ю.Д. Терешко, А.Н. Екименко, С.Н. Колдаева, О.Ю. Колдаев; заявитель УО «БелГУТ» – № а 20051311; заявл. 27.12.2005; опубл. 30.10.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 5. – С. 96.

5. Состав для изготовления древесного пластика: пат. 10587 Респ. Беларусь, МПК 8 С 08K 13/00, С 08L 61/00 / Ю.Д. Терешко, А.Н. Екименко, С.Н. Колдаева, О.Ю. Колдаев; заявитель УО «БелГУТ» – № с 20080430; заявл. 16.06.2006; опубл. 30.04.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2008. – № 2. – С. 59.

6. Ролик ленточного конвейера: пат. 4077 Респ. Беларусь, МПК 7 В 65G 39/00 / Ю.Д. Терешко, А.Н. Екименко, С.Н. Колдаева, О.Ю. Колдаев; заявитель УО «БелГУТ» – № и 20071230; заявл. 13.06.2007; опубл. 30.12.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 6. – С. 203.

---

**Ekimenko A.N., Koldaev O.Y., Koldaeva S.N.**

### **Technological and constructive characteristics of efficiency improving of conveyor transport of mining companies**

*New compositions of high-filled wood thermoreactive moulding materials for manufacture of heavy-duty specialized mouldings is proposed. New constructions of rollers and methods of their formation of designed materials which enhance reliability and durability of roller carriage are proposed.*

Поступила в редакцию 17.01.2012 г.

УДК 622.233

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШНЕКОВОГО БУРЕНИЯ

### Часть 1. Формирование математической модели рабочего процесса в установившемся режиме бурения

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

*Статья посвящена теоретическому исследованию рабочего процесса шнекового бурения с целью обоснования оптимальных соотношений между конструктивными параметрами и режимными характеристиками бурового оборудования, позволяющими в конкретных геолого-технических условиях обеспечивать максимально возможную механическую скорость бурения. В основу построения математической модели установившегося рабочего процесса шнекового бурения положено условие обязательного соблюдения двух балансовых соотношений: материального баланса по объему разрушаемой долотом и транспортируемой шнеком из скважины породы и энергетического баланса между установленной мощностью буровой установки и затратами мощности на выполнение всех операций проходки скважины. В первой части статьи сформирована математическая модель взаимодействия бурильной колонны с породой в скважине.*

#### Введение

Шнековое бурение является самым производительным видом вращательного бурения мелких скважин глубиной до 50 м и диаметром от 60 до 600÷800 мм в породах не выше VI категории по 12-бальной шкале буримости (мерзлые плотные глины, галечники, связные песчано-глинистые породы с ледяными прослойками). Этот вид бурения широко применяется для бурения взрывных скважин при сейсморазведке и открытой добыче полезных ископаемых, при инженерно- и гидрогеологических исследованиях, геологической съемке, поисках и картировании, при разведке полезных ископаемых, для бурения строительных и эксплуатационных скважин на воду [1, 2].

Достоинством шнекового бурения, или как его иногда называют «бурения всухую», является возможность работы без промывочной буровой жидкости, обычно применяемой для выноса продуктов бурения из скважины. В связи с этим метод успешно применяется при бурении в безводных районах, в мерзлых породах и в зимнее время.

К недостаткам метода следует отнести небольшую глубину бурения, невозможность бурения скважин в породах выше VI категории по буримости, в породах с наличием твердых прослоев и валунов, трудности бурения в грунтах ниже уровня стояния подземных вод, в липких и вязких глинистых грунтах, относительно высокую энергоемкость рабочего процесса бурения. Последнее обстоятельство связано с большими затратами энергии на преодоление сил трения шнека о выбуренную породу и трения породы о стенку скважины, что и является причиной ограниченной глубины бурения этим способом.

Процесс шнекового бурения включает в себя разрушение породы на забое скважины путем ее взрыхления или резания буровым долотом и одновременное транспортирование продуктов разрушения из скважины шнековым буровым ставом. Буровой став, помимо транспортирования разрыхленной породы к устью скважины, передает от

бурового станка к долоту крутящий момент и осевое усилие, необходимые для разрушения породы на забое с определенной механической скоростью проходки скважины.

Схема передвижения столба разрыхленной породы в скважине (рисунок) снизу вверх напоминает схему передвижения гайки в резьбовой паре «винт – гайка», в которой «гайка» удерживается внешними силами от проворачивания. Движение частиц породы вверх обусловлено превосходством сил трения, действующих на них со стороны стенки скважины, над силами трения, действующими со стороны винтовой поверхности вращающегося шнекового транспортера. В результате такого соотношения сил столб породы, проскальзывая относительно вращающейся винтовой поверхности шнека, поднимается ею в осевом направлении вверх к устью скважины. Эффект транспортирования породы винтовым шнеком проявляется только при скорости вращения буровой колонны больше некоторого критического значения, величина которой зависит от радиуса и угла подъема направляющей винтовой линии, коэффициентов трения породы о стенку скважины и о винтовую поверхность шнека [2]. При скорости вращения меньше критической порода вращается вместе со шнековым ставом, но вверх не поднимается.

Необходимым условием выхода буровой установки в установившийся режим бурения, при котором весь объем выбуренной породы может стабильно успешно транспортироваться шнеком из скважины, является балансовое соответствие производительности шнекового транспортера производительности долота по объему разрушенной породы с учетом ее разрыхления [3]. При этом производительность шнекового транспортера может быть больше или, в крайнем случае, равна производительности породоразрушающего инструмента. В случае несоответствия транспортных возможностей шнека производительности долота, как это известно из практики бурения, происходит уплотнение породы в межвитковом пространстве и заштыбовка породой шнекового транспортера в виде т.н. «буровых сальников» [2]. Ликвидация этого вида осложнения в практическом бурении осуществляется подъемом бурильной колонны над забоем скважины и ее «расхаживанием», т.е. вращением на максимальных оборотах с целью выклинивания центробежными силами уплотненной породы из шнека.

Производительность шнекового бурения, оцениваемая по механической скорости проходки скважины, зависит от физико-механических свойств горной породы, типа применяемого породоразрушающего инструмента, конструктивных параметров транспортирующего шнека, технологических режимов бурения [3]. К числу регулируемых в процессе бурения режимных параметров, определяющих основной показатель шнекового бурения – механическую скорость проходки, относят осевую нагрузку на долото и угловую скорость вращения буровой колонны [1, 3].

Из практики шнекового бурения известно [2, 3], что увеличение любого из названных режимных параметров приводит к росту механической скорости проходки. По причине кинематической независимости этих двух режимных параметров в приводе бурового оборудования от оператора буровой установки в конкретных горно-геологических условиях, как показывает практика шнекового бурения [3], требуется интуитивный правильный выбор их оптимальных соотношений. Суть этого требования заключается в том, что производительность разрушения породы установкой, при правильном выборе скорости вращения бурильной колонны и осевой нагрузки на долото, должна соответствовать транспортным возможностям шнекового транспортера, а суммарные затраты мощности на работу буровой колонны в этом режиме не должны превышать установленную мощность ее привода.

Очевидно, что в изменяющихся условиях бурения интуитивный выбор режимных параметров, обеспечивающих выполнение одновременно двух балансовых соотношений, представляет собой достаточно сложную задачу. На практике этот выбор

осуществляется методом «проб и ошибок», в результате которых оператор опытным путем последовательно подбирает осевую подачу и число оборотов бурильной колонны, обеспечивающих максимально возможную по условиям бурения механическую скорость проходки. Оператор при этом не располагает инструментальными возможностями для контроля затрат мощности при выбранных режимных параметрах бурения на предмет соответствия их установленной мощности приводов буровой установки. В итоге, по причине отсутствия у оператора установки достоверной информации о соблюдении материального и энергетического балансовых соотношений в рабочем процессе, бурение является не непрерывным, а периодическим. Это обусловлено тем, что время от времени бурение приходится прекращать и освобождать шнек от уплотнившейся в его витках породы по описанной выше технологии. Многократные остановки процесса бурения, сопровождаемые «расхаживанием» шнекового транспортера с целью освобождения его от уплотнившейся породы в виде «сальников», приводит к непроизводительным потерям времени и перерасходу энергии, что в итоге снижает общую механическую скорость проходки и коэффициент полезного действия буровой установки в целом.

Из приведенного обзора следует, что практический выбор оптимальных режимных параметров в шнековом бурении является актуальной проблемой, для решения которой требуется аналитическое исследование его рабочего процесса. Конечной же целью исследования является определение рациональных соотношений между конструктивными и режимными параметрами бурового оборудования, использование которых, на наш взгляд, должно существенно увеличить его производительность при шнековом бурении. Математическая модель рабочего процесса в аналитическом исследовании должна отвечать условию одновременного соблюдения двух выше указанных балансовых соотношений.

### **Моделирование установившегося процесса шнекового бурения по условию энергетического баланса**

Суммарные затраты мощности на привод бурильной колонны в установившемся режиме шнекового бурения можно представить в виде суммы трех ее составляющих:

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \quad (1)$$

где  $N_1$  – затраты мощности на разрушение породы долотом;

$N_2$  – затраты мощности на вынос породы из скважины, включая ее потери на преодоление сил трения о стенки скважины и поверхность бурового инструмента;

$N_3$  – затраты мощности на осевую подачу долота на забой.

Первая составляющая затрат мощности:

$$N_1 = e \cdot Q, \quad (2)$$

где  $e$  – удельные затраты мощности на разрушение породы;

$Q$  – объемная производительность долота.

Удельные затраты  $e$  мощности на разрушение породы на забое скважины, например, лопастным долотом, могут быть определены по зависимости [4, 5]:

$$e = c_1 \cdot h^{c_2}, \quad (3)$$

где  $h$  – средняя толщина стружки, снимаемой режущими лопастями долота;

$c_1$  и  $c_2$  – параметры, зависящие соответственно от свойств разрабатываемой породы и качества резцов.

Средняя толщина стружки для лопастного долота:

$$h = v_n \frac{2\pi}{\omega \cdot z}, \quad (4)$$

где  $v_n$  – скорость осевой подачи бурильной колонны;

$\omega$  – угловая скорость вращения долота;

$z$  – число его режущих лопастей.

Объемная производительность долота:

$$Q = v_n \cdot \pi \cdot R_c^2, \quad (5)$$

где  $R_c$  – диаметр скважины.

В итоге первая составляющая затрат мощности на привод бурильной колонны имеет вид:

$$N_1 = c_1 \cdot \left( v_n \frac{2\pi}{\omega \cdot z} \right)^{c_2} \cdot \pi \cdot R_c^2 \cdot v_n. \quad (6)$$

Вторая составляющая затрат мощности может быть определена по формуле:

$$N_2 = M_{тр} \cdot \omega, \quad (7)$$

где  $M_{тр}$  – момент трения бурильного инструмента о породу.

Для нахождения момента трения рассмотрим кинематику движения выбуренной породы в скважине и условия равновесия бесконечно тонкого элемента породы, представляющего собой геометрическое тело, ограниченное двумя вертикальными пересекающимися плоскостями с центральным углом  $d\alpha$ , двумя коаксиальными круговыми цилиндрическими поверхностями с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , и двумя эквидистантными винтовыми поверхностями с общей направляющей винтовой линией с шагом  $h_v$  (рисунок). Параметры геометрического тела соответствуют радиусу наружной поверхности става  $R_1$ , наружному радиусу шнековой лопасти  $R_2$  и шагу  $h_v$  ее направляющей винтовой линии. С целью упрощения последующих рассуждений примем  $R_2 = R_c$ .

Запишем систему уравнений равновесия для выделенного элементарного геометрического тела, находящегося под действием нормальных и касательных сил, приложенных к его поверхностям, а также объемных – силы тяжести и центробежной силы в их проекциях на ось вращения шнека, на направление радиуса и на перпендикуляр к радиусу:

$$\begin{cases} p_n \cdot S_n - \tau_{2x} \cdot dS_2 + \tau_{1x} \cdot dS_1 + \tau_{vx} \cdot dS_v + \tau_{nx} \cdot dS_n - p_3 \cdot S_3 = 0 \\ p_1 \cdot dS_1 + p_n \cdot dS_2 - p_2 \cdot dS_2 = 0 \\ p_n \cdot dS_n - p_r \cdot dS_n - p_b \cdot dS_b - \tau_{1z} \cdot dS_1 - \tau_{2z} \cdot dS_2 = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где  $p_3, p_{\Pi}$  – давления на заднюю и переднюю грани элементарного объема;

$S_{\Pi}, S_3$  – площади соответственно передней и задней граней тела;

$\tau_{1x}, \tau_{2x}$  – проекции напряжений трения на наружной и внутренней цилиндрических поверхностях геометрического тела на ось  $x$ ;

$dS_1, dS_2$  – площади внутренней и наружной цилиндрических поверхностей;

$\tau_{вх}, \tau_{нх}$  – проекции на ось абсцисс напряжений трения верхней и нижней винтовых поверхностей о поверхности лопасти шнека;

$dS_{\text{н}}, dS_{\text{в}}$  – площади нижней и верхней винтовых поверхностей тела;

$p_2$  – нормальное давление со стороны стенки скважины на наружную цилиндрическую поверхность тела;

$p_1$  – то же со стороны става шнека на внутреннюю цилиндрическую поверхность тела;

$p_{\text{и}}$  – нормальное давление на стенку скважины со стороны породы вследствие действия центробежных сил инерции;

$p_{\text{н}}, p_{\text{в}}$  – давление на нижнюю и верхнюю винтовые поверхности тела со стороны лопасти шнека;

$p_{\text{т}}$  – давление на поверхность лопасти шнека со стороны тела, обусловленное действием сил гравитации;

$\tau_{1z}, \tau_{2z}$  – проекции напряжений трения на внутренней и наружной цилиндрических поверхностях элементарного объема на ось  $z$ .

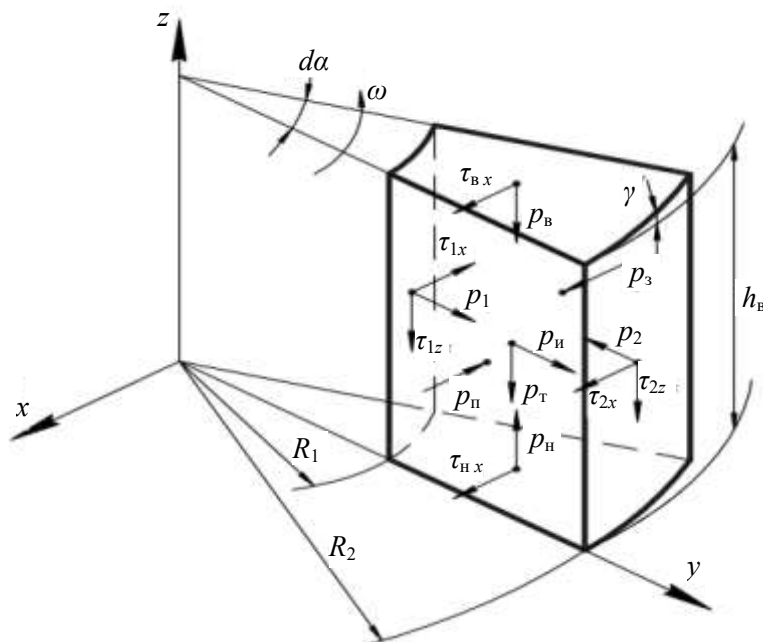


Рисунок - К составлению уравнений равновесия элементарного объема породы

При составлении этих уравнений принято, что в установившемся режиме движения отсутствуют радиальное и вертикальное относительные перемещения частиц внутри породы. Вследствие этого отсутствуют напряжения трения на передней и задней гранях элементарного объема и инерционные силы Кариолиса.

Входящие в систему уравнений (8) величины определим следующим образом (рисунок):

$$S_{\text{н}} = S_3 = h_{\text{в}} \cdot (R_2 - R_1), \quad (9)$$

$$\tau_1 = f_1 \cdot p_1; \quad \tau_2 = f_2 \cdot p_2, \quad (10)$$

где  $f_1, f_2$  – коэффициенты трения породы соответственно о поверхность става шнека и о стенку скважины.

$$\tau_{\text{н}} = f_1 \cdot p_{\text{н}}; \quad \tau_{\text{в}} = f_2 \cdot p_{\text{в}}; \quad (11)$$

$$dS_1 = h_{\text{в}} \cdot R_1 \cdot d\alpha; \quad dS_2 = h_{\text{в}} \cdot R_2 \cdot d\alpha; \quad (12)$$

$$dS_{\text{в}} = dS_{\text{н}} = \int_{R_1}^{R_2} r \cdot d\alpha \cdot dr = \frac{1}{2} (R_2^2 - R_1^2) d\alpha. \quad (13)$$

Для нахождения проекций напряжений трения на выбранные оси необходимо знать направления скоростей скольжения точек соответствующих поверхностей. Так как радиальные составляющие скоростей скольжения породы о шнек отсутствуют или очень незначительны, то:

$$\tau_{\text{в.х}} = \tau_{\text{в}} \cdot \cos \gamma_{\text{ср}}; \quad \tau_{\text{н.х}} = \tau_{\text{н}} \cdot \cos \gamma_{\text{ср}}, \quad (14)$$

где  $\gamma_{\text{ср}}$  – среднее значение угла подъема винтовой линии лопасти шнека, по которой движется порода.

Для нахождения этого угла определим основные кинематические параметры движения породы. Скорость скольжения породы о винтовую поверхность шнека в некоторой ее точке:

$$v_{\text{ск}} = \omega_{\text{шн}} \cdot r, \quad (15)$$

где  $\omega_{\text{шн}}$  – угловая скорость шнека относительно породы или наоборот;

$r$  – расстояние от оси вращения до точки винтовой поверхности, в которой определяется скорость скольжения  $R_1 \leq r \leq R_2$ .

За угловую скорость  $\omega_{\text{шн}}$  примем, как это принято в большинстве теорий транспортирующего шнека:

$$\omega_{\text{шн}} = \varphi \cdot \omega, \quad (16)$$

где  $\varphi$  – коэффициент пропорциональности (коэффициент скольжения, коэффициент циркуляции).

Тогда скорость скольжения в любой точке поверхности  $v_{\text{ск}} = \varphi \cdot \omega \cdot r$ , а среднее значение скорости скольжения для винтовых поверхностей элементарного объема породы:

$$v_{cp} = \frac{\int_0^Q v_{ck} dQ}{Q} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_{R_1}^{R_2} \varphi \cdot \omega \cdot r \cdot v_{oc} \cdot dr \cdot d\alpha}{v_{oc} \cdot \pi (R_2^2 - R_1^2)} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varphi \cdot \omega (R_2^3 - R_1^3)}{R_2^2 - R_1^2}, \quad (17)$$

где  $v_{oc} = const$  – скорость движения породы вдоль оси шнека.

Если в соответствии с (15) записать:

$$v_{ck\ cp} = \omega_{шн} \cdot r_{cp}, \quad (18)$$

то значение радиуса  $r_{cp}$ , на котором приложена равнодействующая напряжений трения на верхней и нижней винтовых поверхностях:

$$r_{cp} = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{R_2^2 - R_1^2}, \quad (19)$$

Средние значения скорости и радиуса скольжения определены из условия обеспечения производительности шнека при постоянном значении коэффициента  $\varphi$ . С учетом этого  $\cos \gamma_{cp}$  и  $\sin \gamma_{cp}$  соответственно равны:

$$\cos \gamma_{cp} = \frac{\varphi \cdot \omega \cdot v_{cp}}{\sqrt{v_{oc}^2 + \varphi^2 \cdot \omega^2 \cdot v_{cp}^2}}; \quad \sin \gamma_{cp} = \frac{v_{oc}}{\sqrt{v_{oc}^2 + \varphi^2 \cdot \omega^2 \cdot r_{cp}^2}}. \quad (20)$$

Для нахождения проекций напряжений трения на внутренней и наружной цилиндрических поверхностях элементарного тела на оси  $Ox$  и  $Oy$  необходимо определить углы между направлениями скоростей скольжения и этими осями координат:

$$\cos \gamma_2 = \frac{v_{2x}}{\sqrt{v_{2x}^2 + v_{2z}^2}}, \quad \cos \gamma_1 = \frac{v_{1x}}{\sqrt{v_{1z}^2 + v_{1x}^2}}. \quad (21)$$

Входящие в эти выражения проекции скоростей определяются следующим образом:

$$v_{1x} = \varphi \cdot \omega \cdot R_1; \quad v_{2x} = (1 - \varphi) \cdot \omega \cdot R_2; \quad v_{1z} = v_{2z} = \frac{h_b}{2\pi} \varphi \cdot \omega. \quad (22)$$

Действующие на винтовую поверхность лопасти шнека и на стенку скважины давления пропорциональны массе элементарного объема породы:

$$dm = \rho \cdot dV = \frac{1}{2} \rho \cdot h_b \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot d\alpha, \quad (23)$$

где  $\rho$  – плотность транспортируемой породы.

