

УДК [622.324.5+622.333]:621.512

А. Ф. Булат, акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор
(ИГТМ НАН України)

Г. В. Кирик, канд. физ.-мат. наук
(ООО «МИКЭМ»)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ МАШИНЫ В ПРОЦЕССАХ ДОБЫЧИ УГЛЯ И МЕТАНА

А. Ф. Булат, акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор
(ИГТМ НАН України)

Г. В. Кирик, канд. физ.-мат. наук
(ТОВ «МІКЕМ»)

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОМПРЕСОРНІ МАШИНИ В ПРОЦЕСАХ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ ТА МЕТАНУ

A. F. Bulat, Acad. NASU, D. Sc. (Tech.), Professor
(IGTM NAS of Ukraine)

G. V. Kirik, Ph.D. (Ph. and Math.)
(Ltd. "MIKEM")

ENERGY-EFFICIENT COMPRESSOR MACHINES IN THE PROCESS OF THE COAL MINING AND METHANE RECOVERY

Аннотация. Решена актуальная проблема повышения надежности и энергоэффективности работы компрессорных установок в условиях угольных шахт.

Созданы конкурентоспособные отечественные азотные мембранные станции, а также разработаны компоновочные схемы компрессорных установок для получения газообразного азота. Выполнены модельные расчеты проницаемости, производительности, распределения давления в блоках из полуволоконных мембран при различных внешних условиях и параметрах газовой среды. Установлены экспериментальные зависимости производительности мембранных газоразделительных блоков от величины заданной концентрации азота и температуры воздуха, что позволяет оптимизировать их компоновку и условия эксплуатации. Впервые созданы отечественные автоматические метаноутилизационные установки с дистанционной автоматической передачей данных, производительностью 570-1551 м³/час, потребляемой мощностью 60 кВт, тепловой мощностью 5-8 МВт.

Исследованы закономерности отказов узлов винтовых компрессорных машин, работающих в горнорудной отрасли, выявлены наиболее слабые звенья компрессорных машин и предложен комплекс мероприятий по оптимизации их долговечности. Разработаны средства автоматизации, управления, удаленного мониторинга компрессорных машин и специализированного оборудования для обеспечения их безопасной и энергоэффективной работы в шахтах.

Ключевые слова: компрессорные машины, энергоэффективность, процессы добычи угля и метана.

Оптимизация пневмоэнергетического комплекса шахт путем совершенствования технологии производства сжатого воздуха и создания высокоэффективных подземных компрессорных станций заданной производительности для повышения надежности пневмоснабжения, увеличения темпов угледобычи и экономии энергоресурсов является актуальной задачей энергосбережения.

Сжатый воздух является одним из основных видов используемой в горнорудной отрасли - в энергии шахт и рудников для привода добычных, бурильных, погрузочных машин, в проходческих и других устройствах. Он также является и самым дорогим видом энергии, используемым в современной горнорудной отрасли, что обусловлено относительно невысоким КПД компрессорных машин, потерями сжатого воздуха в пневмосетях. Его использование в качестве энергии пневмопривода машин обходится в 7-10 раз дороже, чем при использовании электропривода. Доля затрат электроэнергии в себестоимости добычи от 5 % в 1990 году возросла в настоящее время до 18-20 %. Удельный вес пневмоэнергии в энергобалансе горных предприятий с подземным способом добычи составляет 20-30 % [1, 2].

Актуальным является повышение надежности и эффективности работы компрессорных установок в условиях угольных шахт, включая тупиковые выработки. Возникает потребность создания компрессорных машин у которых существенно улучшается надежность работы в сложных условиях эксплуатации. Важным также является разработка способов применения компрессорных машин в технологии добычи и утилизации метана, использование тепловой энергии шахтного водоотлива и предотвращения подземных пожаров [3].

Созданы установки для добычи, утилизации и использования шахтного метана. Актуальность этой проблемы связана с необходимостью обеспечения безопасной работы угольных шахт, выполнением требований Киотского протокола, а также открывающимися перспективами широкого использования шахтного метана, как энергоносителя [4-6].

Разработаны схемы и установки для дегазации угольных пластов и утилизации шахтного метана (рис. 1, табл. 1), а также систем автоматического управления их работой. Мероприятия первоначальной защиты от взрыва служат для предотвращения образования взрывоопасных газовых смесей. При превышении допустимых концентраций система непрерывного контроля концентрации и состава метана и наличия кислорода в шахтном метане выключает установку, чтобы предотвратить образование взрывоопасных газовых смесей.

Контейнерная газоутилизационная установка (УКГ-5/8) предназначена для утилизации шахтного газа действующих и закрытых шахт путем его сжигания в специальной камере и предотвращения этим выделения в атмосферу вредного парникового газа - метана (CH_4). Установки могут откачивать газ непосредственно из дегазационной скважины. Взрывозащищенность обеспечивается конструктивными решениями за счет непрерывного контроля содержания метана. При концентрации метана 1 % установка отключается. Используется взрывозащищенное оборудование и пламепреградители. Техническая производительность УКГ-5/8 ограничена 8 МВт тепловой энергии, оптимальной длительной мощностью 5 МВт. Установка производит постоянный автоматический анализ поступающего газа на содержание CH_4 , O_2 и CO_2 . Отмечено, что метан в 21 раз вреднее углекислого газа образуемого при его сгорании в установке.