Давление от действия сил тяжести:

$$p_{\tau} = \frac{g \cdot dm}{dS_H} = \rho \cdot g \cdot h_b; \quad (24)$$



- сил инерции:

$$p_{\text{и}} = \frac{dp_{\text{и}}}{dS_2}, \quad (25)$$

где  $dp_{\text{и}}$  – дифференциал распределенной силы инерции:

$$dp_{\text{и}} = dm \cdot \omega_{\text{и}}^2 \cdot r_{\text{ср}}, \quad (26)$$

где  $\omega_{\text{и}} = (1 - \varphi) \cdot \omega$  – угловая скорость породы.

С учетом значений  $r_{\text{ср}}$  и  $dS_2$  имеем:

$$P_{\text{и}} = \frac{1}{3} \rho \cdot \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2} (1 - \varphi)^2 \cdot \omega^2. \quad (27)$$

Путем подстановки полученных соотношений для давлений и напряжений трения в систему уравнений (8) и интегрирования последних по углу  $\alpha$  в пределах от нуля до  $2\pi$ , т.е. распространив условия равновесия на один виток породы, получим следующие уравнения равновесия:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_2 = p_1 \frac{R_1}{R_2} + p_{\text{и}}; \\ p_{\text{и}} = p_{\text{в}} + p_{\text{т}} + f_2 \cdot p_2 \frac{2h_{\text{в}} \cdot R_2}{R_2^2 - R_1^2} + f_1 \cdot p_1 \frac{2h_{\text{в}} \cdot R_1}{R_2^2 - R_1^2}; \\ p_3 = p_{\text{и}} - 2\pi \left( f_2 \cdot p_2 \frac{R_2}{R_2 - R_1} \cos \gamma_2 - f_1 \cdot p_1 \frac{R_2}{R_2 - R_1} \cos \gamma_1 - f_1 (p_{\text{и}} + p_{\text{в}}) \cos \gamma_{\text{ср}} \frac{R_1 + R_2}{2h_{\text{в}}} \right). \end{array} \right. \quad (28)$$

Эти уравнения дают возможность определить напряжения на всех поверхностях витка породы, поднимаемого вверх транспортирующим шнеком. Уравнения легко распространяются на весь шнек путем последовательного их применения для всех витков, начиная с верхнего.

Возвращаясь к поставленной задаче (1), определим затраты мощности на транспортирование породы шнеком. Входящий в выражение (7) суммарный момент трения всех витков транспортирующей части шнека о породу:

$$M_{\text{тр}} = \sum_1^n M_{\text{три}}, \quad (29)$$

где  $M_{\text{три}}$  – момент силы трения  $i$ -го витка шнека о породу;

$n = h/h_{\text{в}}$  – число витков шнека, участвующих в транспортировании породы;

$h$  – текущее значение глубины скважины.

Значения момента  $M_{\text{три}}$  изменяются по глубине скважины по причине изменения физических свойств породы. В общем случае момент  $M_{\text{три}}$  может быть вычислен по формуле:

$$M_{\text{тpи}}(h) = \frac{2\pi}{3} f_i \cdot (p_{\text{вн}} + p_{\text{вн}}) \cdot (R_2^3 - R_1^3) + 2\pi \cdot f_i \cdot p_{\text{ли}} \cdot h_{\text{в}} \cdot R_1^2, \quad (30)$$

где  $p_{\text{вн}}$ ,  $p_{\text{вн}}$ ,  $p_{\text{ли}}$  – давления, определяемые из решения уравнений (28).

Затраты мощности на осевую подачу инструмента на забой:

$$N_3(h) = P_{\text{ос}} \cdot v_{\text{п}}, \quad (31)$$

где  $P_{\text{ос}}$  – осевое усилие, необходимое для обеспечения максимально допустимой скорости подачи  $v_{\text{п}}$  инструмента на забой.

Это усилие находится из условия равновесия инструмента в вертикальной плоскости:

$$P_{\text{ос}} = P_{\text{п}} + T_z - (m_{\text{ш}} + m_{\text{п}}) \cdot g, \quad (32)$$

где  $m_{\text{ш}}$  – масса бурильной колонны;

$m_{\text{п}}$  – текущая масса породы в шнеке;

$P_{\text{п}}$  – сопротивления породы подаче долота на забое скважины;

$T_z$  – вертикальная составляющая силы трения породы о стенки скважины.

Массу бурильной колонны и текущую массу поднимаемой шнеком породы определим через их погонные массы:

$$m_{\text{ш}} = q_{\text{ш}} \cdot h; \quad m_{\text{п}} = \rho_{\text{п}} \frac{k_{\text{в}}}{k_{\text{п}}} (R_2^2 - R_1^2) \cdot h, \quad (33)$$

где  $q_{\text{ш}}$  – погонная масса шнека;

$h$  – текущая длина бурильной колонны в скважине;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность породы в массиве;

$k_{\text{в}}$  – коэффициент заполнения объема шнека породой;

$k_{\text{п}}$  – коэффициент разрыхления породы.

Осевое усилие подачи определим на основании эквивалентной силы резания и радиуса ее приложения [5]:

$$P_{\text{п}} = k_{\text{п}} \frac{2e \cdot Q}{\omega \sqrt{R_1^2 + R_2^2}}, \quad (34)$$

где  $k_{\text{п}}$  – коэффициент пропорциональности.

Вертикальная составляющая силы трения породы о стенки скважины:

$$T_z = f_2 \cdot p_2 \cdot 2\pi \cdot R_2 \cdot h \cdot \sin \gamma = 2\pi \cdot f_2 \cdot p_2 \cdot R_2 \cdot h \frac{\varphi \cdot h_{\text{в}}}{\sqrt{2\pi(1-\varphi)^2 + \varphi^2 \cdot h_{\text{в}}^2}}. \quad (35)$$

### Заключение

Сформированные функциональные зависимости по определению затрат мощности в шнековом бурении получены на основе применения модели трения Амонтона–Кулона. В совокупности они позволяют находить для установившегося режима шнекового бурения энергетические, силовые и кинематические параметры рабочего процесса в зависимости от конструктивных и режимных параметров бурового оборудования и физико-механических свойств породы. Основываясь на полученных зависимостях, представляется возможность разрабатывать методики и алгоритмы расчета оптимальных режимов процесса шнекового бурения. При формировании замкнутой математической модели рабочего процесса шнекового бурения дополнительно должны быть учтены ограничения, вытекающие из условия необходимости соблюдения материального баланса по производительности долота и транспортирующего шнека. Формированию этих ограничений, разработке модели рабочего процесса и методике расчета оптимальных режимов бурения посвящена вторая часть настоящего исследования.

### Список использованных источников

1. Шамшев, Ф.А. Основы разведочного бурения / Ф.А. Шамшев. – Л.: Недра, 1971. – 196 с.
2. Кардыш, В.Г. Бурение неглубоких скважин / В.Г. Кардыш, Б.В. Мурзаков, А.С. Окмянский. – М.: Недра, 1971. – 240 с.
3. Башкатов, Д.Н. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин / Д.Н. Башкатов, Ю.А. Олоновский. – М.: Недра, 1968. – 192 с.
4. Солод, В.И. Горные машины и автоматизированные комплексы / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Первов. – М.: Недра, 1981. – 503 с.
5. Казаченко, Г.В. Число резцов в линии резания и неравномерность силы резания / Г.В. Казаченко // Горная механика. – 2007. – № 3. – С. 45-50.

---

**Kazachenko G.V., Nagorsky A.V., Basalai G.A.**

### **Phenomenology of auger drilling. Part 1. Design of numerical scheme of work process in steady-state of drilling**

*The paper considers theoretical study of auger drilling work process for the purpose of substantiation of optimum relationship between design parameters and performance characteristic of drilling equipment that provide maximum possible mechanical drilling speed in particular geological and technical conditions. The numerical scheme of auger drilling work process is based on the law of imperative validity of two balance interrelations, i.e. material balance by volume of rock broken with a boring cutter and transported by an auger and power balance between drill unit's installed capacity and power needed for all hole boring operations. The article's part 1 states a numerical scheme of interrelation of a drill stem and rock in a cased hole.*

Поступила в редакцию 10.08.2012 г.

УДК 629.331

## ОСОБЕННОСТИ ОТВАЛООБРАЗОВАТЕЛЕЙ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Казаченко Г.В., Басалай Г.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Неверовская Я.Б. (ОАО «Белгорхимпром», г. Минск, Беларусь), Ярмолинская А.А. (ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск, Беларусь)

*Отражены особенности отвалообразователей и представлены их математические модели в неподвижном относительно поверхности состоянии. Показано, как используются эти модели при расчетах статической устойчивости.*

### Введение

В настоящее время для образования отвалов, в которых складывается основная масса отходов, на предприятиях горноперерабатывающей промышленности [1, 2] наиболее широко используются полноповоротные отвалообразователи на шагающих движителях. Эти машины представляют собой сложные и массивные электромеханические системы, проектирование и расчет которых в большинстве случаев базируется на исследовании и решении уравнений их движения. Уравнения движения в зависимости от задач исследований и расчетов могут быть составлены различными способами и в различных формах [1]. Это в полной мере относится и к различным частям отвалообразователя. В настоящей работе рассматривается общая методика моделирования отвалообразователя как механической системы и исследуется равновесие базы машины.

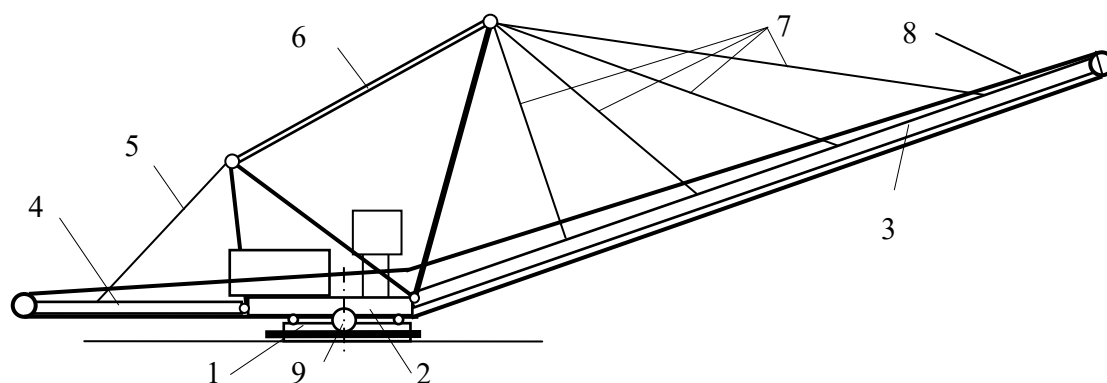
### Построение уравнений движения

При составлении уравнений движения рассматриваем отвалообразователь (рисунки 1) как динамическую систему, состоящую из следующих частей:

- база (абсолютно жесткое тело);
- поворотная платформа (абсолютно жесткое тело);
- отвальная консоль (деформируемая сложная механическая система);
- приемная консоль (часть платформы);
- канаты, ванты (элементы, связывающие между собой основные части);
- конвейер (ленточный транспортер, установленный на приемной и отвальной консолях, а также на поворотной платформе);
- механизм шагания.

За основную часть системы выберем базу, а движение остальных частей рассматриваем относительно нее. Таким образом, сначала необходимо рассмотреть движение базы.

Опорная база отвалообразователя воспринимает все нагрузки, действующие на него и передает их на опорную поверхность. При стационарном режиме работы конвейера эти нагрузки включают силы тяжести, ветровую нагрузку, а также нагрузки, возникающие вследствие движения горной массы, находящейся на конвейере. Под действием их, как показывает опыт, база совершает малые движения относительно начального положения.



1 – база; 2 – поворотная платформа; 3 – отвальная консоль; 4 – приемная консоль;  
5 – подвес приемной консоли; 6 – подвес стрелы (отвальной консоли); 7 – ванты стрелы;  
8 – конвейер; 9 – механизм шагания

**Рисунок 1 – Схема отвалообразователя**

Для изучения таких движений составим их уравнения в форме Аппеля:

$$\frac{\partial S}{\partial \omega_i} = P_i, \quad (1)$$

где  $S$  – энергия ускорений;

$\omega_i$  – квазискорости;

$P_i$  – обобщенные силы, соответствующие выбранным квазискоростям;

$i = 1, 2, \dots, n$ ;

$n$  – число степеней свободы.

Чтобы получить эти уравнения, необходимо выбрать квазискорости и определить  $P_i$ . Для получения достаточно простых выражений энергии ускорений и обобщенных сил, возможности анализа уравнений движения и получения в отдельных случаях аналитических решений примем ряд допущений, которые не противоречат условиям задач, решаемых в работе:

- база находится на малодеформируемой поверхности;
- трение между базой и опорной поверхностью изотропно, а коэффициент трения - величина постоянная;
- упругие силы, действующие на базу, линейно зависят от деформации поверхности;
- внешние нагрузки считаем заданными.

Конфигурация базы определяется тремя координатами центра масс и тремя углами Эйлера, определяющими ее сферические движения. Для определения углов Эйлера введем систему координат  $OX'YZ'$ , центр которой перемещается вместе с центром масс базы, а оси остаются параллельными осям неподвижной системы координат  $OXYZ$  и подвижный триэдр  $Oxuz$ . Оси триэдра  $Oxuz$  расположим следующим образом:  $Ox$  – перпендикулярно оси конвейера;  $Oy$  – вдоль по ходу конвейера, параллельно опорной плоскости;  $Oz$  – перпендикулярно плоскости  $Oxu$  вверх. Углы  $\psi, \theta, \varphi$  введем подобно углам, взятым академиком А.Н. Крыловым [3] для определения ориентации корабля в пространстве, и позволившим получить достаточно простые уравнения качки корабля. Определение этих углов произведем по способу, изложенному проф. А.И. Лу-

рье. Для этого назначим (рисунок 2) основные оси  $OZ'$  и  $Ox$ , основные плоскости  $X'OY' \cdot zOY$  и построим два вспомогательных триэдра: полунеподвижный  $k, n, i$  и полуподвижный  $i'_1, n, n'$ . Тогда искомые углы  $\psi, \theta, \varphi$  определяются так, как это показано на рисунке 2. Эти углы называются соответственно углами рысканья, поперечного и продольного крена. Таблицу косинусов между осями  $OXY'Z'$  и подвижными осями  $Oxyz$  определим произведением трех матриц, осуществляющих последовательно повороты вокруг оси  $OZ'$  на угол  $\psi$ , вокруг линии узлов  $On$  на угол  $\theta$ , вокруг оси  $Ox$  на угол  $\varphi$ . Эти матрицы, которые обозначим соответственно  $a_\psi, a_\theta$  и  $a_\varphi$ , имеют вид:

$$\alpha_\psi = \begin{vmatrix} X' & Y' & Z' \\ \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} k \\ n \\ i_3 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

$$\alpha_\theta = \begin{vmatrix} k & n & i_3 \\ \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{vmatrix} \begin{vmatrix} i'_1 \\ n \\ n' \end{vmatrix}, \quad (3)$$

$$\alpha_\varphi = \begin{vmatrix} i'_1 & n & n' \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} i'_1 \\ i'_2 \\ i'_3 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

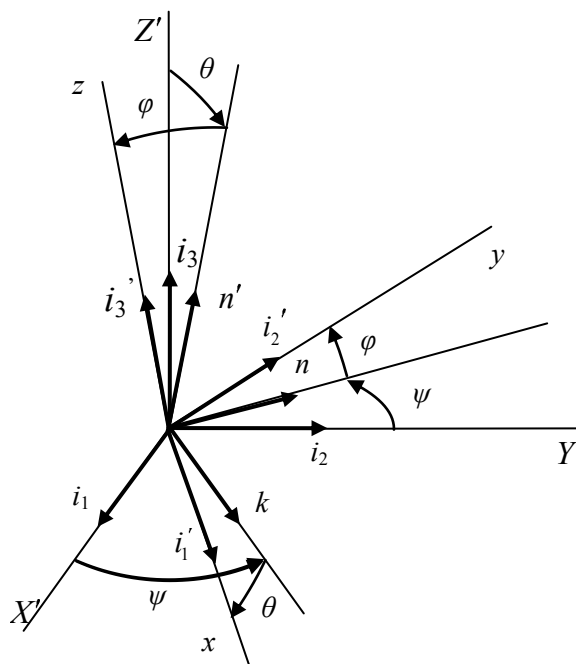


Рисунок 1 – Ориентация подвижных осей

Матрица, осуществляющая перевод триэдра  $OX'Y'Z'$  к триэдру  $Oxyz$ .

Произведя умножение, находим матрицу направляющих косинусов между подвижными и неподвижными осями:

$$A = \begin{vmatrix} X & Y & Z \\ \cos\theta \cdot \cos\psi & \cos\theta \cdot \sin\psi & -\sin\theta \\ \cos\psi \cdot \sin\varphi \cdot \sin\theta - \cos\varphi \cdot \sin\psi & \sin\psi \cdot \sin\theta \cdot \sin\theta + \cos\varphi \cdot \cos\psi & \sin\varphi \cdot \cos\theta \\ \cos\varphi \cdot \sin\theta \cdot \cos\psi + \sin\varphi \cdot \sin\psi & \cos\varphi \cdot \sin\theta \cdot \sin\psi - \sin\varphi \cdot \cos\psi & \cos\varphi \cdot \cos\theta \end{vmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}. \quad (5)$$

Так как в стационарном режиме база совершает повороты на малодеформируемой поверхности, то углы  $\psi$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$  малы.

Для малых углов  $\psi$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$  справедливы приближенные равенства  $\sin\phi \approx \phi$ ,  $\sin\varphi \approx \varphi$ ,  $\sin\theta \approx \theta$  и  $\cos\phi \approx \cos\theta \approx \cos\varphi \approx 1$ . Учитывая эти соотношения и пренебрегая членами, содержащими произведения малых величин, получаем приближенную таблицу направляющих косинусов:

$$\alpha = \begin{vmatrix} X & Y & Z \\ 1 & \psi & -\theta \\ -\psi & 1 & \varphi \\ \theta & -\varphi & 1 \end{vmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}. \quad (6)$$

Декартовы координаты любой точки базы теперь определяются по известным формулам:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + x - y \cdot \psi + z \cdot \theta; \\ Y &= Y_0 + x \cdot \psi + y - z \cdot \varphi; \\ Z &= Z_0 - x \cdot \theta + y \cdot \varphi + z, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – координаты этой точки в подвижной системе осей.

При составлении уравнений движения в формах с выражением основных динамических характеристик системы через квазискорости в качестве последних для систем, состоящих из твердых тел, чаще всего выбирают проекции скорости центра масс на подвижные оси и проекции угловой скорости на те же оси. Такой выбор оказывается весьма удачным, если можно разделить кинематические и динамические уравнения. Однако в ряде случаев для упрощения правых частей уравнений движения выгоднее в качестве квазискоростей выбирать проекции скоростей системы на направления, по которым действуют внешние силы. Так как эти силы при движении базы по опорной поверхности удобнее всего проектировать на направления, задаваемые триэдром  $Okni_3$ , то выберем в качестве квазискоростей, характеризующих движение центра масс базы, проекции его скорости на эти направления. Обозначая их соответственно  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  и используя (2), (7), находим:

$$\begin{aligned} \omega_1 = v_{ок} &= \dot{X}_0 + \dot{Y}_0 \cdot \psi; \\ \omega_2 = v_{он} &= \dot{Y}_0 - \dot{X}_0 \cdot \psi; \\ \omega_3 = v_{оз} &= \dot{Z}_0. \end{aligned} \quad (8)$$

Легко убедиться, что если пренебречь влиянием угловых деформаций базы в контакте с опорной поверхностью на вертикальную координату центра масс и считать вертикальную нагрузку на базу постоянной, то  $\omega_1 = v_{ox}$ ,  $\omega_2 = v_{oy}$ ,  $\omega_3 = 0$ .