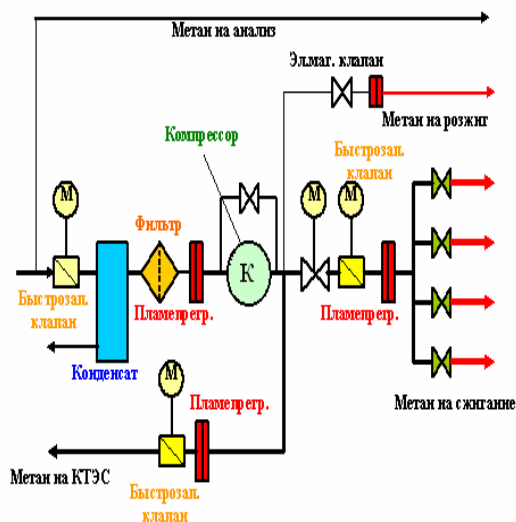


Рисунок 1 - Схема и внешний вид установки для дегазации угольных пластов, утилизации шахтного метана типа УКГ- 5/8.

Таблица 1 - Технические характеристики контейнерной газопутилизационной установки

Рабочая среда		Шахтный газ (25 % и более CH ₄)
Производительность, м ³ /час		570-1551
Перепад давления, кгс/см ²		0,1
Потребляемая номинальная мощность, кВт		60
Напряжение питания, В		400
Тепловая мощность номинальная, МВт		5
Температура сжигания газа, °С		1200
Габаритные размеры контейнера, мм	длина	6000
	ширина	2650
	высота	2750
Масса контейнера с оборудованием, кг		11000
Габаритные размеры трубы, мм	диаметр	2100
	высота	5400
Масса трубы, кг		2000

Проанализированы взаимосвязь структуры, проницаемости и сорбционные свойства углей, вмещающих метан (рис. 2). Образцы угля характеризуются наличием развитой поверхности и имеют пористую структуру, характеризующуюся макро-, микро-, нанопорами. Это поверхность хорошо адсорбирует метан. Рассмотрены особенности структуры углей, представляющих собой природный полимерный материал в аморфном состоянии с развитой пористой структурой полностью, или частично заполненных флюидами, которые также находятся и в междумолекулярном пространстве полидисперсного саморегулирующегося многокомпонентного образования, способного к изменению своей структуры под воздействием внешних напряжений и сорбируемых газов. По-видимому, следует также учитывать возможность образования метана при горном ударе за счет механодеструкции угля, образования наночастиц.

Рассмотрены проблемы дегазации угольных пластов, проблема утилизации шахтного метана. Расчеты на моделях показали, что после нагнетания газов (CO₂ + N₂) метаноотдача угольного пласта возрастает (рис. 3).

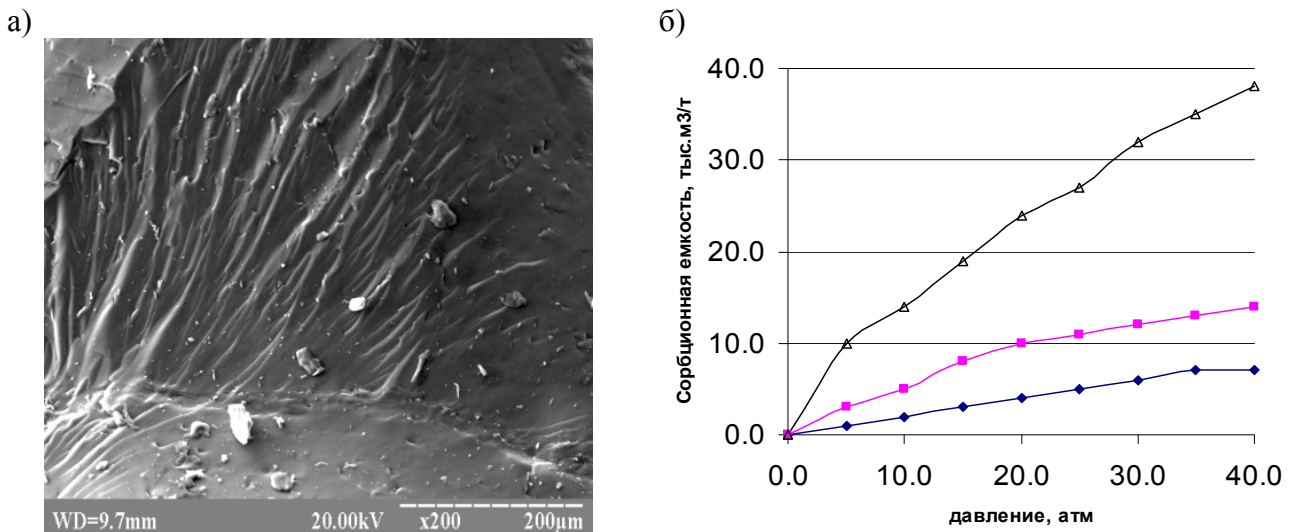
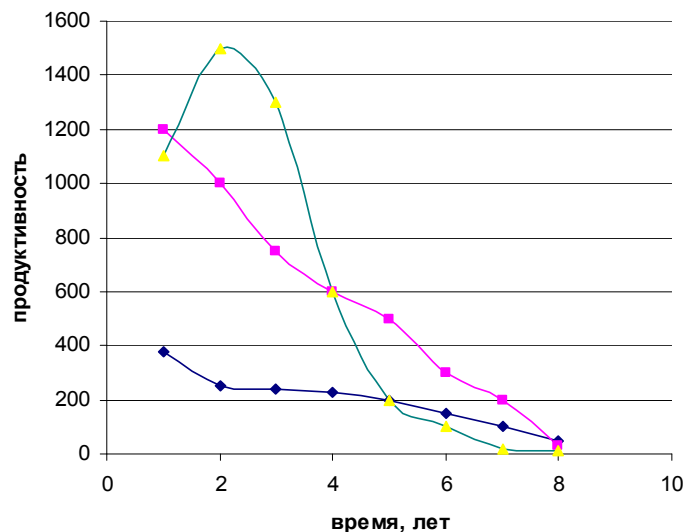


Рисунок 2 - Структура поверхности скола угля (а) и типичные сорбционные зависимости различных газов на угле (б) в зависимости от давления: 1 - азот, 2 - метан, 3 - CO₂



1 – без закачки; 2 – закачка азота; 3 – закачка CO₂

Рисунок 3 - Модельные результаты зависимости метаноотдачи угольного пласта от времени после закачки газов

Предложена модель воздействия на угольные пласты газов, различающихся энергией сорбции и возможные схемы интенсификации метаноотдачи угольных пластов (рис.4).

Разработаны установки для инертнизации атмосферы, предупреждения и тушения пожаров в горных выработках, а также винтовые компрессорные станции для получения газообразного азота из воздуха путем мембранного разделения. Актуальность разработки таких новых для горнорудной отрасли установок диктуется перспективами их использования с учетом экономической целесообразности, опирающейся на зарубежный опыт и расчеты эффективности.

Предложена модель выделения метана в тупиковой выработке и определено время достижения взрывоопасной концентрации. При стационарном процессе скорость поступления газа в выработку совпадает со скоростью выноса газа из

выработки. Однако поступает в выработку чистый метан, а выносится метано-воздушная смесь.

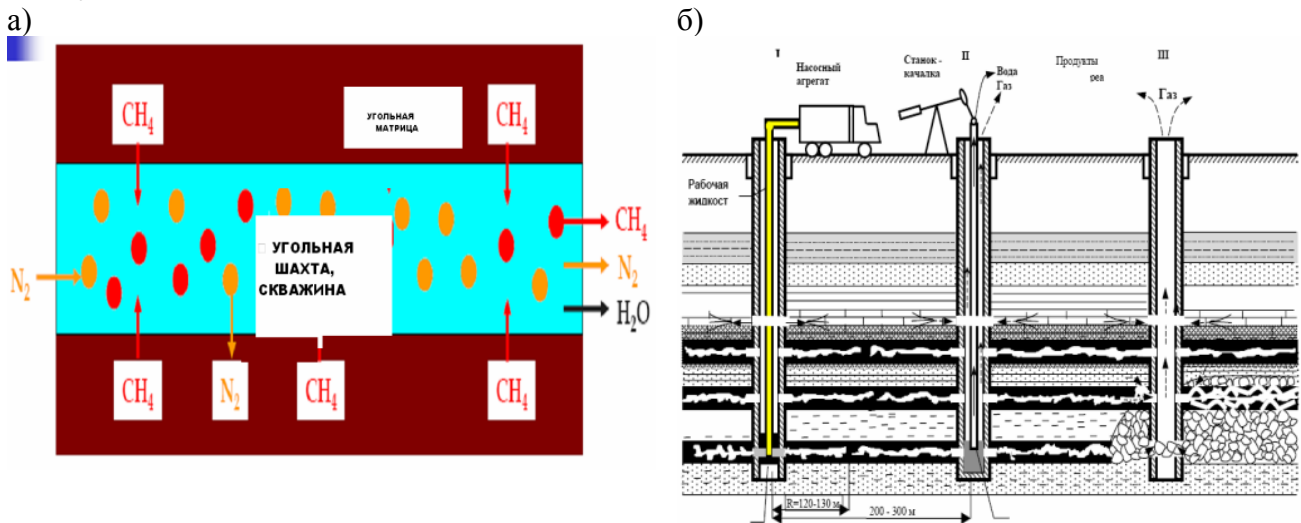


Рисунок 4 - Модель воздействия газов на угольные пласты (а) и возможная схема интенсификации метаноотдачи угольных пластов (б) с использованием мембранных азотных станций.

Поэтому изменение средней концентрации c метана в выработке подчиняется дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \varphi(t)(1 - c). \quad (1)$$

Преимущество записи в безразмерном виде состоит в возможности получать концентрацию метана непосредственно в процентах. Решение уравнения (1) имеет вид

$$c(t) = 1 - e^{-\int_0^t \varphi(t') dt'}$$

График этой функции представлен на рис. 5. Он позволяет оптимизировать применение азотных мембранных станций для предупреждения взрыва метана.

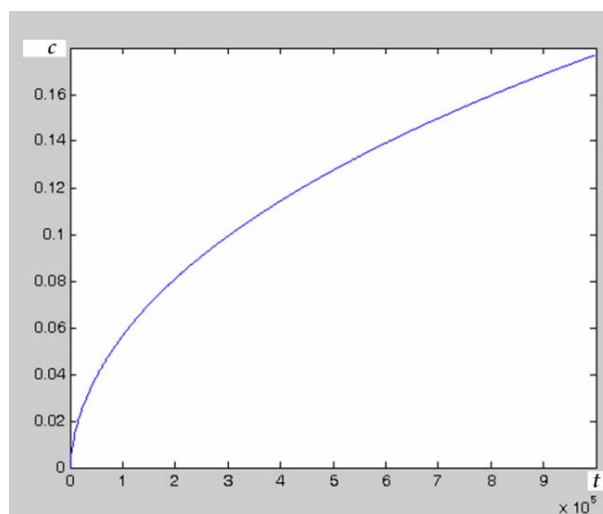


Рисунок 5 - Зависимость средней концентрации метана в атмосфере выработки от времени t

В начальный период концентрация метана растет линейно, как $\varphi(0)t$, а с течением времени концентрация приближается к единице по экспоненциальному закону. Это означает, что с течением времени выработка заполняется только метаном, т.е. метан полностью вытесняет воздух из выработки. Это вытеснение, согласно очень грубой оценке, происходит за время порядка нескольких суток. В действительности, из-за истощения источников, т.е. убывания $\varphi(t)$, полное вытеснение воздуха происходит за месяцы или даже годы.