Это следует из того, что в этом случае  $Z'_0 = 0$  и приведенные приближенные равенства следуют из (7). В качестве квазискоростей, описывающих сферическое движение базы, возьмем проекции ее угловой скорости на подвижные оси. Запишем выражение угловой скорости через обобщенные скорости:

$$\bar{\omega} = i_3 \cdot \dot{\varphi} + n \cdot \dot{\theta} + i_1' \cdot \dot{\psi} \quad (9)$$

и спроектируем это равенство на направления подвижных осей:

$$\begin{aligned} \omega_x &= \bar{\omega} \cdot i_1'; \\ \omega_y &= \bar{\omega} \cdot i_2'; \\ \omega_z &= \bar{\omega} \cdot i_3'. \end{aligned} \quad (10)$$

Обращаясь к (2-5), получаем:

$$\begin{aligned} \omega_x &= -\sin \theta \cdot \dot{\psi} + \dot{\varphi}; \\ \omega_y &= \sin \varphi \cdot \cos \theta \dot{\psi} + \sin \varphi \cdot \dot{\theta}; \\ \omega_z &= \cos \varphi \cdot \cos \theta \cdot \dot{\psi} - \sin \varphi \cdot \dot{\theta} \end{aligned} \quad (11)$$

или с учетом малости углов  $\psi$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ :

$$\begin{aligned} \omega_x &= -\theta \cdot \dot{\psi} + \dot{\varphi}; \\ \omega_y &= \varphi \cdot \dot{\psi} + \dot{\theta}; \\ \omega_z &= \dot{\psi} - \varphi \cdot \dot{\theta}. \end{aligned} \quad (12)$$

Преобразование обобщенных скоростей в квазискорости и наоборот представим в матричной форме, обозначив предварительно обобщенные координаты:

$$q_1 = X_0, \quad q_2 = Y_0, \quad q_3 = Z_0, \quad q_4 = \psi, \quad q_5 = \theta, \quad q_6 = \varphi.$$

Тогда матрица прямого преобразования:

$$b = \begin{pmatrix} \dot{q}_1 & \dot{q}_2 & \dot{q}_3 & \dot{q}_4 & \dot{q}_5 & \dot{q}_6 \\ \cos \psi & \sin \psi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \varphi & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\theta & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ \omega_5 \\ \omega_6 \end{pmatrix}. \quad (13)$$



Обратного:

$$b^{-1} = \begin{matrix} \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 & \omega_4 & \omega_5 & \omega_6 \\ \left\| \begin{array}{cccccc} \cos \psi & -\sin \psi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\varphi & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\theta & 0 & 1 \end{array} \right\| \begin{array}{l} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \\ \dot{q}_5 \\ \dot{q}_6 \end{array} \end{matrix} \quad (14)$$

Таким образом, определены квазискорости базы для различных режимов движения базы. Одним из таких режимов является стационарное положение. В этом положении отвалообразователь работает большую часть рабочего времени. Если к тому же он не поворачивается вокруг оси  $Oz$ , т.е.  $\psi = 0$ , то база находится в равновесии под действием вертикальной нагрузки и реакции опорной поверхности. Условия ее равновесия в этом случае можно записать в виде:

$$\iint_F p dF = P_z ; \quad (15)$$

$$\iint_F p \cdot \sqrt{x^2 + y^2} dF = P_z \cdot r_d ,$$

где  $p$  – давление под опорной базой;

$P_z$  – нормальная к опорной поверхности нагрузка, передаваемая со стороны базы;

$F$  – опорная площадь базы;

$r_d$  – радиус центра давления.

При этом базу можно рассматривать как круглый стержень при внецентренном сжатии. Давление под базой распределяется по закону:

$$p = \frac{P_z}{F} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} , \quad (16)$$

где  $M_x$  и  $M_y$  – моменты внешних нагрузок относительно соответствующих осей  $Ox$  и  $Oy$ ;

$W_x$  и  $W_y$  – моменты сопротивления опорной площади относительно тех же осей.

Как известно [4], одним из критериев статической устойчивости машин в таких случаях можно считать положение центра давления относительно ядра сечения опорной площади. Для круглой опорной площади ядро сечения [5] – круг радиусом:

$$r_{я} = D/8 , \quad (17)$$

где  $D$  – диаметр базы.

Представляет интерес рассмотрение других конструктивных форм опорной базы, прежде всего, ввиду необходимости полной симметрии, форму кольца. Определим размеры ядра сечения в этом случае.

Моменты внешних нагрузок можно определить через координаты центра давления:

$$M_x = P_z \cdot y_d, \quad M_y = P_z \cdot x_d, \quad (18)$$

где  $x_d$  и  $y_d$  – координаты центра давления опорной площади.

Причем радиус положения центра давления:

$$r_d = \sqrt{x_d^2 + y_d^2}. \quad (19)$$

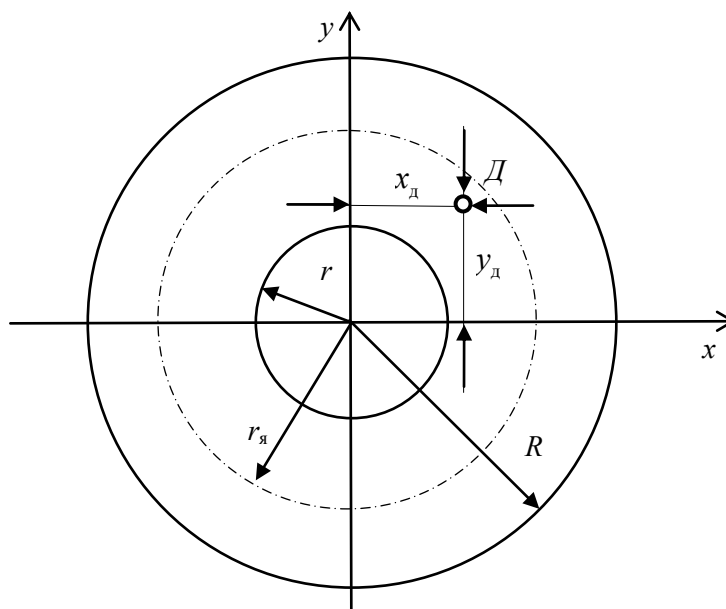


Рисунок 3 – Ядро сечения кольцевой базы

Давление в этом случае распределено по закону:

$$p = P_z \left( \frac{1}{F} \pm \frac{y_d}{W_x} \pm \frac{x_d}{W_y} \right). \quad (20)$$

Для того, чтобы полностью использовать опорную поверхность базы, необходимо выполнение условия:

$$p_{\min} \geq 0. \quad (21)$$

В предельном положении центра давления, обеспечивающем выполнение этого условия, имеем приравняв нулю левую часть (20):

$$0 = \frac{1}{F} - \frac{y_{d \max}}{W_x} - \frac{x_{d \max}}{W_y}, \quad (22)$$

где  $x_{д\max}$  и  $y_{д\max}$  – координаты границы ядра сечения.

Если центр давления смещается вдоль оси  $Oy$ , что не нарушает общности результата, то имеем уравнение для определения радиуса ядра сечения:

$$\frac{1}{F} = \frac{r_я}{W_y}, \quad (23)$$

или

$$r_я = \frac{W_y}{F}. \quad (24)$$

Для кольцевой базы:

$$W_y = \frac{\pi}{4 \cdot R} (R^4 - r^4); \quad (25)$$

$$F = \pi(R^2 - r^2),$$

где  $R$  и  $r$  – соответственно наружный и внутренний радиусы кольца.

Подставив это выражение в (24) получим:

$$r_я = \frac{R^2 + r^2}{4 \cdot R} = \frac{R}{4} (1 + C^2), \quad (26)$$

где  $C = \frac{r}{R}$ .

Таким образом, использование опорной базы в форме кольца увеличивает радиус ядра сечения, а значит, повышает устойчивость отвалообразователя.

При этом необходимо обеспечить значение среднего давления на опорную поверхность не большее, чем дает база в форме круга. Это требование при равной массе отвалообразователей выражается соотношением:

$$R = \frac{R_{кр}}{1 - C^2}, \quad (27)$$

где  $R$  – радиус круговой базы.

Для выбора радиусов кольцевой базы необходимо использовать в качестве необходимых условий соотношения (26) и (27). Эти условия не являются единственными. Так, например, можно потребовать равной материалоемкости и прочности обеих баз. Эти вопросы выходят за рамки настоящего исследования и требуют дальнейшего исследования.

### Заключение

Рассмотренные в работе вопросы позволяют разрабатывать достаточно подробные модели отвалообразователей и совершенствовать их конструкции. В частности, исследована на статическую устойчивость база кольцевой формы, которая в этом смысле превосходит традиционную базу в форме круга.

---

**Список цитируемых источников**

1. **Волков, Д.П.** Динамика и прочность многоковшовых экскаваторов и отвалообразователей / Д.П. Волков, В.А. Черкасов. – М.: Машиностроение, 1969. – 408 с.
  2. **Падерни, Р.Ю.** Горные машины / Р.Ю. Падерни. – М.: Недра, 1980. – 390 с.
  3. **Казаченко, Г.В.** Определение пространственной ориентации горных машин / Г.В. Казаченко // Горная механика. – 2007. – № 4. – С. 85-89.
  4. **Опейко, Ф.А.** Торфяные машины // Ф.А. Опейко. – Минск: Вышэйшая школа, 1968. – 408 с.
  5. **Рудицын, М.Н.** Справочное пособие по сопротивлению материалов / М.Н. Рудицын, П.Я. Артемов, М.И. Любошиц. – Минск: Вышэйшая школа, 1970. – 638 с.
- 

**Kazachenko G.V., Basalai G.A., Neverovskaya Y.V., Yarmolinskaya A.A.**

**Characteristics of stacking trailing conveyors and results of analyses of their steady-state stability**

*Characteristics of stacking trailing conveyors are described and their numerical schemes at rest apparent surface are given. The numerical schemes' application by calculation of static stability is described.*

Поступила в редакцию 21.08.2012 г.

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

УДК 541.64.539.3

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ И ДИСПЕРСНЫХ РЕЗИН**

Лапшина Е.М., Шаповалов В.М. (ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель, Беларусь), Тартаковский З.Л. (Институт инженерных материалов Западно-Померанского технологического университета, г. Щецин, Польша), Ахмадиева Л.В. (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь)

*Изучен процесс формирования композиционных материалов на основе полиолефинов и дисперсных резин, полученных в результате измельчения резинотехнических изделий. Показано, что прочностные свойства композиций определяются адгезионным взаимодействием компонентов на границе раздела фаз. Исследовано влияние температурных режимов переработки, а также эффективность введения модификаторов на прочностные характеристики композиционных материалов.*

**Введение**

Одним из перспективных направлений практического применения отходов полимерной и резинотехнической промышленности является получение на их основе новых композиционных материалов. Главной проблемой для таких материалов является стабильность их прочностных показателей, что во многом обеспечивается формированием прочного адгезионного взаимодействия между компонентами в материале [1-3]. Использование порошков измельченной резины в качестве эластичного компонента позволяет в значительной мере исключить влияние морфологических факторов на свойства композиций, так как в процессе переработки практически не наблюдается дополнительное разрушение частиц наполнителя. При этом немаловажно равномерное распределение такого рода наполнителя в композите, обеспечивающее в нем реализацию процессов релаксации напряжений. В то же время высокая удельная поверхность частиц резины препятствует равномерному распределению полимерного связующего в композите, что создает в нем дополнительные концентраторы напряжений и приводит к ухудшению межфазных контактов. Для устранения этого недостатка в материалы вводят модифицирующие добавки, способствующие повышению их прочностных свойств [4-8].

Поэтому исследование влияния новых модифицирующих добавок на изменение технологических и физико-механических свойств композиционных материалов, содержащих дисперсную резину и термопластичный полимер, представляет собой актуальную задачу.

**Методика исследования**

В работе были использованы измельченные отходы резины (ДР), полученные в результате дробления резинотехнических изделий различной природы на основе нитрильного (СКН), изопренового (СКИ), метилстирольного (СКМС), бутилового (БК) и этиленпропиленового (СКЭПТ) каучуков.

Выбор полиэтилена в качестве связующего вызван относительно невысокой температурой его переработки, что практически позволяет избежать деструкцию вул-

канизатов. Для получения композитов были использованы первичный ПЭВД и измельченные отходы ПЭВД марки 16807-070 с размером частиц 3-6 мм и дисперсная резина (ДР) с размером частиц 0,2-2 мм. Композиционный материал на основе термопластичной матрицы (отходы ПЭВД) и ДР получали путем гомогенизации на одношнековом лабораторном экструзиографе НААКЕ RHEOCORD'90 с последующей грануляцией. Из гранулята были изготовлены образцы для испытаний. В качестве компатибилизаторов использованы сополимер этилена и винилацетата (СЭВА), малеиновый ангидрит (МАН), термоэластопласт (ДСТ-30), перекись дикумила. Исследование деформационно-прочностных характеристик композитов проводили на испытательном стенде ComTen 94С со скоростью деформирования 20 мм/мин. Перерабатываемость композитов оценивали посредством измерения крутящего момента ( $M_{кр}$ ) на компьютеризированном реометре НААКЕ RHEOCORD 90. Дифференциально-термический анализ проводили на дериватографе ОД – 102, Q – 1500. Изменения структуры композитов исследовали с помощью электронного микроскопа JSM-50А.

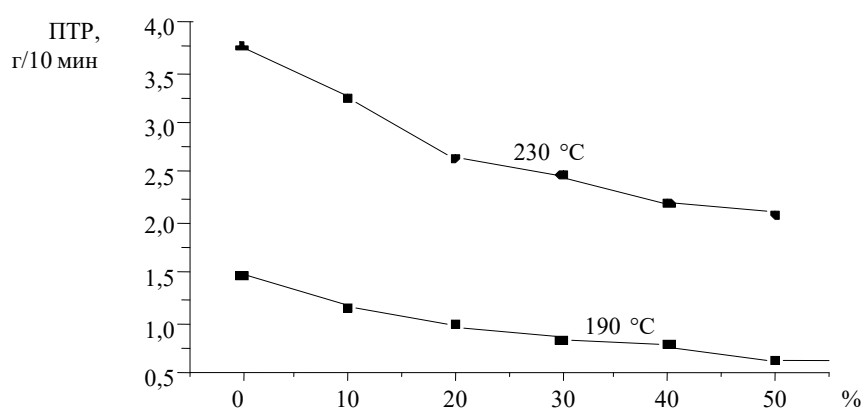
### Результаты исследований

Анализ механических свойств композитов с разным содержанием резины (таблица) показывает, что их прочность с увеличением содержания дисперсной резины в композите монотонно снижается. В то же время относительное удлинение образцов, содержащих 40 и 50 мас. % ДР, практически одинаково, что свидетельствует о возрастании деформационной составляющей композитной системы за счет более высокой эластичности материала. Еще более сильно возрастает (на 30-90 %) относительное удлинение при модифицировании дисперсной резины СЭВА и ДСТ-30. При этом в случае с ДСТ-30 возрастает и прочность при растяжении (на 10-15 %). Обработка дисперсной резины СЭВА улучшает только относительное удлинение. С повышением содержания наполнителя в композите наблюдается также снижение его ПТР (рисунок 1), что объясняется повышением объемной поверхности наполнителя в композите, способствующей возрастанию его вязкостных характеристик.

Таблица – Физико-механические свойства композитов на основе отходов ПЭВД и дисперсной резины

Состав композита				$\sigma$ , МПа	$\varepsilon$ , %
Дисперсная резина	ПЭВД (отходы)	СЭВА	ДСТ-30		
30	70	-	-	10	99
30	60	10	-	9,5	104
**30	59,5	-	10	11,7	150
**30	59,5	10	-	10,5	110
30	60	-	10	9,0	100
40	60	-	-	8,69	70
40	50	10	-	8,82	93
40	50	-	10	9,38	95
40	40	20	-	8,92	108
40	40	-	20	10	110
40	40	10	10	8,48	115
50	50	-	-	8,0	68
50	30	20	-	7,69	96
50	30	-	20	8,6	130
50	30	10	10	5,1	140

Примечание: \*\* – композиция с перекисью дикумила в количестве 0,5 мас. %



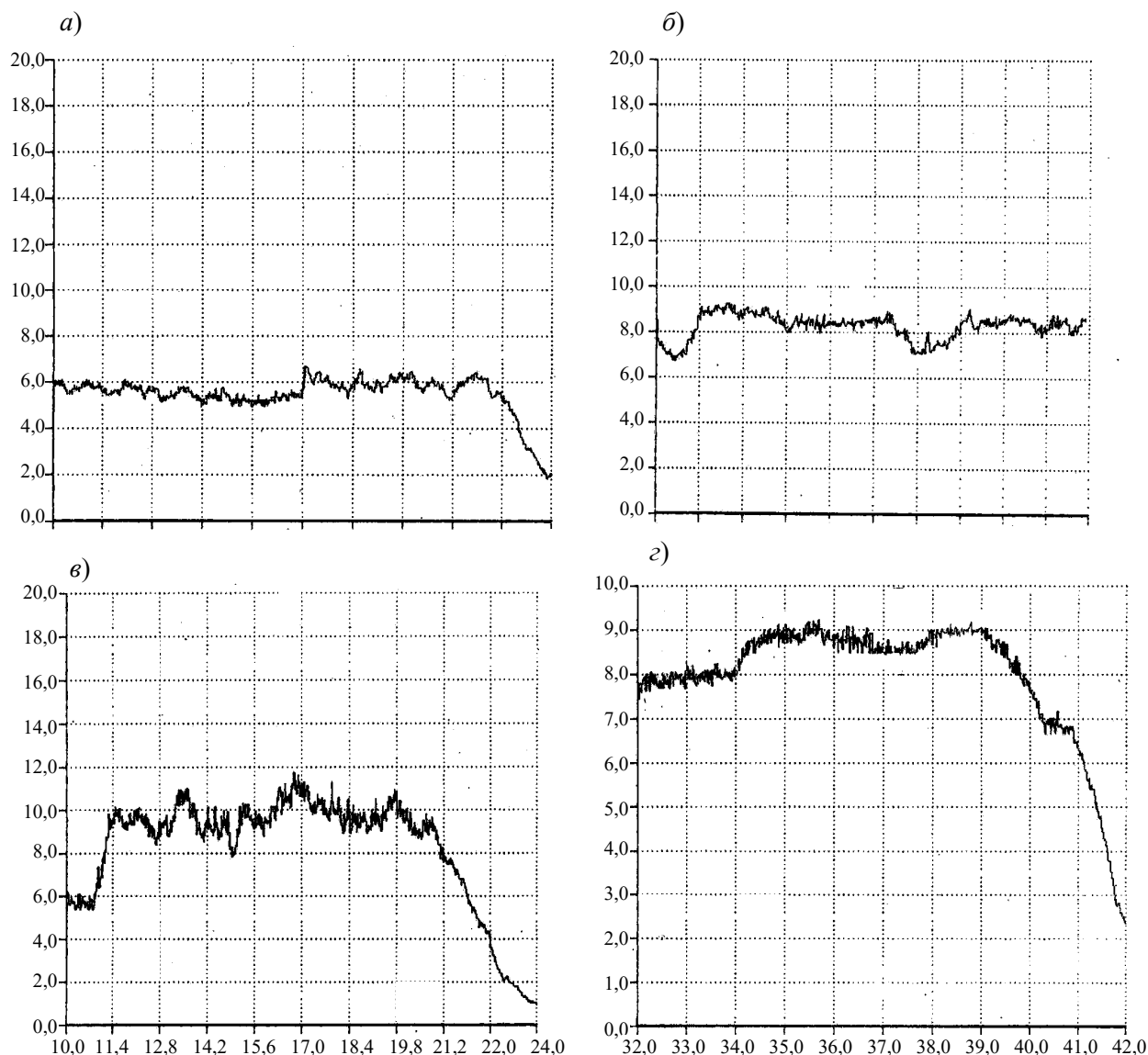
**Рисунок 1 – Изменение ПТР композитов на основе ПЭВД от содержания дисперсной резины**

Модифицирующее действие СЭВА, по-видимому, обусловлено наличием винилацетатных групп, взаимодействующих с частицами резинового наполнителя. Этому способствует также формирование более развитой поверхности частиц резины при их измельчении, что обеспечивает возрастание энергетических параметров ДР. Однако при этом снижается когезионная прочность полимерной матрицы. Об этом свидетельствует характер адгезионного разрушения в системе ПЭ + СЭВА + резина, где разрыв наблюдается не в месте склейки, а непосредственно по материалу. Характер разрушения в системе ПЭВД+ДСТ-30 и резина носит в зоне контакта смешанный характер, что указывает на большую совместимость ДСТ-30 как с резиной, так и с ПЭВД в сравнении с СЭВА.