Наибольшую актуальность представляет определение времени достижения взрывоопасной концентрации. Из рис. 5 видно, каким образом можно определить время t_{cr} достижения взрывоопасной концентрации. С этой целью необходимо строить серии численных решений уравнения (1), меняя такие параметры, как коэффициент фильтрации, скорость подвигания забоя, скорость движения конвейерной ленты, размер фракции добываемого угля. Для определенности принимали нормативное значение взрывоопасной концентрации $c_{cr}=0,03$. Для разгазирования участков могут быть использованы азотные станции, размещаемые непосредственно в забое, или на поверхности.

Моделирование процессов разделения воздуха в полволоконных модулях (рис. 6) позволило оптимизировать конструкцию газоразделительных модулей азотных мембранных компрессорных станций.

Один из вариантов параметров азотных мембранных станций приведен в табл. 2. Рабочие параметры воздуха на входе в мембранный модуль должны отвечать следующим требованиям: отсутствие капельной влаги; содержание масла – не более $0,01 \text{ мг/м}^3$; содержание механических примесей не более $0,01 \text{ мг/м}^3$; температура не более 50°C .

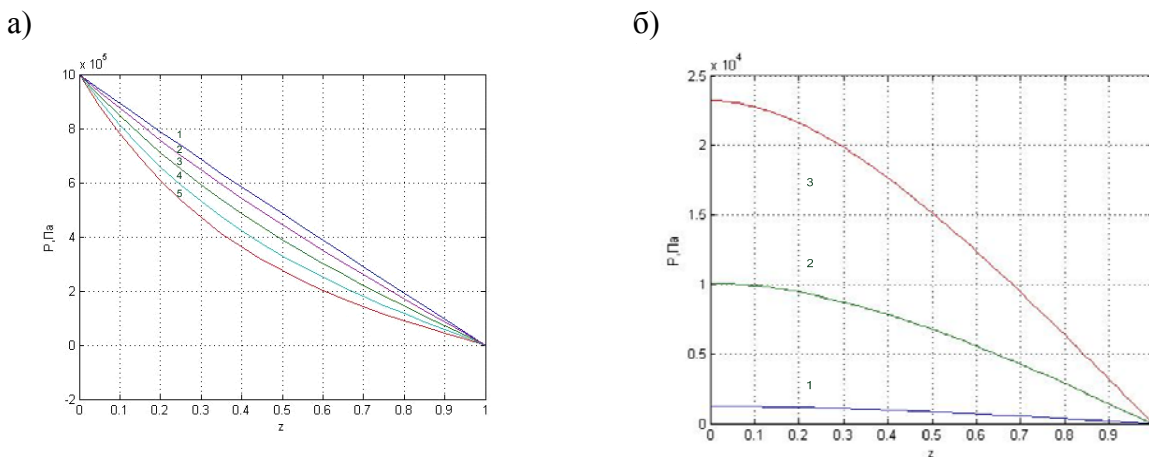


Рисунок 6 - Распределение давления по длине полволоконных мембран (а) при $\gamma=63.3$ и варьировании параметра λ : 1 - $\lambda=0,5$; 2 - $\lambda=1,0$; 3 - $\lambda=1,5$; 4 - $\lambda=2,0$; 5 - $\lambda=2,5$ и распределение давления по длине волокна в межволоконном пространстве (б) при $\gamma=63.3$ и варьировании параметра λ : 1 - $\lambda=0,5$; 2 - $\lambda=1,5$; 3 - $\lambda=2,5$

На рис. 7 показаны типичные экспериментальные результаты зависимостей производительности газоразделительных мембранных блоков от концентрации и температуры.

Предложено также использовать дополнительно ожижитель газообразного

азота. Расчетные значения коэффициентов извлечения газообразного азота представлены в табл. 3. Величиной U_A обозначена концентрация азота в потоке азота на выходе из мембранного модуля, β_A - коэффициент извлечения газообразного азота, $(\beta_A)_{max}$ - максимальное значение коэффициента извлечения.

Таблица 2 - Параметры установки АМВП-15/0,7 С У1

Объемная производительность по азоту	15 м ³ /мин
Конечное избыточное давление азота	0,7 мПа
Концентрация азота	95 %
Мощность потребляемая станцией	350 кВт
Напряжение питания приводного электродвигателя	6000 В
Габаритные размеры:	
- длина	13540 мм
- ширина	2500 мм
- высота	4000 мм
Масса	30000 кг

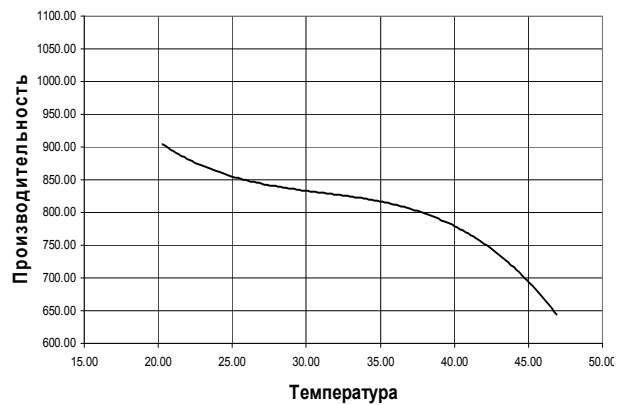
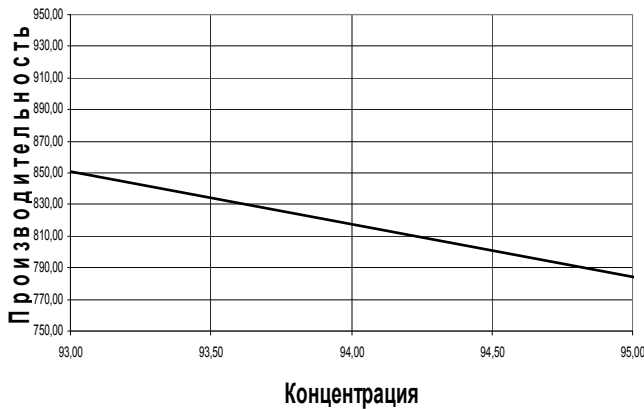


Рисунок 7 - Типичные экспериментальные результаты зависимостей производительности газоразделительных мембранных блоков от концентрации и температуры

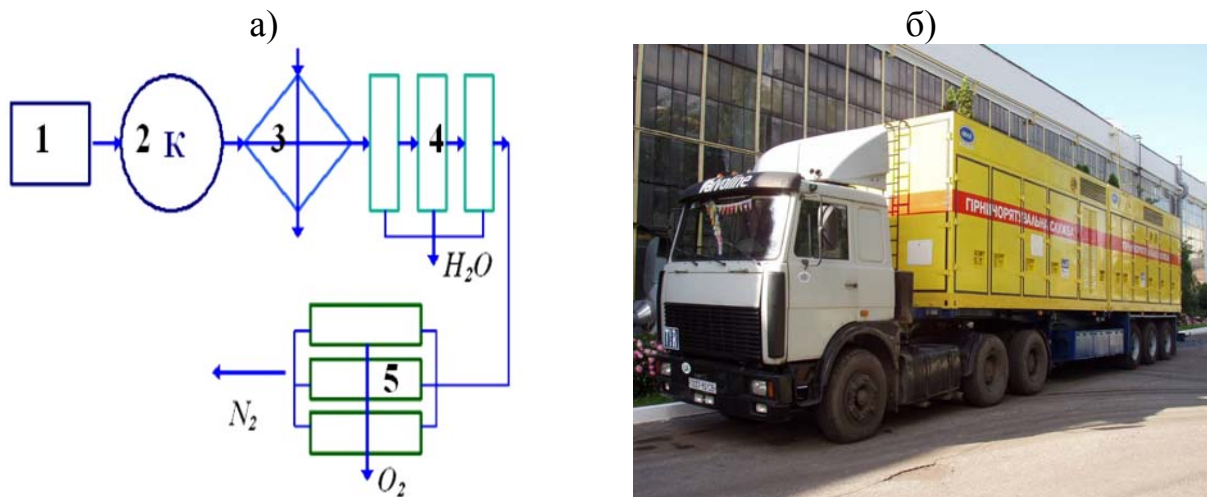
Таблица 3 - Характеристики степени извлечения газообразного азота

Марка установки	U_A	β_A	$\beta_A / (\beta_A)_{max}$
АМВП-0,25/1,2	0,99	0,125	0,16
АМВ-2,5/0,7	0,95	0,328	0,43
АМВ-5,5/0,7	0,95	0,36	0,48
АМВП-15/0,7	0,95	0,344	0,46
НД-20/33	0,95	0,483	0,64
СД-10/250	0,95	0,483	0,64

Наличие ожижителя позволит наработать некоторый запас жидкого азота заблаговременно, а также в процессе следования станции к месту назначения в случае использования дизельного привода компрессора.

Полученные результаты лабораторных исследований по определению минимальной огнетушащей концентрации азота при тушении угля, позволили оптимизировать параметры станций для получения азота.

В 2003-2007 годах станции АМВП-15/0,7 С У1 (рис. 8) были задействованы при ликвидации аварий на угольных шахтах Украины.



1- первичные датчики (давления, температуры, тока, уровня масла); исполнительные механизмы (электромагнитные клапаны, электродвигатели, электронагреватели; 3- силовая пуско-защитная аппаратура (автоматические выключатели, пускатели, электротепловые реле, предохранители, трансформаторы); 4- измерительная и управляющая аппаратура (измерительные преобразователи, регуляторы, реле, контроллеры), органы управления и индикации (переключатели, кнопки, сигнальная арматура)

Рисунок 8 - Принципиальная схема (а) и внешний вид азотной станции типа АМВП-15/0,7 С У1 (б)

Разработаны системы удаленного мониторинга азотных компрессорных станций, оптимизированы характеристики разработанных контроллеров, а также характеристики системы удаленного мониторинга, включающие: одновременную работу в реальном времени нескольких пользователей с несколькими устройствами; практически неограниченный объем накапливаемой информации; гибкую систему коммуникаций и мониторинга; безопасную передачу данных (возможность шифрования); использование стандартных инфраструктур (GSM/GPRS, Internet, OPC); использование открытых протоколов передачи данных (ModBus, TCP/IP, SMTP, FTP и т.д.); возможность работы с устройствами сторонних производителей. При этом уровень устройств позволяет осуществлять мониторинг и управление устройством или группой устройств. Он представлен контроллером COMCONT-M. Имеет энергонезависимую память, в которой способен накапливать информацию об аварии, события и данные. Связь с контроллером осуществляется через интерфейс стандарта RS232/RS485, протокол ModBus RTU.