Введение в композицию сшивающего агента (перекись дикумила) позволяет повысить прочность и относительное удлинение при разрыве, в особенности для образцов с ДСТ-30. Улучшение прочностных свойств резинопласта связано как с процессом сшивки ПЭВД, так и с образованием химических связей на границе раздела фаз, что подтверждается разрывом материала не по границе раздела, а по материалу полимерной матрицы. На это указывают данные ДТА и DTG – анализа, на которых видно смещение температуры термодеструкции в область более высоких температур в сравнении с исходным материалом (без сшивающего агента). Подобные изменения характера кривых обусловлены усилением посредством перекиси дикумила взаимодействия дисперсной резины с макромолекулами СЭВА и ДСТ-30 вследствие протекания на межфазных границах структурирующих процессов. Совместное применение в композите ПЭВД, СЭВА и ДСТ-30 приводит к резкому снижению прочности при растяжении, что можно объяснить их слабой совместимостью.

Отмечено также, что эффективность модифицирующих добавок наиболее сильно проявляется при степенях наполнения дисперсной резиной более 40 мас. %. Одновременно наблюдается улучшение перерабатываемости композитов по сравнению с базовыми (без модификатора), что подтверждается снижением крутящего момента на шнеке экструзиографа на 15-50 % (рисунок 2). При этом для композитов с перекисью дикумила  $M_{кр}$  имеет наибольшие значения, что также свидетельствует в пользу возрастания вязкостных характеристик расплава композита за счет структурирования полимерной матрицы.

При исследовании влияния температурных режимов переработки (рисунок 3) было показано, что при повышении температуры до 170 °C происходит увеличение, а в дальнейшем – понижение прочности композита.



*a* – СЭВА 10 мас. %; *б* – ДСТ-30 10 мас. %;

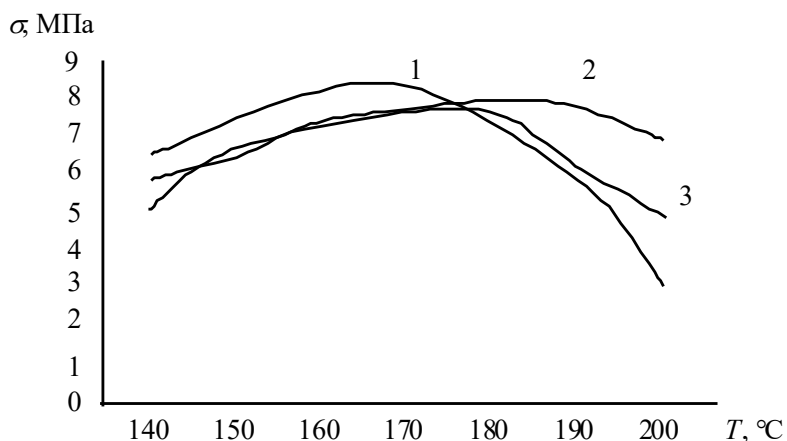
*в* – без модификаторов; *г* – СЭВА 10 мас. % и перекись дикумила 0,5 мас. %

**Рисунок 2 – Кинетические зависимости крутящего момента на шнеке экструзиографа при введении в композит модифицирующих добавок**

В первом случае это обусловлено образованием более прочных адгезионных и когезионных связей на границе раздела матрица – наполнитель, чему не в малой степени способствует равномерное распределение связующего в композите вследствие уменьшения его вязкостных характеристик. Во втором случае понижение прочности композита связано с термодеструкционными процессами в системе наполнитель – связующее.

По-видимому, для полимерных композитов, где наблюдается пониженное адгезионное взаимодействие резин с полимерной матрицей, образующееся межфазное расслоение способствует формированию концентраторов напряжений и появлению в композите дефектов. Напротив, хорошая адгезия к матрице позволяет избежать возникновения множества пор, вызывающих разрушение образца. Частицы резины, сохраняя идеальный контакт с матрицей вплоть до разрушения, вносят свой вклад в формирование физико-механических свойств материала.

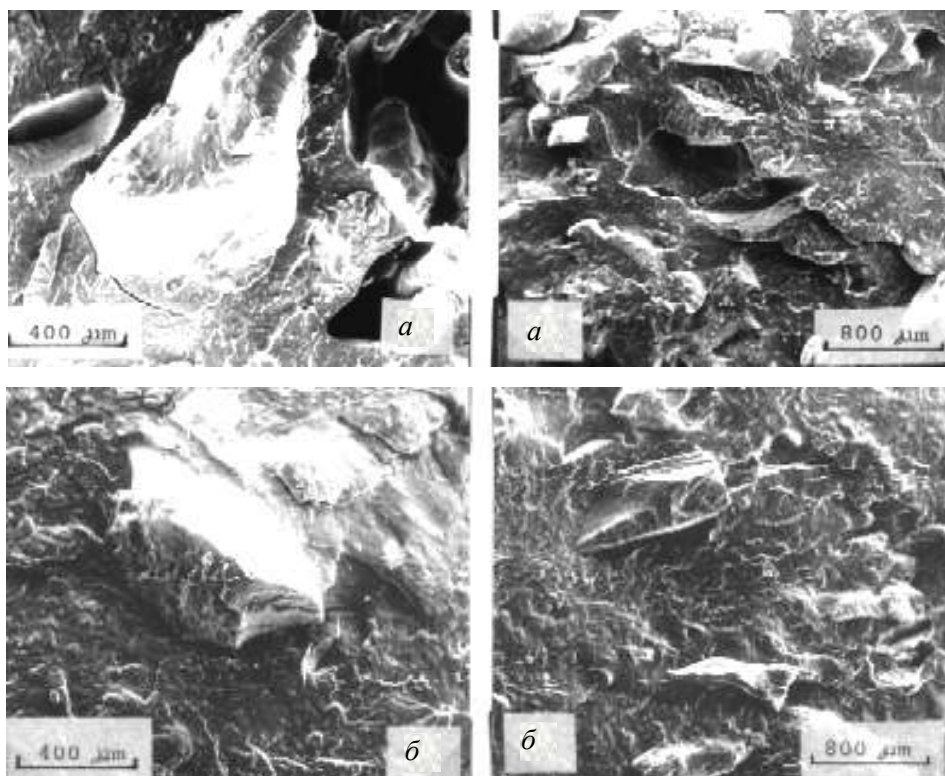




**Рисунок 3 – Зависимость прочности на разрыв композита с содержанием дисперсной резины 50 мас. % от температуры переработки, при следующем содержании модифицирующих добавок:  
1 – 20 % ДСТ-30; 2 – без модификатора; 3 – 20 % СЭВА**

С ростом содержания резинового порошка предельные деформации увеличиваются. При низком содержании эластомерной фазы определяющую роль, видимо, играет полиэтиленовая матрица, разрушение которой происходит в месте наибольшего перенапряжения вблизи низкомолекулярных частиц наполнителя.

Показано, что введение в материал МАН обеспечивает повышение его прочности при разрыве и ударной вязкости. Это обусловлено, как и в случае с другими компатибилизаторами, возрастанием адгезионного взаимодействия между полимерной матрицей и наполнителем, а также формированием более однородной структуры в композите (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Структура композитов на основе ПЭВД и 40 мас. % отходов резины: а – без компатибилизатора, б – с 5 мас. % компатибилизатора (МАН)**

### Заключение

Таким образом, модифицирование системы ПЭВД + дисперсная резина компатибилизаторами типа МАН, а также СЭВА и ДСТ-30 в сочетании с перекисными соединениями обеспечивает повышение показателей адгезионного взаимодействия в межфазных зонах композиционной системы, что позволяет улучшить деформационно-прочностные свойства исследуемых композитов.

### Список использованных источников

1. **Ошмян, В.Г.** Закономерности хрупкого разрушения дисперсно-наполненных композитов в различных условиях адгезионной связанности / В.Г. Ошмян // Механика композитных материалов. – 1992. – № 1. – С. 34.
2. **Шварц, А.Г.** Совмещение каучуков с пластиками и синтетическими смолами / А.Г. Шварц, Б.Н. Динзбург. – М.: Химия, 1972. – С. 11.
3. **Нестеров, А.Е.** Справочник по физической химии полимеров / А.Е. Нестеров. – Киев: Наукова думка. – 1984. – Т. 1. – С. 184.
4. Свойства резинопластов на основе полиэтилена / В.П. Скворцов [и др.] // Пластические массы. – 1988. – № 6. – С. 48-50.
5. Качество и ресурсосберегающая технология в резиновой промышленности / Гончарук Г.П. [и др.] // Тез. докл. Всесоюз. Науч.-техн. конф., Ярославль, 1991. С. 227.
6. Полимерные смеси / К. Бакнэлл [и др.]; под ред. Д. Пола, С. Ньюмена. – М.: Мир. – 1984. – Т. 2. – С. 99.
7. Coran, A.Y. Handbook of Elastomers – New Develop-ments and Technology / Ed. by Blowmick A.K. Stephens H.L. New York: Dekker. – 1987. – P. 249.
8. Coran, A.Y. Pate R. // Rubber Chem. Technol. – 1981. – V. 54. – P. 892.

---

**Lapshina E.M., Shapovalov V.M., Tartakowsky Z.L., Akhmadieva L.V.**

### Composite material based on polyolefins and dispersed rubber

*The process of composite materials molding based on polyolefins and dispersed rubber has been studied in the work. The rubber was obtained by grinding of industrial rubber goods. It was proved that strength characteristics of the composites were dependent on adhesive interaction between ingredients at the interface. The effect of temperature parameters of processing and the efficiency of modifier impregnation on strength characteristics of composite materials has been investigated.*

Поступила в редакцию 09.02.2012 г.

УДК 678.026-416:632.951

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЛИЭТИЛЕН – ПЛАСТИФИКАТОР – ИНСЕКТИЦИД МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

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

*Исследована совместимость модифицирующих реагентов с полимерной матрицей методом ИК-спектроскопии. Проведена оценка деформационно-прочностных характеристик экспериментальных инсектицидных пленок на основе ПЭВД/ДОФ/инсектицид, изучено влияние компонентов на структуру и механические характеристики исследуемых композитов.*

### Введение

Современные тенденции развития промышленного комплекса Республики Беларусь свидетельствуют об актуальности разработок активных многофункциональных полимерных материалов, выполняющих роль защитного механического барьера, изолирующего упакованные в пленку изделия от повреждения и загрязнения при хранении и транспортировке, и роль активного элемента, отпугивающего насекомых-фитофагов от растений, укрытых пленкой, и от изделий из кератинсодержащих материалов (шерстяных тканей, мехов, ковров, одежды, мебели), упакованных в полимерную пленку.

Новые активные полимерные материалы должны одновременно обладать удовлетворительными деформационно-прочностными характеристиками и высокой инсектицидной активностью к биоагентам. Важным критерием, предъявляемым к таким материалам является их экологическая безопасность по отношению к окружающей среде, человеку.

**Цель работы** – изучение влияния модифицирующих реагентов инсектицидов на деформационно-прочностные характеристики многофункциональных полимерных пленок и совместимость с полимерной матрицей методом ИК-спектроскопии.

### Материалы и методы исследования

Объектами исследования явились композиционные материалы на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) марки 16803-070. В качестве модифицирующих активных реагентов были выбраны: пластификатор – диоктилфталат (ДОФ, ТУ 6-09-08-1504-83), инсектициды класса пиретроидов (Кинмикс –  $C_{22}H_{19}Cl_2O_3$ , Перметрин –  $C_{21}H_{20}Cl_2O_3$ , Циперметрин –  $C_{22}H_{19}Cl_2O_3$ ); несистемный фосфорорганический инсектоакарицид кишечного-контактного действия – Актеллик ( $C_{11}H_{20}N_3O_3PS$ ); одна из новейших разработок в классе препаратов на основе имидаклоприда – Искра золотая, ВРК ( $C_9H_{10}Cl_5NO_2$ ), обладающие высокой активностью по отношению к вредителям сельскохозяйственных культур.

Экспериментальные пленочные образцы новых инсектицидных материалов состава: ПЭВД – 96,7 %, пластификатор ДОФ – 2,2 %, инсектицид – 1,1 % получали методом горячего прессования на прессе ППП при температуре 130 °С и давлении 50 МПа [1]. Показатели прочностных свойств: предел текучести ( $\sigma_T$ ), предел прочности при растяжении ( $\sigma_p$ ), относительное удлинение при разрыве ( $\varepsilon_p$ ) определяли на

испытательной машине Instron 5567. Испытания при растяжении проводили на образцах в виде двусторонних лопаток с размерами рабочей части 2x1x10 мм при скорости деформирования 50 мм/мин.

### Результаты и их обсуждение

Анализ оценки деформационно-прочностных характеристик экспериментальных инсектицидных пленок показал, что введение в полиэтиленовую матрицу инсектицидов не приводит к значительному снижению прочности при растяжении, и относительного удлинения при разрыве в отличие от исходного ПЭВД [2, 3]. В таблице представлены деформационно-прочностные характеристики наполненных инсектицидных полимерных пленок.

Таблица – Деформационно-прочностные характеристики наполненных инсектицидных полимерных материалов

Материал	Скорость, (mm/min)	Максимальное напряжение, (МПа)	Предел текучести, (МПа)	Относительное удлинение при разрыве, (%)	Модуль упругости, (МПа)
ПЭВД	50,00	9,10	8,1	400,0	20,37
ПЭВД/ДОФ/Актеллик	50,00	8,9	7,4	397,1	29,18
ПЭВД/ДОФ/Кинмикс	50,00	8,4	6,1	389,0	22,43
ПЭВД/ДОФ/Перметрин	50,00	8,7	7,6	365,5	35,98
ПЭВД/ДОФ/Циперметрин	50,00	9,5	6,4	304,9	10,38
ПЭВД/ДОФ/Искра	50,00	8,3	6,1	353,8	40,19

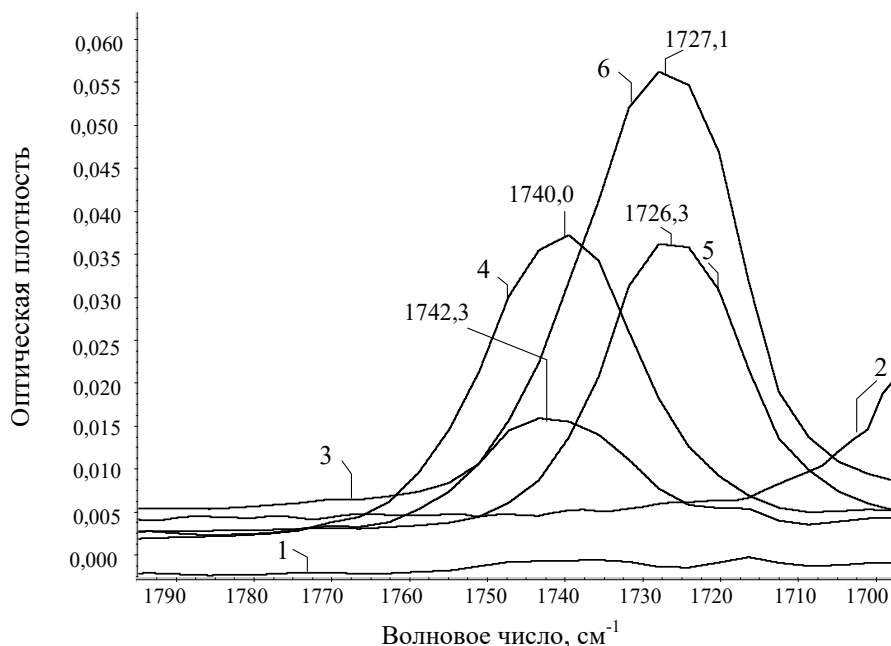
При постоянной концентрации ПЭВД и ДОФ инсектицидные полимерные композиты при наполнении Актелликом и Циперметрином характеризуются более высокой механической прочностью. Композиционные смеси с добавлением Актеллика, Перметрина, Циперметрина имеют вязкость расплава близкую к значению ПТР для ПЭВД (8,1 МПа), по-видимому, из-за межмолекулярных взаимодействий функциональных групп компонентов смеси. Повышенное значение относительного удлинения при разрыве композиций ПЭВД/ДОФ/Актеллик и ПЭВД/ДОФ/Кинмикс предположительно связано с пластифицирующим воздействием добавок на полимерную матрицу.

В ИК-спектрах компонентов, а также композиций наблюдаются качественные отличия в диапазонах частот:

1600-1800  $\text{см}^{-1}$ , где обычно проявляются характеристические полосы поглощения карбонильных групп;

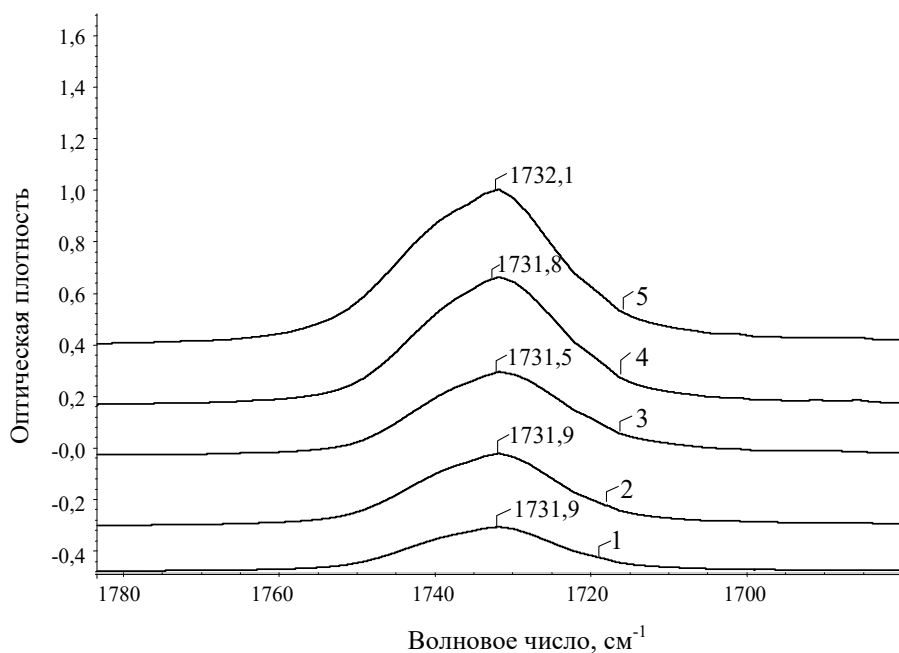
1000-1300  $\text{см}^{-1}$ , где можно ожидать появление полос валентных колебаний связи (C–O–C) в простых и сложных эфирах.

В спектрах модифицирующих реагентов Кинмикс, Перметрин, Циперметрин (рисунок 1) в области 1720-1750  $\text{см}^{-1}$  присутствуют полосы поглощения, характеризующие валентные колебания C=O сложноэфирных групп, встроенных в небольшие циклы, что согласуется с химическим строением инсектицидов. Присутствие атомов хлора в молекулах Циперметрин и Кинмикс сдвигает к большим волновым числам частоты валентных колебаний связи (C=O) [4].



1 – Актеллик; 2 – Искра; 3 – Кинмикс; 4 – Циперметрин; 5 – Перметрин; 6 – ДОФ  
**Рисунок 1 – Сравнительный анализ фрагментов ИК-спектров модифицирующих реагентов в области 1720-1750 см<sup>-1</sup>**

Анализ спектров поглощения инсектицидных полимерных пленок состава ПЭВД/ДОФ/инсектицид (Кинмикс, Перметрин, Циперметрин, Актеллик, Искра) (рисунок 2) показал наличие полос поглощения карбонильных групп сложных эфиров (C=O), участвующих в образовании водородной связи в области 1731 см<sup>-1</sup>, а также уменьшение числа гидроксильных групп, принадлежащих пластификатору ДОФ [5].