Рассмотрены особенности требований к системе охлаждения, подготовки воздуха, привода, шумоглушению, автоматике шахтных компрессорных машин и систем удаленного мониторинга (рис. 9).

Разработанные и усовершенствованные технологии изготовления азотных мембранных станций, а также методы их испытания с учетом специфики эксплуатации в горнорудной отрасли, позволили разработать научные основы создания систем инертизации горных выработок при оптимальном оснащении их подземными азотными станциями, или станциями наземного базирования. Обоснованы оптимальные параметры азотных мембранных станций и комплекса системы автоматики для обеспечения безопасной работы в горных выработках.

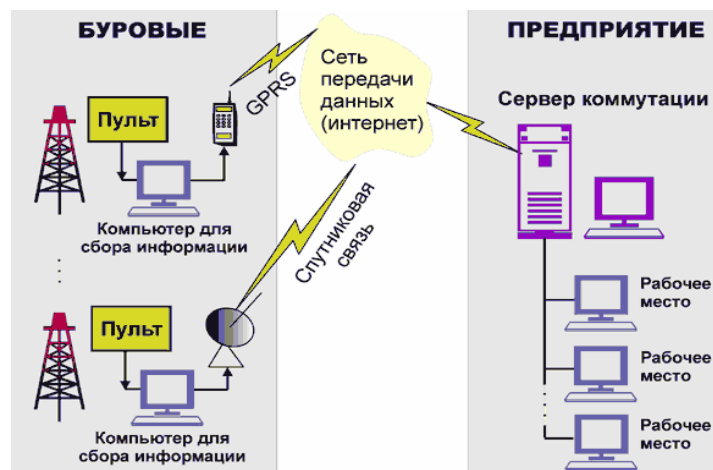


Рисунок 9 - Схема системы удаленного мониторинга АМВП и УКГ

Разработаны конструкции и технологии создания машин для получения жидкого азота из газообразного. Усовершенствованы конструкции шахтных винтовых компрессорных установок (рис. 10), а также получены статистические данные отказов узлов и блоков компрессорных машин при их эксплуатации в условиях угольных шахт.



Рисунок 10 - Шахтная винтовая компрессорная установка УКВШ-10/7 А У2 с электрической системой защиты

На основе системного анализа выявлено, что основными дестабилизирующими факторами воздействия на технико-экономические показатели компрессорных машин являются износ нагруженных узлов, что сопровождается увеличением электропотребления системы привода, или остановкой. Особенно нежелателен износ винтовых пар, поскольку увеличение зазора между ними в процессе эксплуатации приводит к существенному снижению КПД.

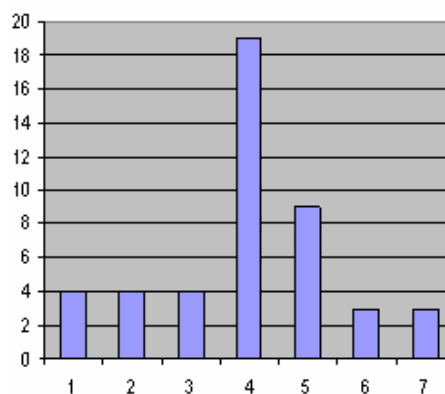
Установленный ресурс по элементам от 2107 до 13162 ч. Вероятность безотказной работы элементов при этом колеблется от 0,975 до 0,9995. Вероятность безотказной работы при установленном ресурсе системы в целом равна 0,9434. Средняя наработка на отказ по элементам колеблется от 20000 час до 125000 час. Вероятность безотказной работы элементов при этом колеблется от 0,827 до 0,998.

Проведены расчеты показателя надежности узлов и компрессорных ма-

шин в целом. В табл. 4 и на рис. 11 представлены результаты расчетов показателей надежности.

Таблица 4 - Расчетные значения показателей надежности элементов компрессорной машины

№ п/п	Наименование	Средняя наработка на отказ, $T_{срi}$, час	Плотность вероятности отказа, f_i	Вероятность безотказной работы, P_i	Интенсивность отказа, λ_i	Установленная безотказная наработка, T_{yi}
1	Контроллер	39736	$1,78 \cdot 10^{-5}$	0,827	$2,03 \cdot 10^{-5}$	
2	Блок подачи воздуха	85969	$9,2 \cdot 10^{-8}$	0,9975	$9,22 \cdot 10^{-8}$	9057
3	Воздухоохладитель предварительный	50000	$5,27 \cdot 10^{-7}$	0,995	$8,99 \cdot 10^{-7}$	5288
4	Конденсатоотводчик	30000	$2,2 \cdot 10^{-6}$	0,987	$2,23 \cdot 10^{-6}$	3160
5	Фильтр грубой очистки	100000	$2,03 \cdot 10^{-8}$	0,998	$2,03 \cdot 10^{-8}$	10536
6	Фильтр тонкой очистки	100000	$2,03 \cdot 10^{-8}$	0,998	$2,03 \cdot 10^{-8}$	10536
7	Электронагреватель	25000	$4,04 \cdot 10^{-6}$	0,978	$4,13 \cdot 10^{-6}$	2634
8	Датчик давления	125000	$8,7 \cdot 10^{-8}$	0,9975	$8,71 \cdot 10^{-8}$	13162
9	Датчик температуры	20000	$8,9 \cdot 10^{-7}$	0,96	$8,94 \cdot 10^{-7}$	2107