1 – ПЭВД/ДОФ/Искра; 2 – ПЭВД/ДОФ/Кинмикс; 3 – ПЭВД/ДОФ/Актеллик;  
 4 – ПЭВД/ДОФ/Перметрин; 5 – ПЭВД/ДОФ/Циперметрин

**Рисунок 2 – Полосы поглощения (C=O) связи в инсектицидных полимерных пленках**

Данные изменения, вероятно, связаны с термоокислительной деструкцией – распадом гидроксильных групп с образованием карбонильных ( $-C=O$ ) и разрушением цепи.

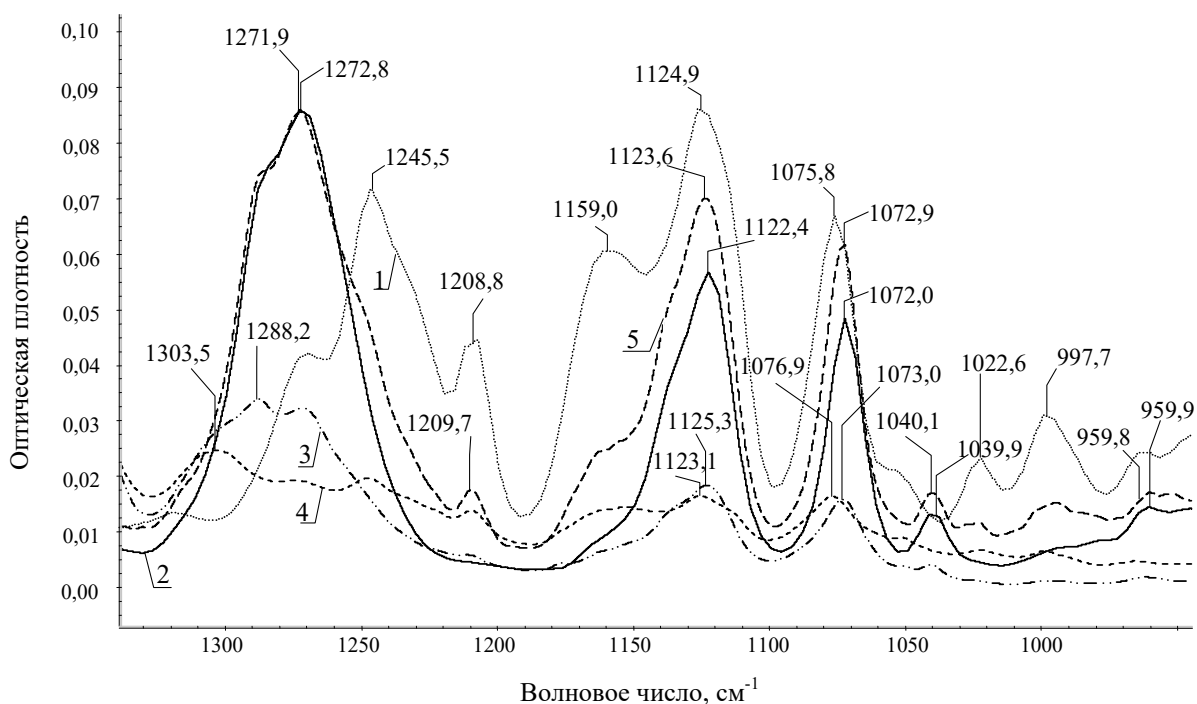
Сдвиг полосы поглощения ( $C=O$ ) сложноэфирных групп в полимерных композициях на  $5-10\text{ см}^{-1}$  в низкочастотную область, вероятно, связан с физико-химическими процессами, протекающими при формовании пленок, в том числе с образованием водородных связей.

Разработанные композиционные полимерные пленки и инсектициды, входящие в их состав, имеют интенсивные полосы поглощения в области спектра  $1000-1350\text{ см}^{-1}$ , относящиеся к валентным колебаниям связи ( $C-O$ ), принадлежащей сложноэфирной группе. Полосы поглощения ПЭВД/ДОФ/инсектицид в области  $1271\text{ см}^{-1}$  и  $1122\text{ см}^{-1}$  характеризуют сложноэфирную связь, природа которой обусловлена присутствием асимметричных валентных колебаний групп ( $=C-O-C$ ) в структуре ДОФ ( $1271,9\text{ см}^{-1}$  и  $1122,4\text{ см}^{-1}$ ).

Рассмотрим образование эфирных групп на примере тройных и бинарных композиций на основе Циперметрина (рисунок 3). Валентное колебание группы  $C-C(=O)-O$  дает мультитриплетные полосы в области  $1300-1160\text{ см}^{-1}$  [6-8].

Появление эфирных полос поглощения в полимерных композициях, обусловлено присутствием валентных колебаний эфирных связей в структуре ДОФ и инсектицида и физико-химическими процессами, протекающими в смеси при формовании композита.

Анализ фрагментов ИК-спектров тройной смеси ПЭВД/ДОФ/Циперметрин показал смещение полос пропускания, характеризующих наличие эфирных связей, в область более низких частот на  $2-4\text{ см}^{-1}$  по сравнению с Циперметрином что, вероятно, связано с участием их в образовании водородных связей (рисунок 3).

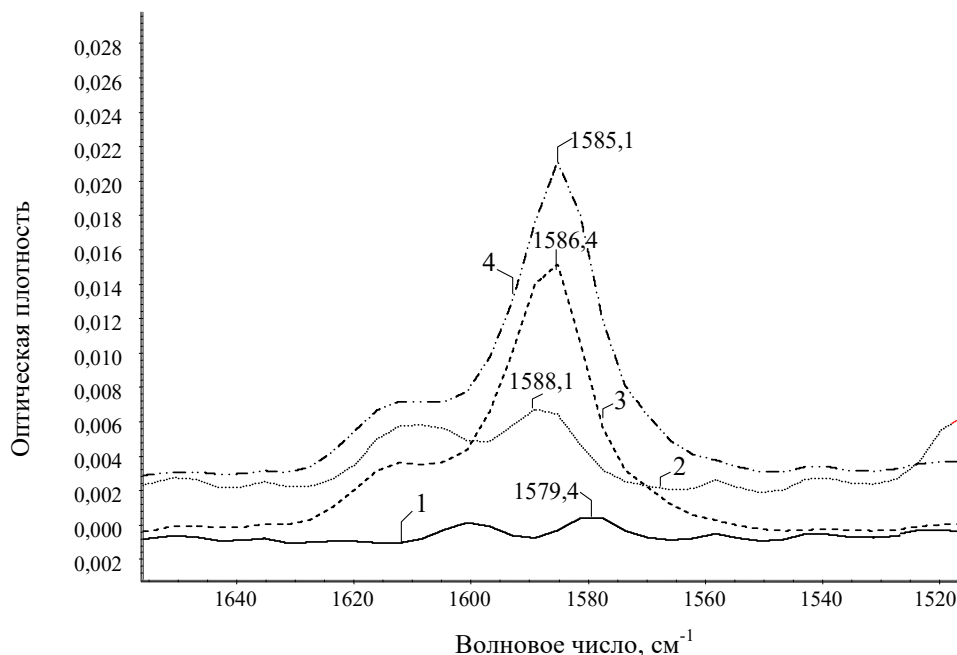


1 – Циперметрин; 2 – ДОФ; 3 – ПЭВД/ДОФ/Циперметрин (пропускание);  
4 – Циперметрин/ПЭВД; 5 – Циперметрин/ДОФ

**Рисунок 3 – Сравнительный анализ ИК-спектров на примере Циперметрин в области  $1300-1100\text{ см}^{-1}$**

Наличие интенсивных широких полос поглощения эфирной связи ( $=C-O-C$ ) бинарной композиции ДОФ/Циперметрин в области  $1271,9\text{ см}^{-1}$ ,  $1124,9\text{ см}^{-1}$ ,  $1072,9\text{ см}^{-1}$  свидетельствует о протекании химического взаимодействия между модифицирующими компонентами – ДОФ и Циперметрином.

На рисунке 4 представлены спектры поглощения модифицирующих реагентов, в которых присутствуют узкие полосы различной интенсивности в области  $1650-1550\text{ см}^{-1}$ :  $1579,4\text{ см}^{-1}$  (ДОФ),  $1588,1\text{ см}^{-1}$  (Кинмикс),  $1586,4\text{ см}^{-1}$  (Циперметрин),  $1585,1\text{ см}^{-1}$  (Перметрин), соответствующие валентным скелетным колебаниям связей  $C_{ар}-C_{ар}$  у производных бензола.



1 – ДОФ; 2 – Кинмикс; 3 – Циперметрин; 4 – Перметрин

**Рисунок 4 – Сравнительный анализ фрагментов ИК-спектров модифицирующих реагентов в области  $1600 - 1500\text{ см}^{-1}$ :**

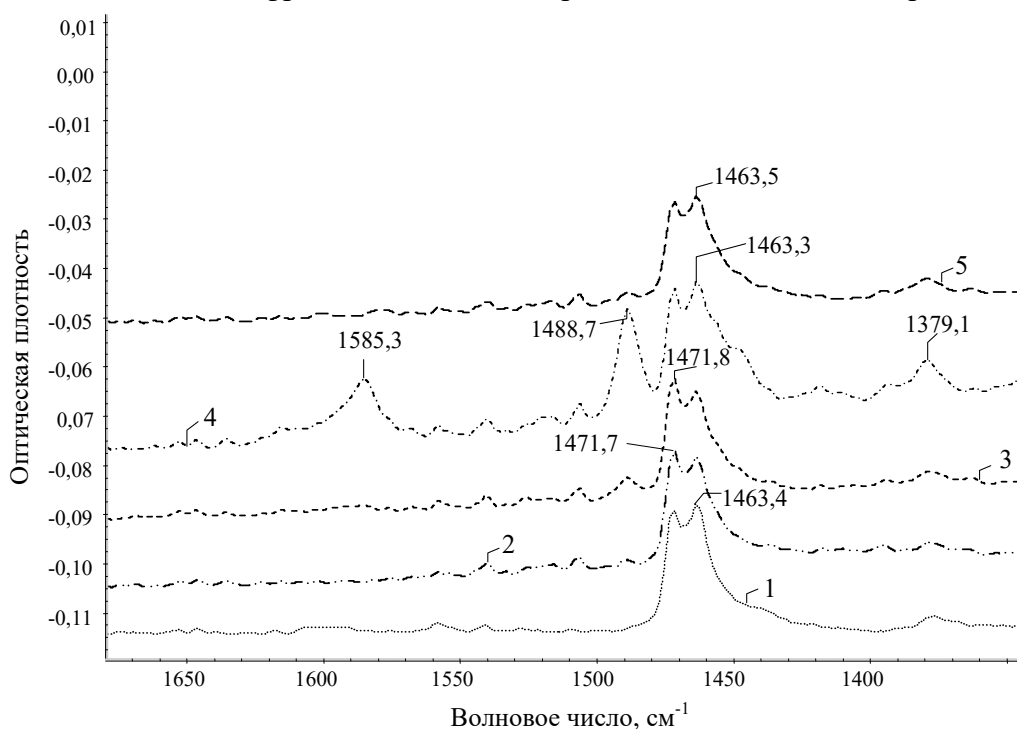
Окисление полиэтилена в составе с матрицей приводит к появлению в спектре поглощения широкой полосы от  $2760\text{ см}^{-1}$  до  $2530\text{ см}^{-1}$ , соответствующей валентным колебаниям связи  $C-N$ . Полоса поглощения метильных групп наблюдается при  $1378\text{ см}^{-1}$  (симметричные деформационные колебания  $(CH_3)$ ) и присутствует в спектрах ПЭВД, ДОФ и инсектицидов Перметрин, Циперметрин, Кинмикс, Актелиик (рисунок 4).

Наличие двойной связи в композициях ПЭВД/ДОФ/Перметрин, ПЭВД/ДОФ/Циперметрин, ПЭВД/ДОФ/Кинмикс приводит к новым типам колебаний: к валентным колебаниям  $C=C$  и валентным колебаниям  $C-N$ . Полосы поглощения, описывающие винильную группу в композициях с Перметрином, Циперметрином, Кинмиксом соответствуют колебаниям  $1125$ ,  $1020$  и  $945\text{ см}^{-1}$ . Поглощение винильной группы при  $1416\text{ см}^{-1}$  обусловлено ножничным колебанием концевой метиленовой группы. Полоса  $967\text{ см}^{-1}$  описывает деформационные колебания связи  $C-N$  в группе  $(-CH=CH-)$  [7, 8].

Полосы поглощения модифицирующих реагентов при  $1447,5\text{ см}^{-1}$  (Перметрин),  $1449,4\text{ см}^{-1}$  (Циперметрин),  $1454,3\text{ см}^{-1}$  (Кинмикс) описывают деформационные колебания  $C-N$  циклопропана. В ИК-спектрах композиций ПЭВД/ДОФ/Перметрин, ПЭВД/ДОФ/Циперметрин, ПЭВД/ДОФ/Кинмикс наблюдается смещение данных полос поглощения в область низких частот на  $5-7\text{ см}^{-1}$ , что свидетельствует о межфазных взаимодействиях между молекулами компонентов.

Полосы поглощения  $1579,4 \text{ см}^{-1}$ ,  $1462,0 \text{ см}^{-1}$ ,  $1039,9 \text{ см}^{-1}$ ,  $742,3 \text{ см}^{-1}$  описывают *орто*-замещенное бензольное кольцо ДОФ. Частота  $1463 \text{ см}^{-1}$  описывает *орто*-замещенное ароматическое кольцо в спектрах всех полимерных композиций за счет полосы  $1462,0 \text{ см}^{-1}$  ДОФ. Полоса, описывающая *мета*-положение кольца с частотой  $1488 \text{ см}^{-1}$ , характерна для композиций ПЭВД/ДОФ/Перметрин ( $1488,7 \text{ см}^{-1}$ ), ПЭВД/ДОФ/Циперметрин ( $1488,9 \text{ см}^{-1}$ ), ПЭВД/ДОФ/Кинмикс ( $1488,3 \text{ см}^{-1}$ ) и инсектицидов, входящих в их состав.

Полосы поглощения в области  $1500\text{-}1400 \text{ см}^{-1}$  возникают в результате внеплоскостных деформационных колебаний связей (С–Н) кольца. На рисунке 5 представлен сравнительный анализ фрагментов ИК-спектров наполненных полимерных материалов.



1 – ПЭВД/ДОФ/Актеллик; 2 – ПЭВД/ДОФ/Кинмикс; 3 – ПЭВД/ДОФ/Циперметрин;  
4 – ПЭВД/ДОФ/Перметрин; 5 – ПЭВД/ДОФ/Искра

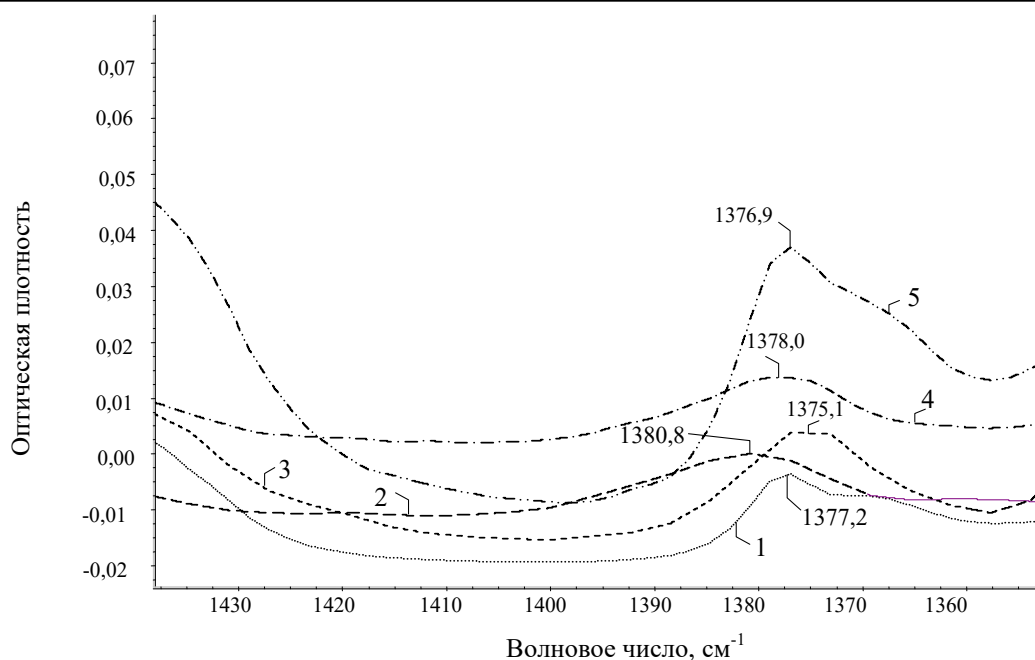
**Рисунок 5 – Сравнительный анализ фрагментов ИК-спектров полимерных композиций в области  $1600\text{-}1400 \text{ см}^{-1}$**

Скелетные колебания, включая колебания С–С кольца, имеют поглощение в области  $1600\text{-}1585 \text{ см}^{-1}$ , которые проявляются в виде дуплетов в зависимости от природы заместителя в цикле [7].

Анализ ИК-спектров модифицирующего реагента Актеллик свидетельствует о наличии характеристических полос поглощения при  $1595,9 \text{ см}^{-1}$ ,  $1554,2 \text{ см}^{-1}$  и  $1527,6 \text{ см}^{-1}$ . В композиции ПЭВД/ДОФ/Актеллик наблюдается смещение данных полос поглощения в область  $1556,5 \text{ см}^{-1}$  и  $1528,0 \text{ см}^{-1}$ , указывающих на наличие симметричных деформационных колебаний связи (N–H) и валентных колебаний С=C и С=N кольца.

Смещение полосы поглощения  $1375,1 \text{ см}^{-1}$  Актеллика, характеризующей валентные колебания С–N в область  $1376,9 \text{ см}^{-1}$  бинарной композиции ПЭВД/Актеллик и  $1377,2 \text{ см}^{-1}$  композиции ПЭВД/ДОФ/Актеллик, вероятно, связано с протекающими в объеме композиционной смеси физико-химическими взаимодействиями между молекулами композита (рисунок 6).





1 – ПЭВД/ДОФ/Актеллик; 2 – ДОФ; 3 – Актеллик; 4 – ДОФ/Актеллик; 5 – ПЭВД/Актеллик

**Рисунок 6 – Сравнительный анализ ИК-спектров на примере Актеллика в области 1400-1360 см<sup>-1</sup>**

Слабая полоса поглощения 699,4 см<sup>-1</sup> характерная для инсектицида Актеллик, описывающая связь P=S в композиции смещается в область 700 см<sup>-1</sup>. Пик 1149,4 см<sup>-1</sup> отвечает валентному колебанию (C=O) инсектицида Актеллик и смещается на 7 см<sup>-1</sup> в область низких частот полосы отражения ПЭВД/ДОФ/Актеллик. Очень интенсивная полоса поглощения модифицирующей добавки Актеллик при 1039,8 см<sup>-1</sup> соответствует группе P-O-C<sub>алкил</sub> и смещается в область 1040,4 см<sup>-1</sup> в бинарной композиции Актеллик/ДОФ; узкая мало интенсивная полоса 1181,6 см<sup>-1</sup> описывает колебание P-O-CH<sub>3</sub> [7, 8] Актеллика, что подтверждается интенсивной полосой поглощения при 1016,6 см<sup>-1</sup>.

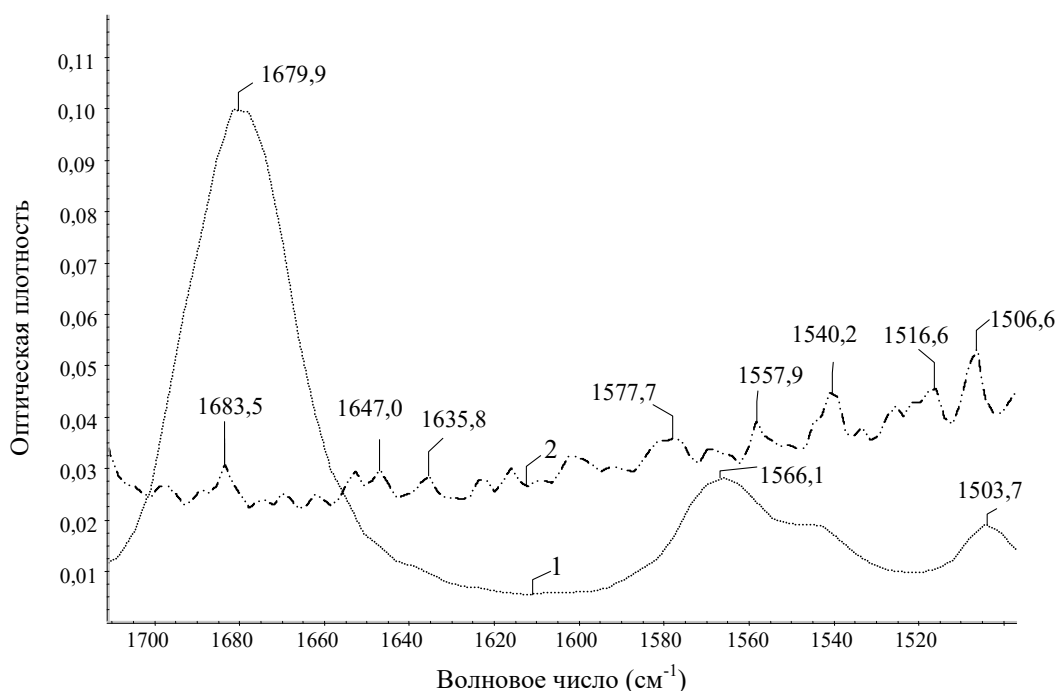
Полоса деформационного колебания алифатической метильной группы смещается в сторону низких частот из-за соседства с кольцом и поглощается при частоте 1439,6 см<sup>-1</sup> (Актеллик) и 1441,1 см<sup>-1</sup> (ПЭВД/ДОФ/Актеллик).

Полоса поглощения 1566,1 см<sup>-1</sup> описывает деформационные колебания группы (N-H) инсектицида Искра (рисунок 7).

Сильная полоса в области 1679,9 см<sup>-1</sup> характеризует валентные колебания ароматического амина (C=N<sup>+</sup>) в инсектициде Искра и смещается в область 1683,5 см<sup>-1</sup> в композиции ПЭВД/ДОФ/Искра (полоса отражения). Полосы 1566,1 см<sup>-1</sup> и 1503,7 см<sup>-1</sup> характеризуют деформационные колебания связи (N-H) [4] инсектицида Искра и валентные колебания C=C и C=N кольца (рисунок 7).

Полоса деформационного колебания алифатической метиленовой группы смещается в сторону низких частот из-за соседства с кольцом и поглощается при частоте 1436,2 см<sup>-1</sup> – Искра и 1437,0 см<sup>-1</sup> – ПЭВД/ДОФ/Искра (полоса отражения).

Группа ароматических аминов в композициях ПЭВД/ДОФ/Актеллик, ПЭВД/ДОФ/Искра дают сильную полосу валентных колебаний (C-N) в области 1342-1266 см<sup>-1</sup>. Полоса поглощения возникает при более высоких частотах, ввиду того что силовая постоянная связи C-N увеличивается при резонансе с кольцом [4]. Полоса отражения 1437,2 см<sup>-1</sup> композиции ПЭВД/ДОФ/Искра и 1440,0 см<sup>-1</sup> ПЭВД/ДОФ/Актеллик описывает колебания (-CH<sub>2</sub>-N-), относящиеся к инсектицидам Искра и Актеллик.



1 – Искра; 2 – ПЭВД/ДОФ/Искра (отражение)

**Рисунок 7 – Сравнительный анализ фрагментов ИК-спектров полимерных композиций и инсектицидов**

Группа ароматических аминов в композициях ПЭВД/ДОФ/Актеллик, ПЭВД/ДОФ/Искра дают сильную полосу валентных колебаний (C–N) в области 1342–1266  $\text{см}^{-1}$ . Полоса поглощения возникает при более высоких частотах, ввиду того что силовая постоянная связи C–N увеличивается при резонансе с кольцом [4]. Полоса отражения 1437,2  $\text{см}^{-1}$  композиции ПЭВД/ДОФ/Искра и 1440,0  $\text{см}^{-1}$  ПЭВД/ДОФ/Актеллик описывает колебания (–CH<sub>2</sub>–N–), относящиеся к инсектицидам Искра и Актеллик.

Сильное поглощение галогенированных углеводородов обусловлено валентными колебаниями связи углерод-галоген. Полосы отражения группы (C–Cl) композиций ПЭВД/ДОФ/Кинмикс, ПЭВД/ДОФ/Перметрин, ПЭВД/ДОФ/Циперметрин наблюдаются в области 692,0  $\text{см}^{-1}$ . Полоса интенсивная, что описывает присоединение несколько атомов хлора к одному атому углерода.

Полосы поглощения исследуемых полимерных композиций при 770, 820 и 930  $\text{см}^{-1}$  относятся к деформационным колебаниям C–H связи в области «отпечатков пальцев».

### Выводы

1. Введение в полимерную матрицу модифицирующих активных добавок свидетельствует о протекании возможных физико-химических процессов благодаря участию в них полярных функциональных групп, что положительно влияет на деформационно-прочностные характеристики экспериментальных многофункциональных полимерных пленок.

2. Сравнительный анализ ИК-спектров пленочных образцов ПЭВД/ДОФ/инсектицид, отдельных инсектицидов, бинарных композиций показал, что между компонентами композита происходят межфазные взаимодействия, причем с разной интенсивностью как в объеме, так и на поверхности пленок, что влияет на термодинамическую совместимость компонентов и, как следствие, увеличение прочности пленок.

---

**Список использованных источников**

1. **Лашкина, Е.В.** Исследование совместимости модифицирующих инсектицидных добавок и пластификатора в полимерной композиции / Е.В. Лашкина // Композитные материалы: Междунар. научн-техн. сб., Днепрпетровск. ДГАУ. 2011. – Т. 5. – № 2. – № 1. – С. 62-64.
2. **Ермолович, О.А.** Исследование физико-химических и эксплуатационных свойств инсектицидных композиционных материалов / О.А. Ермолович, Е.В. Лашкина, Н.С. Винидиктова, А.В. Тейкин // Материалы. Технологии. Инструменты. ИММС НАНБ. – 2010. – Т. 15. – № 1. – С. 74-78.
3. **Лашкина, Е.В.** Деформационно-прочностные свойства активных композиционных материалов на основе полиолефинов / Е.В. Лашкина, Ж.Н. Громыко // XIX Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященные 130-летию со дня рождения академика АН УССР Н.Н. Давиденкова : Сб. материалов, Санкт-Петербург, 13-15 апреля 2010 г. / Научн. Совет РАН по физике конденсированных сред. – Санкт-Петербург, 2010. – Ч. 2. – С. 303-305.
4. **Тарутина, Л.И.** Спектральный анализ полимеров / Л.И. Тарутина, Ф.О. Позднякова. – Ленинград: Химия, 1986. – 248 с.
5. **Винидиктова, Н.С.** Исследование совместимости компонентов инсектицидных композиционных материалов методом ИК-спектроскопии / Н.С. Винидиктова, Е.В. Лашкина, О.А. Ермолович // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМ-ТРИБ – 2011): Тезисы докладов международной научно-технической конференции, Гомель, 27-30 июня 2011 г. // ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2011. – С. 60.
6. **Смит, А.** Прикладная ИК-спектроскопия / А. Смит. – М.: Мир, 1982. – 328 с.
7. **Хаслам, Д.** Идентификация и анализ полимеров / Д. Хаслам, Г.А. Вилис. – М.: Химия, 1971. – 432 с.
8. **Сильвестрейн, Р.** Спектрометрическая идентификация органических соединений / Р. Сильвестрейн, Г. Басслер, Т. Моррил. – М.: Мир, 1977. – 590 с.

---

**Lashkina E.V.**

**Research of a compatibility of components in polyethylene – plasticizer – insecticide system by method of IR spectroscopy**

*Compatibility of modifying reagents with a polymeric matrix is investigated by method of IR spektroskopy. The assessment of deformation and strength characteristics of experimental insecticidal film on a basis of HD polyethylene / DOP plasticizer / insecticide is carried out, influence of components on structure and composites' mechanical characteristics is studied.*

Поступила в редакцию 20.07.2012 г.

УДК 621.793:620.3(045)

## **ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕР-ОЛИГОМЕРНЫХ МАТРИЦ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НИЗКОРАЗМЕРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ**

Щерба В.Я. (ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Беларусь)

*В статье представлены разработанные составы защитных покрытий с повышенной гидрофобностью, износостойкостью и защитной способностью и способы их формирования на металлических поверхностях.*

### **Введение**

Различные металлоконструкции, сельскохозяйственное оборудование и транспортные трубопроводы эксплуатируются при воздействии совокупных неблагоприятных факторов – коррозионных сред, повышенной влажности абразива. Поэтому ресурс таких изделий определяется, главным образом, устойчивостью использованных металлических сплавов к действию изнашивающих элементов системы. Как правило, металлоконструкции общетехнического назначения изготавливают из мало- и среднеуглеродистых сталей, не обладающих высокими показателями деформационно-прочностных характеристик и коррозионной стойкости, поэтому требуют специальной защиты от повреждения. Учитывая большую распространенность таких изделий в строительной индустрии, системе жилищно-коммунального хозяйства, на транспорте, сельскохозяйственном производстве, защитные средства должны обладать достаточно высокими показателями служебных характеристик, иметь относительно невысокую стоимость и простую технологию применения.

### **Составы защитных покрытий и способы их формирования**

Для нанесения защитных покрытий на металлоконструкции использовали композиционные материалы, разработанные на основе олигомеров смешивающихся смол, модифицированных функциональными наполнителями.

Защитные покрытия на металлоконструкциях различного функционального назначения из разработанных составов формируют по технологии, разработанной для лакокрасочных материалов (ЛКМ) – окунанием, пневмораспылением, нанесением кистью или валиком на подготовленную поверхность, активированную пескоструйной обработкой или фосфатированием. Толщина покрытий определяется функциональным назначением изделия и составляет от 100 до 300 мкм [1].

Автомобильные агрегаты, входящие в состав трансмиссии, подвески и тормозной системы (карданные валы, тормозные камеры, амортизаторы) подвержены длительному воздействию абразивных и коррозионных сред в течение всего эксплуатационного ресурса. Поэтому их ресурс в значительной мере определяется уровнем защиты от коррозионного повреждения и коррозионно-механического изнашивания [2].

Разработан состав защитного покрытия с повышенной гидрофобностью, обеспечивающий эффективную защиту от коррозионно-механического изнашивания элементов автомобильных агрегатов.

Для разработки состава защитного покрытия повышенной гидрофобности использована совмещенная матрица на основе эпоксидной и перхлорвинилового смол и комплексный наномодификатор, состоящий из частиц оксидов и продуктов термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Наноразмерные частицы оксидов металлов (ОМ) представляют собой отходы металлургического производства, улавливаемых из дымов на фабриках ЗАО «Северсталь» (Кирово-Чепецк, РФ). Состав ОМ приведен в таблице 1.

Согласно данным электронной растровой и атомной силовой микроскопии размер единичных наночастиц продуктов металлургического производства не превышает 10-15 нм, а кластеров – не более 80-100 нм. Показатель рН водной вытяжки продуктов не менее 10-11 ед., что свидетельствует о их щелочной реакции, повышающей устойчивость в кислых средах.

Таблица 1 – Состав низкоразмерных продуктов металлургического производства

Компонент	Содержание, мас. %
FeO	4,61±0,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28-37
SiO <sub>2</sub>	4,49±0,1
Zn	25-36
P	0,105±0,05
Mn	1,84±0,05
MgO	1,13±0,05
CaO	8,84±0,1
Cr	0,25±0,05
Ni	0,05±0,01
Cu	0,138±0,05
S	0,82±0,05

В качестве органических низкоразмерных частиц использовали продукты термической деструкции политетрафторэтилена при температурах 470-550 °С. Согласно данным исследований продукты ТГД-синтеза имеют размер единичных частиц не более 100 нм и состоят из олигомерной и полимерной фракций, соотношение которых зависит от температуры синтеза. При температуре 470 °С соотношение олигомерной и полимерной фракций равно 1:2, а при температуре синтеза 550 °С соотношение 2:1. В диапазоне температур 470-550 °С формируются нанодисперсные полимер-олигомерные частицы с соотношением фракций около 1:1. Превышение температуры синтеза свыше 550 °С увеличивает содержание олигомерного компонента, и общий выход продукта резко снижается. Температура синтеза менее 470 °С замедляет протекание термодеструкционных процессов и образующиеся частицы имеют размеры, превышающие 100 нм. В качестве продуктов ТГД-синтеза возможно использование ультрадисперсного политетрафторэтилена, выпускаемого под торговой маркой «Форум» (ИХ ДВО РАН, г. Владивосток).

Для получения составов композиционных материалов для защитных покрытий использовали промышленно выпускаемые эмали ЭП-1267, МЛ-12 «К», ПФ-266.

Эмаль ЭП-1267 (ТУ 2312-122-00209711-02) разработана на основе олигомера эпоксидной смолы и перхлорвиниловой смолы. При нанесении покрытия использовали растворитель РЭ-4В (ГОСТ 18187-72) и разбавитель – ортоксилол нефтяной (ТУ 38101254-72). В качестве отвердителя применяли состав № 1 (ТУ 6-10-126377).

Эмаль МЛ-12 «К» относится к эмалям горячей сушки на основе алкидной смолы, модифицированной кокосовыми маслами. Эмаль МЛ-12 «К» выпускают согласно ТУ РБ 00204547.089-2000.

Композиционные материалы на основе базовых эмалей получали механическим смешиванием дисперсных модификаторов с основой лопастным смесителем.

Поверхности металлических подложек из стали 08кп и стали 45 зачищали с помощью наждачного полотна и обезжиривали растворителем Р-5А. Сушку полученных

покрытий осуществляли в соответствии с требованиями нормативной документации. Толщина покрытий составляла 20-25 мкм.

Характеристики составов композиционных материалов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики составов композиционных материалов для защитных покрытий

Характеристика	Показатель для состава композиционного материала		
	I	II	III
1. Адгезионная прочность (метод решетчатых надрезов), балл, не менее	1	1	1
2. Прочность к ударным воздействиям, кгс·см, не менее	50	50	50
3. Гидрофобность (краевой угол смачивания, $\Theta$ , °)	125	125	125
4. Коррозионная стойкость			
- метод погружения, час, не менее	92	92	92
- испытания при воздействии нейтрального соляного тумана NaCl, час, не менее	96	72	72
5. Абразивостойкость, кг/мкм	12,4	15,0	12,8

В составе I на основе эпоксиперхлорвинилового смолы содержится 1,0 мас. % ПТФЭ и 1,0 мас. % ОМ. Состав II разработан на основе алкидной эмали МЛ-12 «К» и содержит аналогичное количество модифицирующих нанодобавок. В составе III использована эмаль ПФ-266.

Разработанные составы композиционных материалов независимо от базовой матрицы обладают высокой гидрофобностью, коррозионной стойкостью и абразивостойкостью. Про совокупности показателей защитных характеристик разработанные составы существенно превосходят эмали, традиционно применяемые для обработки автомобильных агрегатов различного функционального назначения.

Служебные характеристики изделий из композиционных материалов существенным образом зависят от технологии их изготовления. Особенно важным является этот аспект при нанесении защитных покрытий на различные узлы и конструкции, применяемые в автотракторном машиностроении.

Разработан способ формирования гидрофобного защитного покрытия, который состоит в осаждении на композиционную подложку слоя гидрофобного высокомолекулярного соединения, в качестве которого выбраны полимер-олигомерные продукты термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена при соотношении 1:104-0,1. Гидрофобный слой осаждают на предварительно нанесенный подслой, находящийся в неотвержденном состоянии, или на отвержденный подслой при температуре от 25 до  $T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  – температура плавления олигомера в полимер-олигомерном продукте ПТФЭ. Характеристики гидрофобных покрытий, сформированных по разработанному способу, представлены в таблице 3.

В способе I для нанесения подслоя использовали эмаль ЭП-1236 (ЭП-1267) на основе смеси эпоксидного олигомера и перхлорвинилового смолы, наполненных пигментами, модификаторами, и содержащую отвердитель. Гидрофобный слой из наночастиц ПТФЭ наносили пневмораспылением. Отверждение покрытия проводили на воздухе при  $25 \pm 5$  °С.

Согласно способу II покрытие формировали из эмали ПФ-266 при температуре  $140 \pm 5$  °С. Гидрофобизирующий слой толщиной 3-5 мкм наносили пневмораспылением на отвержденный подслой при температуре  $70 \pm 5$  °С.

Таблица 3 – Характеристики гидрофобных покрытий, сформированных различными способами

Характеристика	Показатель для покрытия, сформированного по способу		
	Способ I	Способ II	Способ III
Краевой угол смачивания, $\Theta$ , °	130	130	130
Износостойкость, кг/мкм	9,87	9,70	12,5
Степень коррозионного поражения, балл	2	2	2
Адгезионная прочность по методу решетчатых надрезов, балл	1	1	1

В способе III на отвержденный подслоя из алкидной эмали МЛ-12 «К» при температуре 120 °С наносили слой гидрофобизатора (ПТФЭ).

Исследования показывают (таблица 3), что независимо от состава подслоя формируется покрытие с повышенными показателями гидрофобности, износостойкости и защитной способности.

### Заключение

Характерной особенностью гидрофобизированных защитных покрытий является низкий коэффициент трения по металлическому контртелу, обусловленный наличием наноразмерных частиц ПТФЭ, которые выполняют роль сухой смазки. Основными факторами, обеспечивающими высокую гидрофобность, являются специфический рельеф поверхностного слоя, сформированный наноразмерными частицами УПТФЭ, и их собственные гидрофобные характеристики фторсодержащего модификатора.

Состав гидрофобного покрытия на основе эпоксидной и алкидной смол прошел лабораторные и технологические испытания на производстве карданных валов и тормозных камер грузовых автомобилей. Нанесение защитного покрытия на основе ЭП-1236 (ЭП-1267) на корпус карданной передачи, корпус и пружину тормозной камеры с энергоаккумулятором позволили существенно повысить их эксплуатационный ресурс благодаря снижению коррозионного повреждения и коррозионно-механического изнашивания.

### Список использованных источников

1. Щерба, В.Я. Новые композиционные материалы / В.Я. Щерба, А.Л. Лисовский. – Новополоцк: ПГУ, 2009. – 220 с.
2. Рыскулов, А.А. Металлополимерные нанокомпозиты: особенности структуры, технология, применение: монография / А.А. Рыскулов [и др.]; под ред. В.А. Струка, В.А. Лиопо. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 336 с.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова. – М.: Наука, 1976. – 276 с.

**Sherba V.Y.**

### **Protective coatings on the base of polymer and oligomeric matrix modified by low dimensional components**

*Designed coating compositions with higher hydrophobic properties, durability and protective abilities and ways of their moulding on metal surfaces have been described in the article.*

Поступила в редакцию 31.07.2012 г.

УДК 620.193.8

## БИОКОРРОЗИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Приходько И.В., Неверов А.С. (УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель, Беларусь)

*В статье рассмотрено влияние сульфатредуцирующих микроорганизмов на коррозию алюминиевых радиаторов системы центрального отопления. Проведены оптико-микроскопические исследования и химический анализ пленки, осаждаемой на внутренней поверхности элементов отопительной системы, а также сравнительный анализ изменения состава и свойств теплоносителя, отобранного из системы подпитки и рабочего теплоносителя внутри системы отопления.*

### Введение

Ежегодные потери от биоповреждений в ряде промышленно развитых стран исчисляются миллиардами долларов. На долю микроорганизмов приходится около 40 % от общего числа биологических повреждений, а ведущее место по агрессивности действия принадлежит сульфатредуцирующим бактериям (СРБ). По мнению ряда авторов, деятельностью микроорганизмов может быть обусловлено от 50 до 80 % коррозионных повреждений трубопроводов [1, 2]. Основным метаболитом СРБ является  $H_2S$  – опаснейший стимулятор как коррозии, так и водородного охрупчивания сталей. Процессы жизнедеятельности термофильных сульфатредуцирующих (сульфатовосстанавливающих) бактерий – наиболее распространенная причина возникновения запаха сероводорода в системах горячего водоснабжения. Для их метаболизма кислород не нужен, т.к. энергетические и конструктивные процессы у них происходят без участия молекулярного кислорода. Такие организмы получили название облигатных анаэробов. К облигатным термофилам относят виды, обнаруживающие способность расти при температурах около 70 °С и не растущие ниже 40 °С. К ним относятся метанобразующие археобактерии, сульфатовосстанавливающие, маслянокислые и некоторые другие бактерии (рисунке 1, 2).