1- фильтр масляный; 2 – термометр; 3 – компрессорный блок; 4- контроллер; 5 – электродвигатель; 6 - клапан всасывания; 7 – регулятор температуры

Рисунок 11 - Гистограмма относительной частоты выхода из строя узлов и деталей компрессоров в процессе эксплуатации в угольных шахтах

Изложены перспективы создания смарт компрессорных машин и наноконпрессоров для оснащения ими смарт-шахт. При этом пневмоэнергетичный комплекс, как компонент «умной» шахты, базируется на современных информационных технологиях, которые дают информацию об окружающей среде, состоянии узлов и блоков компрессорных станций, условиях и программах их эксплуатации, стане сервисного обслуживания, наличия потенциальных угроз и способах их минимизации.

Основные результаты сводятся к следующему.

1. Впервые созданы конкурентоспособные отечественные азотные мембранные станции, а также разработаны компоновочные схемы компрессорных установок для получения газообразного азота давлением 8-250 атм. Выполнены модельные расчеты проницаемости, производительности, распределения давления в блоках из полволоконных мембран при различных внешних условиях и параметрах газовой среды. Установлены экспериментальные зависимости производительности мембранных газоразделительных блоков от величины заданной концентрации азота и температуры воздуха, что позволяет оптимизировать их компоновку и условия эксплуатации.

2. Впервые созданы отечественные автоматические метаноутилизационные установки типа УКГ - 5/8 с дистанционной автоматической передачей данных, производительностью 570-1551 м³/час, потребляемой мощностью 60 кВт, тепловой мощностью 5-8 МВт.

3. Исследованы закономерности отказов узлов винтовых компрессорных машин, работающих в горнорудной отрасли, выявлены наиболее слабые звенья компрессорных машин и предложен комплекс мероприятий по оптимизации их долговечности. Разработаны средства автоматики, управления, удаленного мониторинга компрессорных машин и специализированного оборудования для обеспечения их безопасной и энергоэффективной работы в горнорудной отрасли.

4. Внедрены на предприятиях горнорудной отрасли Украины новые энергоэффективные компрессорные машины и специализированные установки:

- более 1500 энергоэффективных компрессорных машин для угольных шахт;
- 10 азотных мембранных компрессорных станций для предупреждения и тушения пожаров в угольных шахтах газообразным азотом. Ориентировочный экономический эффект от применения станций составил около 120 млн. грн;
- 3 газоутилизационные установки для извлечения метана из угольных пластов, снижения опасности по выбросам метана, решения требований Киотского протокола по снижению эмиссии парниковых газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Докукин, А.В. Применение сжатого воздуха в горной промышленности / А.В. Докукин. - М.: Госгортехиздат, 1962. - 348 с.
2. Воронецкий, А.В. Современные компрессорные станции / А.В. Воронецкий. - М.: Премиум Инжиниринг, 2009.-445 с.
3. О проблемах пневмоэнергетического комплекса шахт / Б.А. Грядущий, Г.В. Кирик., А.Н. Коваль [и др.] // Компрессорное и энергетическое машиностроение. - №1(11). – 2008. - С. 2-5.
4. Кирик, Г.В. Новые композиционные материалы: монография / Г.В. Кирик, В.Н. Радзиевский, А.Д. Стадник. Сумы: Университетская книга, 2011. - 310 с.
5. Теплообменные аппараты компрессорных установок. Исследования, конструкция, технология / Радзиевский В.Н., Кирик Г.В., Лавренко А.М., Котов А.М. - Сумы: Слобожанщина, 2007. – 317 с.
6. Бондаренко, Г.А. Компрессорные станции. Воздушные компрессорные станции: учебное пособие / Г.А. Бондаренко, Г.В. Кирик. Сумы: Сумский государственный университет, 2012. - 344 с.

REFERENCES

1. Dokukin, A.V. (1962), *Primeneniye szhatogo vozdukha v gornoy promyshlennosti* [Using of compressed air in mining], Gosgortekhzdat, Moscow, SU.
2. Voronetsky, A.V. (2009), *Sovremennyye kompressornyye syanttsiyyi* [Modern compressor stations], Premium Engineering, Moscow, Russia.

3. Gryaduschiy, B.A., Kirik G.V., Koval A.N., Loboda V.V., Zharkov P.E. and Lavrenko A.M. (2008), "About problems of pneumo-energetic complex of mines", *Compressor and power engineering*, no. 1(11), pp. 2-5.

4. Kirik, G.V., Radzievsky, V.N. and Stadnik, A.D. (2011), *Novyye kompozitsionnyye materialy* [New composite materials]: monograph, University Book, Sumy, Ukraine.

5. Radzievsky, V.N., Kirik, G.V., Lavrenko, A.M. and Kotov, A.M. (2007), *Teploobmennyye apparaty kompressornikh ustanovok. Issledovaniye, constructsiya, tekhnologiya* [Heat exchangers compressor units. Research, design, technology], Sloboda, Sumy, Ukraine.

6. Bondarenko, G.A. and Kirik, G.V. (2012), *Compressornyye stantsiyi. Vozdushniye kompressornyye stantsiyi* [Compressor stations. Air compressor station], Tutorial, State University, Sumy, Ukraine.