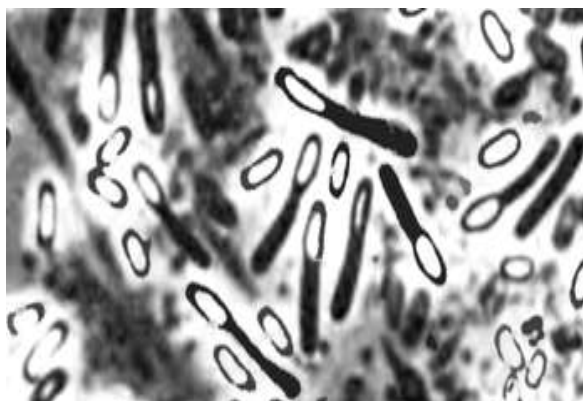


Рисунок 1 – Термофильная бактерия  
*Bac. Stearotherophilus*. × 3000



Рисунок 2 – Вегетативные клетки  
в виде вибрионов и тороидов у  
*Desulfotomaculum sp.*  
(сульфатредуцирующая бактерия). × 2100



### Исследование результатов жизнедеятельности микроорганизмов в системах отопления

В настоящее время известно много облигатных анаэробов которые получают энергию в процессах анаэробного дыхания, переноса электронов по цепи переносчиков на  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Продуктами жизнедеятельности таких бактерий являются метан, сульфиды и сероводород.

Многие из облигатных анаэробов не выносят присутствия даже незначительных количеств молекулярного кислорода в среде и быстро погибают. Такие организмы называют строгими анаэробами. Хотя облигатно анаэробные бактерии в целом очень чувствительны к молекулярному кислороду, они могут в природе находиться и в аэробных зонах.

СРБ обладают способностью к переносу водорода и, таким образом, к восстановлению сульфата до сульфида. Главным продуктом такого процесса является сероводород:



В настоящее время существует несколько гипотез относительно механизма анаэробной коррозии стали, железа и алюминия под действием сульфатредуцирующих бактерий, из которых представляют интерес следующие:

1) катодная деполяризация, проявляющаяся в стимуляции катодного участка корродирующего металла путем перемещения и потребления бактериями поляризованного водорода;

2) стимуляция катодной деполяризации твердыми сульфидами железа, образующимися в результате взаимодействия ионов железа с сульфид-ионами, которые являются конечным продуктом бактериального восстановления сульфатов.

Восстановление сульфата до сульфида происходит, видимо, у разных бактерий по-разному. Сульфат может прямо восстанавливаться до сульфида без образования промежуточных продуктов [4]:



Не полностью используемый бактериями на окислительные процессы кислород обеспечивает протекание катодной деполяризационной реакции грунтовой коррозии в анаэробных условиях. Сероводород уменьшает перенапряжение водорода в кислых и слабокислых грунтах, облегчая протекание катодного процесса в этих условиях. Сульфид-ионы, действуя как депассиваторы, а также связывая металл в трудно растворимые и малозащитные сульфиды, растормаживают анодный процесс коррозии, и скорость коррозионного разрушения при воздействии этих бактерий может возрастать в 20 раз.

Разрушение железа и стали под действием СРБ обычно имеет характер местной и язвенной коррозии. Продукты коррозии окрашены в характерный черный цвет, имеют запах сероводорода, слабо прилегают к поверхности металла, который под их слоем сохраняет блестящую поверхность.

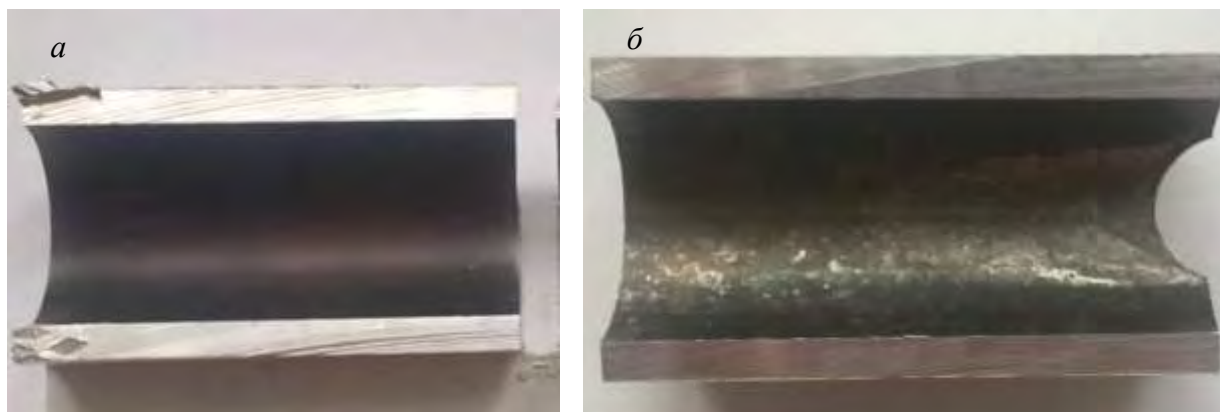
Однако имеются сведения, что бактериальная пленка (черного цвета) может очень прочно удерживаться на поверхности металла. Внеклеточные полимеры участвуют в связывании клеток в целые кластеры и в удержании клеток на поверхности. Агрегация микробных клеток ведет к градиенту электрохимической активности. Микроб-

ные кластеры становятся барьером для диффузии, и площадь под ними является катодом, в то время как площадь между кластерами играет роль анода. В результате скорость электрохимической коррозии увеличивается.

Очень важным фактором, определяющим развитие анаэробов, являются окислительно-восстановительные условия среды. Они выражаются через окислительно-восстановительный потенциал (ОВП).

Подробные исследования условий развития анаэробов показали, что облигатные анаэробы не могут развиваться при ОВП выше определенного предела. Тяготение к низкому окислительно-восстановительному потенциалу, по современным представлениям, можно объяснить тем, что высокий ОВП может служить причиной необратимого окисления жизненно важных ферментов, обуславливающих основные процессы их метаболизма.

В ряде случаев при эксплуатации радиаторов центрального отопления, выполненных из алюминиевого сплава АД-31, наблюдается появление черной пленки, прочно адгезированной к поверхности металла (рисунок 3а, б).



**Рисунок 3 – Фрагменты алюминиевых радиаторов с осажденной на внутренней поверхности черной пленкой**

Химический анализ пленки (рисунок 4) показал, что она состоит в основном из алюминия, углерода и кислорода. Также имеется незначительное количество магния, кремния, железа и кальция. Поскольку анализ проводился спектроскопическим методом, наличие очень большого количества алюминия (около 70 %) и кислорода (около 20 %) можно объяснить влиянием оксидного слоя подложки. Однако трудно объяснить присутствие значительного количества углерода (до 15 %).

При большом увеличении черная пленка, кажущаяся сплошной, распадается на систему округлых черных пятен (рисунок 5а, б).

Эти пятна на рисунках очень напоминают колонии микроорганизмов. Большое содержание углерода в поверхностной пленке подтверждает это предположение, так как любой живой организм, в том числе и бактерии, состоит в основном из углерода, кислорода и водорода.

О природе пленки можно косвенно судить по содержанию некоторых компонентов в среде, контактирующей с металлом. В процессе жизнедеятельности микроорганизмы поглощают определенные вещества, необходимые для построения органических соединений, из которых состоит их тело, и количество этих веществ в окружающей среде уменьшается. С другой стороны, в окружающую среду должны выделяться продукты метаболизма живых организмов, и их содержание в среде должно возрастать.

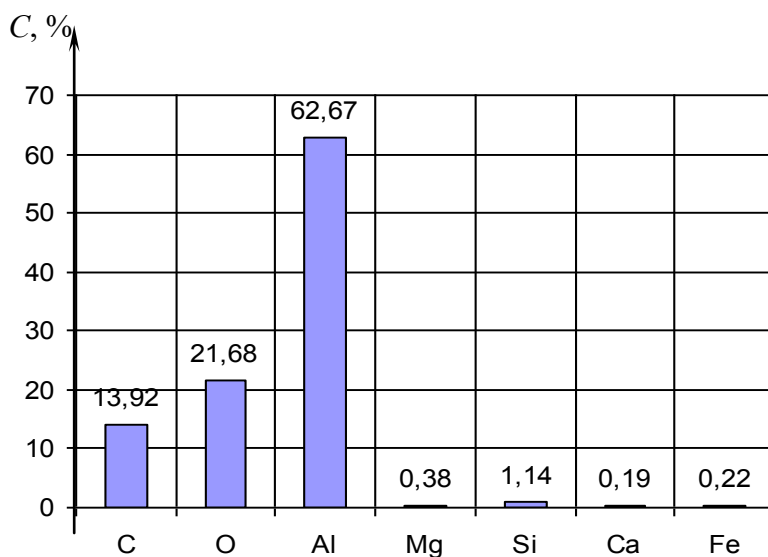


Рисунок 4 – Результаты спектроскопического исследования пленки

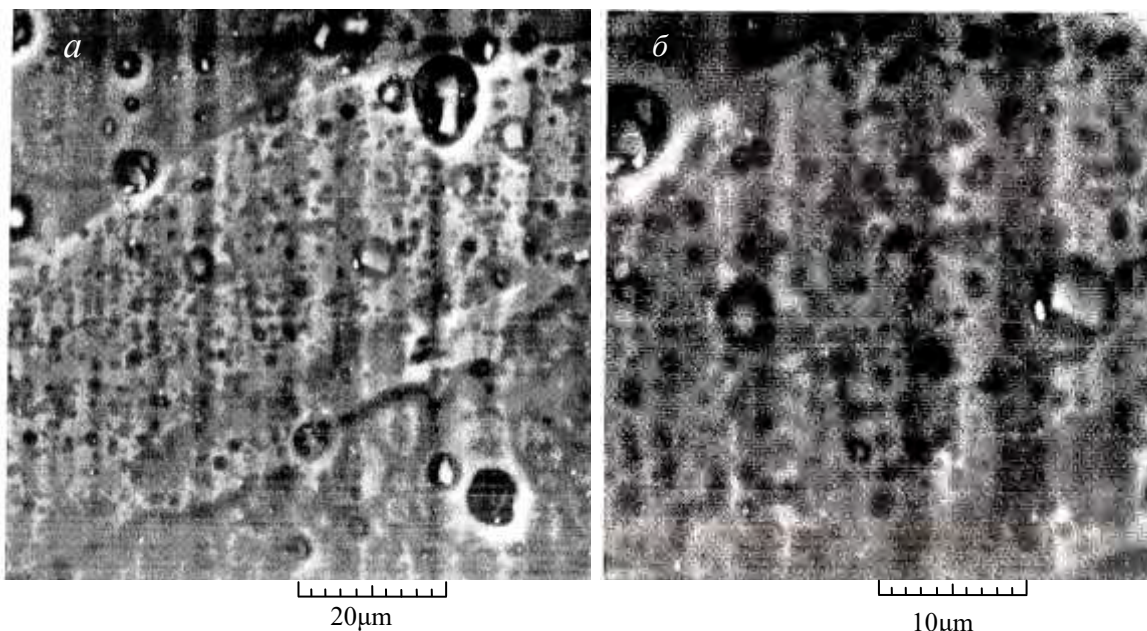


Рисунок 5 – Пленка, осажденная на алюминии

Результаты исследований, приведенных в таблице 1 (данные аналитической лаборатории НИИ ВОДГЕО), свидетельствуют о необычно большом содержании сероводорода. Об этом говорит также интенсивный запах сероводорода. Как уже отмечалось, это один из главных признаков деятельности сульфатредуцирующих микроорганизмов. Обращает на себя внимание также очень малое содержание магния, кальция и сульфатов, фосфатов, нитратов и железа, которые могут быть использованы микроорганизмами в процессе их жизнедеятельности.

Однако эти данные не позволяют утверждать с полной уверенностью, что отмеченные особенности состава водной среды обусловлены жизнедеятельностью микроорганизмов. Возможно, что это особенность воды, поступающей в систему. Для того чтобы исключить это предположение, проведен анализ состава воды на входе в систему и непосредственно в системе. Полученные результаты, проведенные Центральной лабораторией филиала РУП «Белгеология», приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты исследования состава воды из системы отопления

Показатели	Результаты КХА	СанПиН 2.1.4.1074-01	НД на МВИ	Стандарты ЕЭС		
				min	max	optim
Водородный показатель при температуре пробы °С	6,3/21	6,0-9,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	6,5-8,5		
Цветность, град.	2	≤20	ГОСТ 3351-74	-	20	5
Мутность, мг/л	11,35	≤1,5	ГОСТ 3351-74	2,0 ед. (по Джексону)		
Запах, при 20 °С, баллы при 60 °С, баллы	4 5-7	≤2	ГОСТ 3351-74	2(12 °С) 3(25 °С)		
Щелочность общая, мг-экв/л мг/л	1,6 97,6	0,5-6,5*	ПНД Ф 14.2.99-97	-	-	0,5
Жесткость общая Ж <sub>о</sub> , мг-экв/л	0,2	≤7,0	ГОСТ 4151-72	-	-	35DF
Кальций Ca <sup>2+</sup> , мг-экв/л мг/л	0,2 4,0	25-130*	РД 52.24.403-95	- 10	-	- 100
Магний Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/л мг/л	отс отс	5-65*	ГОСТ 23268.5-78	- 5	- 50	- 30
Хлориды Cl <sup>-</sup> , мг-экв/л мг/л	0,48 17,0	- ≤350	ГОСТ 4245-72	- -	- 200	- 5
Фосфаты PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	0,02	≤3,5	ПНД Ф 1:2.112-97	-	5мгР/л	-
Сульфаты SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг-экв/л мг/л	0,05 2,4	≤500	ГОСТ 4389-72	-	250	5
Гидрокарбонаты HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	97,6	30-400*	ПНД Ф 14.2.99-97	-	-	-
Гидросульфиды и сероводород (в пересчете на H <sub>2</sub> S), мг/л	1,98	≤0,003	РД 52.24.450-95	-	-	-
Натрий Na <sup>+</sup> + Калий K <sup>+</sup> , мг-экв/л мг/л	1,97 45,3	≤200(по Na <sup>+</sup> )	ПНД Ф 14.1:2:3:4.138-98	-	100	20
Силикаты SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг-экв/л мг/л	0,04 1,6	- -	РД 52.24.432-95	-	-	-
Железо общее Fe, мг/л	отс	≤0,3	ГОСТ 4011-72	-	0,3	0,1
Железо Fe <sup>2+</sup> , мг/л	отс	-	-	-	-	-
Железо Fe <sup>3+</sup> , мг/л	отс	-	-	-	-	-
Сухой остаток	119,1	≤1000 (1500)	ГОСТ 18164	-	1500 при 180 °С	-
Нитраты NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг-экв/л мг/л	отс отс	≤45(20*)	ГОСТ 18826-73	-	50	-
Перманганатная окисляемость, мг O <sub>2</sub> /л	3,67	≤5	НДП 10.1:2.29-96	-	5	1
Минерализация, мг/л	167,9	-	-	-	-	-
Показатели коррозионной активности, отн.ед.:						
$P_1 = \left  \frac{Ca^{2+}}{Cl^-} \right _{\text{экв}}$	0,42	≥0,45				
$P_2 = \left  \frac{HCO_3^-}{Cl^- + SO_4^{2-}} \right _{\text{экв}}$	3,0	≥0,35				
Индекс Ланжелье J <sub>L</sub> , ед. рН	-2,73	≥0	-	-	-	-
Индекс Ризнера J <sub>R</sub> , ед. рН	11,8	6-7**	-	-	-	6-7**
Марганец (Mn, суммарно), мг/л	0,04	≤0,1	ПНД Ф 14.1:2.61-96	-	0,05	0,02
Кремний Si, мг/л	0,6	≤10	РД 52.24.432-95	-	-	-

\* – нормы СанПиН 2.1.4.1116-02; \*\* – в соответствии с эмпирической шкалой Ризнера; \*\*\* – по Колдуэллу-Лоуренсу

Таблица 2 – Сравнительный анализ состава воды на входе в систему и в системе отопления

№ п/п	Наименование объекта испытаний, показатели технические требования, характеристики и т.д.	Номер пункта ТНПА, устанавливающего требования к продукции	Номер ТНПА, устанавливающего метод испытаний	Фактическое значение показателей для каждого образца, мг/л		
				Обр. № I лаб. № 1710 вода из системы подпитки	Обр. № II лаб. №1711 вода из отопительной системы (прямой)	Обр. № III лаб. № 1712 вода из отопительной системы (обратный)
1	2	3	4	5	6	7
1	Натрий ( $\text{Na}^+$ )	4.4.3	23268.6-78	30,0	35,0	34,0
2	Калий ( $\text{K}^+$ )		23268.7-78	8,0	6,4	6,4
3	Аммоний ( $\text{NH}_4^+$ )		4192-82	0,2	0,7	0,7
4	Кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ )		23268.5-78	5,4	5,4	4,3
5	Магний ( $\text{Mg}^{2+}$ )		23268.5-78	4,6	1,9	1,3
6	Железо (Fe)	4.4.1	4011-72	0,7	<0,05	<0,05
7	Хлориды ( $\text{Cl}^-$ )	4.4.1	4245-72	11,3	13,2	7,5
8	Сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	4.4.1	4389-72	28,8	7,4	8,2
9	Нитраты ( $\text{NO}_3^-$ )	4.4.1	18826-76	0,5	<0,1	<0,1
10	Нитриты ( $\text{NO}_2^-$ )	4.4.3	4192-82	0,9	<0,01	<0,01
11	Гидрокарбонаты		232683-78	67,1	67,1	67,1
12	Окисляемость		СТБ ISO 8467-2009	2,1	3,5	2,6
13	Сухой остаток	4.4.1	18164-72	130,0	163,0	151,0
14	Минерализация			156,8	155,1	147,5
15	Жесткость, мг~экв/л	4.4.1	4135-72	0,65	0,43	0,32
16	Водородный пок. рН		СТБ ISO 10523-2009	6,80	9,45	9,50
17	Запах (баллы)	4.5	3351-74	0	0	0
18	Вкус, привкус (баллы)	4.5	3551-74	0	0	0
19	Цветность (градусы)	4.5	3351-74	11,8	8,5	9,2
20	Мутность (мг/л)	4.5	3351-74	4,0	0,24	0,22
21	Кремний оксид	4.4.1	1188-99	5,0	0,8	0,9
22	Алюминий (Al)	4.4.1	18165-89	0,4	13,39	13,05

Рассмотрение приведенных результатов показывает, что наибольшее различие между водой питающей и содержащейся в системе наблюдается для алюминия (увеличение ~ в 30 раз), сульфатов (уменьшение ~ в 3-4 раза), магния (уменьшение ~ в 2,5-3 раза), аммония (увеличение ~ в 3,5 раза), нитратов (уменьшение более чем в 5 раз), нитритов (уменьшение более чем в 90 раз), железа (уменьшение более чем в 14 раз), оксида кремния (уменьшение ~ в 5-6 раз), калия (уменьшение ~ в 1,5 раза), жесткости (уменьшение ~ в 2 раза), водородного показателя (увеличение ~ в 1,5 раза).

Уменьшение содержания сульфатов, сопровождаемое, как показано ранее, увеличением содержания сероводорода, свидетельствует в пользу предположения о наличии в системе сульфатредуцирующих бактерий. Об этом говорит также уменьшение содержания магния и снижение жесткости, так как согласно уравнения (2) сульфат магния, по-

требля образующийся в результате протекания катодного процесса водород, превращается в гидроксид магния, выпадающий в осадок и тем самым удаляющийся из раствора. При протекании отмеченного процесса снижается общая жесткость воды, поскольку она обусловлена присутствием растворимых солей магния и кальция. Помимо этого, магний участвует во многих биохимических реакциях, являясь активатором внутриклеточных ферментов. Кальций используется одноклеточными микроорганизмами в гораздо меньшей степени, т.к. является активатором внеклеточных ферментов [5] и жизненно необходим только для многоклеточных организмов, особенно обладающих костным скелетом. Возможно, поэтому его содержание изменяется незначительно. Это же можно сказать относительно ионов натрия и калия. Натрий, являясь внеклеточным ионом [5], принимает незначительное участие в биохимических процессах одноклеточных организмов и, как показывает таблица 2, его содержание изменяется незначительно. Калий – внутриклеточный ион. Он является важным активатором ферментов, находящихся внутри клеток, поэтому необходим для жизнедеятельности одноклеточных микроорганизмов. Неудивительно, что его содержание существенно изменяется. Железо используется живыми организмами для построения железосодержащих белков. Кремний используют микроорганизмы, обладающие кремниевым скелетом. Сульфатредуцирующие бактерии к таковым не относятся, поэтому уменьшение содержания оксида кремния можно объяснить осаждением взвешенных в воде частиц  $\text{SiO}_2$  при сравнительно медленной циркуляции жидкости в отопительной системе. Азот, содержащийся в нитратах и нитритах, необходим для построения аминокислот, белков и нуклеиновых кислот, являющихся обязательным компонентом любых живых организмов.

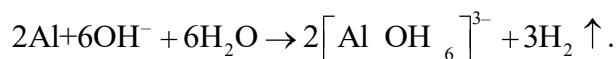
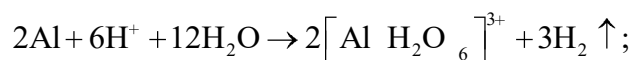
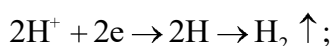
Метаболизм микроорганизмов включает не только ассимиляцию питательных веществ, но и выделение продуктов распада и токсичных веществ. Конечным продуктом обмена азотистых веществ является аммиак, образующийся в процессе дезаминирования аминокислот. Аммиак – токсичное вещество, поэтому его концентрация в организме должна поддерживаться на возможно более низком уровне. Повышенное содержание аммиака обуславливает щелочную реакцию среды. Этим объясняется увеличение рН среды в системе отопления.

### Выводы

Для роста СРБ наиболее благоприятным является постоянный приток свежей воды из системы подпитки, приносящий новые питательные вещества и удаляющий продукты обмена. Реакция среды должна быть слегка кислой или близкой к нейтральной, температура 40 ...70 °С. В отопительный сезон эти условия соблюдаются, и имеет место бурное размножение микроорганизмов, сопровождающееся коррозией металла. В летний период циркуляция воды отсутствует, и в воде накапливаются продукты распада, рН повышается, рост бактерий замедляется и затем прекращается. Учитывая время отбора проб (конец мая, начало июня), именно такая ситуация имела место во время испытаний. Однако микроорганизмы не погибают, их жизненный цикл приостанавливается, они впадают в своеобразную спячку, и при появлении благоприятных условий они оживают и начинают новый цикл жизнедеятельности.

Повышенное содержание алюминия в среде систем горячего водоснабжения обусловлено переходом в раствор ионов алюминия в процессе его биохимической коррозии. Этот процесс можно представить следующим образом.

В кислой (или в щелочной) среде возможно протекание на катодных участках металла реакций, сопровождающихся выделением водорода:



Водород выделяется вначале в наиболее активном атомарном состоянии и именно в этом состоянии он используется бактериями для восстановления сульфатов:



Сероводород уменьшает перенапряжение водорода, облегчая протекание катодного процесса. Сульфид-ионы растормаживают анодный процесс коррозии металла и, таким образом, при воздействии бактерий скорость коррозии металла значительно возрастает.

#### Список использованных источников

1. **Стрижевский, И.В.** Подземная коррозия и методы защиты / И. В. Стрижевский – М.: Металлургия, 1986. – 112 с.
2. **Гутман, Э.М.** Защита нефтепромыслового оборудования от коррозии / Э.М. Гутман [и др.]. – М.: Недра, 1983. – 152 с.
3. **Зайцева, О.В.** Биотехнологические приемы оценки устойчивости сталей к коррозии, вызываемой бактериальной сульфатредукцией, и пути повышения коррозионной устойчивости нефтегазового оборудования: автореф. дис. ...канд. техн. наук / О.В. Зайцева; Самарский гос. университет. – Уфа, 2009. – 23 с.
4. **Жук, Н.П.** Курс теории коррозии и защиты металлов / Н.П. Жук. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
5. **Ершов, Ю.А.** Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учеб. для вузов / Ю.А. Ершов [и др.]. – М.: Высш. шк., 2000 – 560 с.

---

**Prykhodko I.V., Neverov A.S.**

#### **Aluminum alloys biocorrosion in a heating system**

*Sulphate reducing microorganisms' influence on corrosion of aluminum radiators of a central heating system has been examined in the article. Optical and microscopical analysis and chemical analysis of web on a heating system's inside surface have been undertaken. Comparative analysis of composition modification and modification of a heat conductor's characteristics selected from charge circuit and functioning heat conductor inside heating system has been done.*

Поступила в редакцию 03.05.2012 г.

УДК 378; 378.18

### ЗНАЧЕНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТА

Сиренко Ю.Г., Ковальский Е.Р., Тараканов Н.В. (ФГБОУВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия)

В настоящее время большое влияние на развитие студента, его активную жизненную позицию и успешность его будущей работы оказывает его научно-исследовательская деятельность в период обучения в вузе. Об этом свидетельствуют и результаты научных конференций студентов и молодых ученых, проводимых в Санкт-Петербургском государственном горном университете (СПГГУ).

В апреле 2012 года в номинации «Лучший студент» II место заняли студенты Белорусского национального технического университета и филиала БНТУ, г. Солигорска: Степанович В., Горностай М., Зайцева О., Быковская О. (научные руководители к.т.н. Басалай И.А. и старший преподаватель Басалай Г.А.); III место – Леонов А. (научный руководитель к.т.н. Мисников В.А.); Вишневская Е. (научный руководитель преподаватель Шаститко Т.С.); в номинации «Лучший аспирант и молодой ученый» – Вишневский А. (научный руководитель к.т.н. Новокшенов В.Н.). Учитывая значительный уровень данных международных форумов, это очень высокий результат кропотливой работы с молодыми учеными и руководства Солигорского филиала, делегацию которых возглавляла директор Новокшенова В.И.

Особенностью научной деятельности студентов Санкт-Петербургского государственного горного университета является их работа в качестве ассистентов профессоров и ведущих доцентов [1]. К примеру, на Горном факультете СПГГУ каждый профессор работает, в среднем, с тремя или пятью студентами-ассистентами профессоров, начиная со 2 или 3 курса их обучения.

Тема конкретного исследования выбирается в соответствии с направлениями научных исследований, проводимых сотрудниками института в тех регионах, откуда прибыл для обучения студент.

Научно-исследовательская работа студентов СПГГУ координируется отделом по НИРС на основе «Положения об отделе по НИРС» и «Положения о статусе студента-ассистента профессора» [2]. Важнейшим условием успеха в научной работе студента является уровень его увлеченности и заинтересованности в конкретной тематике исследований. Для поощрения интереса студентов и активизации их научной деятельности в университете проводится целый комплекс различных мероприятий: проведение конференций, конкурсов, олимпиад; информационно-методическое обеспечение научно-исследовательской работы студентов; поощрение лучших участников НИРС и их научных руководителей.

Лучшие студенты ежегодно проходят научные стажировки и производственные практики в ведущих научных центрах, на отечественных и зарубежных предприятиях [2]. За последние 10 лет более 30 студентов побывали на предприятиях компании DeBeers в ЮАР и Англии, во Фрайбергской горной академии (Германия), Университете природопользования, г. Вроцлав (Польша), Техническом университете, г. Лапеенранта (Финляндия), где проводили научные исследования, перенимали культуру и опыт зарубежных научных школ.

Для ассистентов профессоров обязательным является участие в ежегодных научных конференциях молодых ученых, которые проводятся в три этапа: институтский



(кафедральный и факультетский), всероссийский и международный. По итогам конференций студенты награждаются грамотами, дипломами Министерства образования и науки РФ, грантами на поступление в аспирантуру, получают возможность опубликовать свои труды в «Записках Горного института» – журнале, входящем в перечень российских научных изданий, рекомендуемых ВАК.

Ежегодно в институте проводится конкурс на лучшую студенческую научную работу во всех областях горной отрасли, из которых наиболее перспективные отправляются на Всероссийский конкурс.

Помимо публикаций в различных периодических изданиях, студенты-ассистенты профессоров также являются авторами и соавторами заявок на изобретения. В среднем, в течение учебного года в университете подается 10-15 заявок на изобретения с участием молодых исследователей и публикуется порядка 200 статей и тезисов докладов.

В СПГГУ разработана система материального поощрения студентов и профессорско-преподавательского состава за успехи в научной работе, что дополнительно стимулирует непрерывный процесс вовлечения студентов в научные исследования кафедр.

Для многих специальностей в СПГГУ читается дисциплина «Основы научных исследований», в процессе обучения которой студенты получают навыки выполнения и организации научно-исследовательских работ, знакомятся с философией науки, воспитывают в себе уважение к научному труду и учебной работе преподавателей вуза.

В большем числе случаев студенты-ассистенты профессоров относятся к семьям потомственных горняков, которые заканчивали СПГГУ и в настоящее время работают в горной промышленности в конкретных регионах, и являются руководителями высшего и среднего звена с соответствующими возможностями.

Тем самым обеспечивается преемственность при подготовке руководящих и научно-педагогических кадров для регионов. Бывшие студенты-ассистенты профессоров при возвращении в регионы быстрее адаптируются к производственным условиям, так как находились в курсе их проблем на протяжении нескольких лет обучения в институте. К тому же научно-исследовательская работа формирует определенный кругозор, развивает пытливость ума, дает навыки организаторской работы, учит формулировать свои мысли и доводить их до исполнителей.

В качестве примера можно привести выпускников школ и техникума г. Солигорска, научные работы которых в период их обучения в горном университете были отмечены медалями и дипломами Министерства образования и науки РФ за лучшие научные работы в России, это: Кирильченко Т., Шабунь В., Петровский А., Михалкович М., Головатый И., Плескунов И., Голицын А., Уразов А. и др.

Результатами научной деятельности студентов в СПГГУ является подготовка творческих специалистов, из числа которых наиболее одаренные (25-30 %) связывают свою жизнь с профессиональной научной деятельностью, пополняют ряды преподавателей и сотрудников различных подразделений университета, активно делают карьеру на производстве и в науке и, главное, сохраняют и преумножают свой потенциал на длительный период.

---

**Список использованных источников**

1. **Сиренко, Ю.Г.** Подготовка специалистов в вузе через систему студентов-ассистентов профессоров / Ю.Г. Сиренко, Ю.В. Шувалов // Фундаментальные и прикладные исследования в системе образования. Материалы I-ой международной научно-практической конференции (заочной), 17-19 июня 2003 г. – Тамбов, 2003.

2. **Синьков, Л.С.** Организация преемственной подготовки кадров и научно-исследовательской работы студентов в Санкт-Петербургском государственном горном университете / Л.С. Синьков, А.Н. Мартемьянова // Сборник трудов Пятого Санкт-Петербургского конгресса «Профессиональное образование, наука, инновации в XXI веке». – СПб.: СПГГУ, 2011.

---

**Sirenko Y.G., Kovalsky E.R., Tarakanov N.V.**

**Importance of scientific and research work in a specialist's training**

Поступила в редакцию 30.07.2012 г.

## СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ОСИПОВ

### К 80-летию со дня рождения



7 мая 2012 года исполнилось 80 лет доктору технических наук, профессору Осипову Сергею Николаевичу – специалисту в области термогазодинамики, вентиляции и горения, физики горных пород, действительному члену нескольких общественных академий наук.

Сергей Николаевич родился 7 мая 1932 года в городе Харькове в семье интеллигентов.

В 1949 году С.Н. Осипов окончил школу с золотой медалью, а в 1955 году – Донецкий индустриальный институт с отличием по специальности «Разработка пластовых месторождений», опубликовав 3 работы, в том числе в журнале «Уголь».

В 1955-1962 гг. С.Н. Осипов работал в отделе вентиляции и газа Макеевского научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности, пройдя путь от младшего научного сотрудника до руководителя группы.

В тот же период (1961 г.) защитил кандидатскую диссертацию в Ленинградском горном институте.

В 1962-1970 гг. служил в военизированных горно-спасательных частях в должности начальника отдела вентиляции, горения и взрывов, где участвовал в ликвидации самых крупных пожаров и взрывов в угольных шахтах СССР (Донбасс, Воркута, Караганда, Грузия и др.), впервые используя для тушения пожара и предотвращения взрывов жидкий азот.

В 1965 году – защитил докторскую диссертацию, а в 1968 году ему было присвоено звание профессора по специальности «Техника безопасности и противопожарная техника».

В период 1970-1977 гг. С.Н. Осипов работал в Донецком филиале института повышения квалификации руководящих работников и специалистов угольной промышленности в должности профессора и заведующего кафедрой рудничной аэрологии и безопасности; в Харьковском инженерно-строительном институте; в Белорусском политехническом институте в должности профессора и заведующего кафедрой теплогазоснабжения.

С 1997 года по настоящее время работает в Научно-исследовательском и проектно-технологическом институте строительства им. Атаева С.С., а с 2004 года совмещает свою деятельность с работой в ОАО «Белгорхимпром».

Награжден знаками «Шахтерская слава» трех степеней, а также многочисленными грамотами и почетными грамотами министерств, ведомств и организаций. В 1988 году ему вручен нагрудный знак «Изобретатель СССР».

Сергей Николаевич Осипов является автором около 400 научных статей и опубликованных тезисов докладов, 11 монографий, 43 авторских свидетельств и 23 патентов Республики Беларусь, Российской Федерации и Евразийского патентного ведомства. Им подготовлено 23 кандидата наук.

В монографии С.Н. Осипова, выпущенной в 2007 году издательством «Адукацыя і выхаванне», приведены результаты многолетних исследований проблемы образования природных газов ( $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ ) в процессе метаморфизма растительных отложений в зависимости от изменяющейся глубины залегания в течение геологических периодов (десятки и сотни миллионов лет) и движения этих газов через наносы в земную атмосферу. Сравнение интенсивности образования и ухода газов позволяет количественно оценить современные характеристики проницаемости горных пород и содержание газов, а также по давлению газов и неотектоническим проявлениям прогнозировать появление газодинамических явлений.

На протяжении многих лет С.Н. Осипов выполняет большую научно-методическую и организационную работу, участвуя в работе различных комиссий (например, по защите отечественных товаропроизводителей), Советов (по защите диссертаций и экспертного Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь) и комитетов РУП «Стройтехнорм» Минстройархитектуры Республики Беларусь.

Основное дело жизни Сергея Николаевича – научная работа. За время службы в ВГСЧ им созданы научные основы управления вентиляцией и предотвращения взрывов при ликвидации подземных пожаров в газоопасных горных выработках с использованием инертных газов. Его разработки всегда отличаются новизной решений и теоретическим обоснованием при достаточно простой их практической реализации. Так, для теоретического объяснения процессов возникновения и развития газодинамических явлений в горных выработках С.Н. Осипов использовал вибрационно-волновой механизм разрушения породы, находящейся в зоне аномальных неотектонических напряжений.

Друзья, коллеги по работе, многочисленные ученики, редколлегия журнала «Горная механика и машиностроение» горячо и сердечно поздравляют юбиляра. Примите, Сергей Николаевич, наши пожелания крепкого здоровья, счастья, благополучия, и, конечно, новых свершений в науке, которой Вы верно, преданно и самоотверженно служите долгие годы.



## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

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

1. Материал статьи должен соответствовать профилю журнала и излагаться предельно ясно.

2. Поступившие в редакцию статьи проходят рецензирование. Основные критерии целесообразности опубликования – актуальность тематики, научная новизна.

3. Статья должна быть представлена в распечатанном и в электронном виде в формате текстового редактора Word for Windows (97/2000/2003). Шрифт текста Times New Roman, размер 12 п., интервал – 1.

4. В статье должны быть указаны индекс УДК, название статьи, фамилии авторов, наименования организаций, в которых работают авторы. Статья должна содержать: аннотацию (до 10 строк), введение, основную часть, заключение, завершаемое четко сформулированными выводами, список использованных источников. Аннотация и название статьи, а также фамилии авторов должны быть представлены на английском и русском языках.

5. Рисунки должны быть четкими черно-белыми и созданы в одном из графических редакторов (формат tif, pch, bmp, gif, cdr, wmf, psd), графики присоединены с помощью табличного процессора «Excel» или «MS Graph» (встроенного в «Word»). Все обозначения на рисунках должны быть расшифрованы.

6. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. На все таблицы и рисунки следует давать ссылки в тексте.

7. Обозначения, приведенные в статье, расшифровываются непосредственно в тексте, кроме того, могут быть вынесены на отдельную страницу.

8. Размерность всех величин, приведенных в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ). Не следует употреблять сокращения, кроме общепринятых. Для обозначения физических величин используется курсивный шрифт, для математических символов типа cos, max, критериев вида Nu, Re и т.п., чисел, химических символов – прямой шрифт. Для русских и латинских букв в индексах используется прямой шрифт, если они не относятся к обозначениям физических величин, а являются сокращением слова, курсив – если принимают последовательные значения или служат для перечисления чего-либо, обозначения ряда чисел и т.п.

9. Список использованных источников должен быть приведен в конце статьи и содержать полные библиографические данные. Список должен быть составлен в порядке упоминания ссылок в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

10. Авторам необходимо на отдельной странице предоставить о себе следующие сведения: фамилия, имя, отчество, почтовый адрес для переписки, место работы и занимаемая должность, а также номера телефонов, факсимильной и электронной связи.

1. The feature material should correspond to the magazine's profile and should be expounded very understandable.

2. The articles provided to the magazine editorial staff are reviewed. The main criteria of publishing feasibility are subjects' urgency and scientific novelty.

3. The article should be presented in printed out and electronic form in the Word format for Windows (97/2000/2003). The body text is Times New Roman, size 12, interval – 1.

4. The UDC number, article's title, authors' surnames, names of organizations where the authors work should be stated in the article. The article should contain annotation (till 10 lines), introduction, the basic part, the conclusion finished by accurately formulated consequences, and as well as the list of the used sources. The annotation, the article's title and as well as the authors' surnames should be presented in English and Russian languages.

5. The pictures should be well-defined black-and-white and should be created in one of the graphic editors (format tif, pch, bmp, gif, cdr, wmf, psd); in this case they are attached with tabular based processor Excel or MS Graph (built-in Word). All symbols at the figures should be deciphered.

6. The tables are placed directly in the text of the article. Each table should have the title. All tables and diagrams should have references in the text.

7. Symbols used in the article are deciphered directly in the text; in addition they could be taken out on a separate page.

8. Dimension of all sizes accepted in the article should correspond to the International System of Units (SI). The abbreviations except for the standards should not be used. Designations of physical quantities are given by Italic characters. Mathematical symbols such as cos, max, criteria of kind Nu, Re, etc., numbers, chemical symbols are given by Roman characters. Russian and Latin letters in indexes are given by Roman characters if they do not refer to designations of physical quantities and are word abbreviations, they are given by Italics if they accept successive values or serve for enumeration of something, sequence designation, etc.

9. The list of the used sources should be given at the end of the article and contain full bibliographic data. The list should be made in the order as the references are mentioned in the text. The references to the unpublished works are not allowed.

10. The authors should provide the following information on a separate page: surname, given name, patronymic name, and postal address for correspondence, place of employment and work status; as well as phone numbers, fax number, and e-mail address.



Подписные  
индексы:

749332

74933

# ІІР

**Основные направления научно-исследовательской  
деятельности ЗАО "Солигорский Институт  
проблем ресурсосбережения с Опытным производством"**

- 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-обогачительного оборудования;
- разработка оборудования для комплексов по перегрузке и складированию сыпучих материалов;
- разработка высокопроизводительной технологии обогащения полезных ископаемых;
- разработка композиционных и теплозвукоизоляционных материалов;
- разработка конструкционных материалов и покрытий, предназначенных для использования в агрессивных химически активных, абразивных средах предприятий горной промышленности;
- совершенствование технологии добычи и повышение безопасности ведения горных работ на месторождениях полезных ископаемых;
- моделирование и автоматизированное проектирование горных машин, работающих на глубине более 1000 м во взрывоопасной среде и при больших давлениях;
- разработка автоматизированных систем управления горно-шахтным добывающим и перерабатывающим оборудованием.

**Адрес редакции:**

223710, Республика Беларусь,  
Минская обл., г. Солигорск, ул. Козлова, 63

**Телефоны:**

(+375 174) 26 28 37 главный редактор (приемная)

(+375 174) 26 35 32 ответственный секретарь

E-mail: [ipr@sipr.by](mailto:ipr@sipr.by)

ISSN 1728-3841



9 771728 384000