Об авторах

Булат Анатолій Федорович, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, igtmnanu@yandex.ru.

Кирик Григорий Васильевич, кандидат физико-математических наук, президент, ООО «Международный институт компрессорного и энергетического машиностроения» (ООО «МИКЭМ»), Сумы, Украина.

About the authors

Bulat Anatoly Fedorovich., Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Director of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmnanu@yandex.ru

Kirik Grigory Vasilyevich., Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), President, "International institute of compressor and power engineering" (Ltd. "MIKEM"), Sumy, Ukraine.

Анотація. Вирішено актуальну проблему підвищення надійності та енергоефективності роботи компресорних установок в умовах вугільних шахт. Створено конкурентоспроможні вітчизняні азотні мембранні станції, а також розроблені компоновочні схеми компресорних установок для одержання газоподібного азоту. Виконано модельні розрахунки проникності, продуктивності, розподілу тиску в блоках з половолоконних мембран при різних зовнішніх умовах і параметрах газового середовища. Установлено експериментальні залежності продуктивності мембранних газороздільних блоків від величини заданої концентрації азоту і температури повітря, що дозволяє оптимізувати їхнє компонування та умови експлуатації. Уперше створені вітчизняні автоматичні метанопутилізаційні установки з дистанційною автоматичною передачею даних, продуктивністю 570-1551 м³/годину, споживаною потужністю 60 кВт, тепловою потужністю 5-8 МВт. Досліджено закономірності відмов вузлів гвинтових компресорних машин, що працюють у гірничорудній галузі, виявлені найбільш слабкі ланки компресорних машин і запропонований комплекс заходів щодо оптимізації їхньої довговічності. Розроблено засоби автоматизації, керування, дистанційного моніторингу компресорних машин і спеціалізованого устаткування для забезпечення його безпечної та енергоефективної роботи в шахтах.

Ключові слова: компресорні машини, енергоефективність, процеси видобутку вугілля і метану.

Abstract. A pressing problem of improving reliability and energy efficiency of the compressor units in conditions of the coal mines was solved by the authors. The competitive domestic nitrogen membrane stations were created, and layout diagrams for compressor plants were designed in order to produce gaseous nitrogen. Permeability, performance, pressure distribution in the blocks made of hollow fiber membranes were simulated under different external conditions and parameters of the gaseous medium. Experimental dependences between performance of the membrane gas-separating units and a value of the given nitrogen concentration and air temperature were established, which allow to optimize the unit layout and operating conditions. First domestic automatic methane-disposal plant was designed with remote automatic data transfer, productivity 570-1551 m³, power consumption 60 kW, heat output 5,8 MW. The failure regularities of the nodes of the screw compressor machines, which work in the mining industry, were studied; the most critical units of the compressor machines were specified; and a set of measures is proposed for optimizing

the machine operating life. Facilities of automation, control, remote monitoring were designed for the compressor machines and specialized equipment to ensure their safety and power efficient operation in the mines.

Keywords: compressor machines, energy efficiency, process of the coal mining and methane recovery.

Статья поступила в редакцию 04.04.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко

УДК 622.023.623:622.411.332

С. И. Скипочка, д-р техн. наук, профессор,
Т. А. Паламарчук, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины);

С. А. Омельченко, д-р физ.-мат. наук,
О. В. Хмеленко, канд. физ.-мат. наук
(ГВУЗ «ДНУ»)

МЕТАНОГЕНЕРАЦИЯ И МЕТАМОРФИЗМ УГЛЕЙ

С. І. Скіпочка, д-р техн. наук, професор,
Т. А. Паламарчук, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,
(ИГТМ НАН України);

С. О. Омельченко, д-р фіз.-мат. наук,
О. В. Хмеленко, канд. фіз.-мат. наук
(ДВУЗ «ДНУ»)

МЕТАНОГЕНЕРАЦІЯ ТА МЕТАМОРФІЗМ ВІГІЛЛЯ

S. I. Skipochka D. Sc. (Tech.), Professor,
T. A. Palamarchuk, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
(IGTM NAS of Ukraine);

S. A. Omelchenko, D. Sc. (Phys.-math.),
O. V. Khmelenko, Ph. D. (Phys.-math.)
(SHEE «DNU»)

METHANE GENERATION AND COAL METAMORPHISM

Аннотация. Цель работы – исследовать особенности атомарно-молекулярной структуры угольного вещества разной степени метаморфизма, в том числе при его дезинтеграции. В работе использованы методы научного анализа и обобщения, электронного парамагнитного (ЭПР) и ядерного магнитного (ЯМР) резонанса. Методом ЯМР спектроскопии на протонах ^{13}C углей разной степени метаморфизма оценены соотношения их ароматической и алифатической составляющих. Установлено, что при «медленном» механическом разрушении каких-либо существенных химических превращений в углях не происходит за исключением окислительных реакций, аналогичных воздействию дофазаизменяющих температур. При «взрывном» разрушении образцов угля в спектрах ЭПР, выделенных из воды наноразмерных частиц угля, в отличие от частиц более 0,05 мм, появляется несколько дополнительных линий, обусловленных новыми парамагнитными центрами. Их суммарная концентрация на пять порядков превышает концентрацию исходных центров. Исследования направлены на совершенствование теории и методов прогноза газодинамических явлений в угольных шахтах.

Полученные результаты существенно проясняют спорный вопрос и подтверждают предложенную гипотезу-модель природы аномальных метанопроявлений, в основе которой лежит явление метаногенерации.