

УДК 622.411.33

**А.Ф. Булат**, академик НАН Украины,  
д-р техн. наук, профессор,  
(ИГТМ НАН Украины)

**Б.В. Бокий**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Зясядько»)

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

## **РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОСНОВ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНОГО КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**А.Ф. Булат**, академік НАН України, д-р техн. наук, професор,  
(ІГТМ НАН України)

**Б.В. Бокій**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Зясядька»)

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

## **РОЗВИТОК НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ОСНОВ РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНОГО КОМПРЕССОРНОГО УСТАТКУВАННЯ**

**A.F. Bulat**, Acad. NASU, D. Sc. (Tech.), Professor  
(ИГТМ НАН Украины)

**B.V. Bokiу**, D.Sc. (Tech.), Senior Researcher  
(PJSC "A.F. Zyasyadko Mine")

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

## **IMPROVEMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL BASIS OF DEVELOPMENT AND USE MINE COMPRESSOR EQUIPMENT**

**Аннотация.** Решена актуальная проблема разработки методов расчета режимных и конструктивных параметров шахтного компрессорного оборудования и разработки способов его применения при добыче угля и шахтного метана для повышения производительности, эффективности и безопасности подземных горных работ. Установлены закономерности изменения параметров рабочих процессов и разработаны методы расчета режимных и конструктивных параметров шахтного компрессорного оборудования и способы его применения при добыче угля и шахтного метана. Впервые разработаны методы расчета режимных и конструктивных параметров шахтного компрессорного оборудования, обеспечивающие его эффективное применение при добыче угля и шахтного метана. Создано и внедрено компрессорное оборудование и способы его применения при добыче угля и шахтного метана и получен экономический эффект за счет повышения производительности, эффективности и безопасности подземных горных работ.

**Ключевые слова:** научно-технические основы, разработка и использование шахтного компрессорного оборудования, производительность, эффективность и безопасность подземных горных работ.

На большинстве угольных предприятий Украины используется пневмоэнергия, производимая поршневыми, центробежными и винтовыми компрессорами. Производительность отдельных компрессоров колеблется от 5 до 500 м<sup>3</sup>/мин, а потребляемая мощность - от 40 до 2000 кВт. Общее количество компрессоров составляет около 2000 шт., с общей установленной мощностью около 700 тыс. кВт. На шахтах крутого падения пневмоэнергия является основным видом энергии подземных потребителей [1-3].

В настоящее время более 80 % парка стационарных компрессоров полностью выработали свой ресурс. Большое количество крупных компрессоров находится в эксплуатации более 25-30 лет. При этом обновление и капитальный ремонт компрессоров практически не производится. Наряду с этим положение усугубляется возрастающими потерями сжатого воздуха (до 60-70 %) в весьма протяженных и изношенных пневмосетях, требующих значительных затрат на ремонт и замену. Как показала практика, применяемые меры по уменьшению потерь сжатого воздуха в пневмосетях не обеспечивают существенного снижения непроизводительных потерь электроэнергии. Общий КПД пневмосистем на многих шахтах составляет менее 6 %.

Актуальным является повышение надежности и эффективности работы компрессорных установок в условиях угольных шахт, включая тупиковые выработки. Возникает потребность в создании компрессорных установок, у которых существенно улучшается надежность работы в критических ситуациях. Важным также является разработка способов применения компрессорного оборудования в технологии добычи и утилизации метана, получения тепловой энергии и предотвращения подземных пожаров.

Поэтому установление закономерностей рабочих процессов шахтного компрессорного оборудования, разработка средств повышения его надежности, долговечности и энергоэффективности, разработка методов расчета режимных и конструктивных параметров шахтного компрессорного оборудования и способов его применения при добыче угля и шахтного метана для повышения производительности, эффективности и безопасности подземных горных работ и развитие на этой базе научно-технических основ разработки и использования шахтного компрессорного оборудования в процессах угледобычи является актуальной научной проблемой, которая имеет важное значение для угледобывающей отрасли страны.

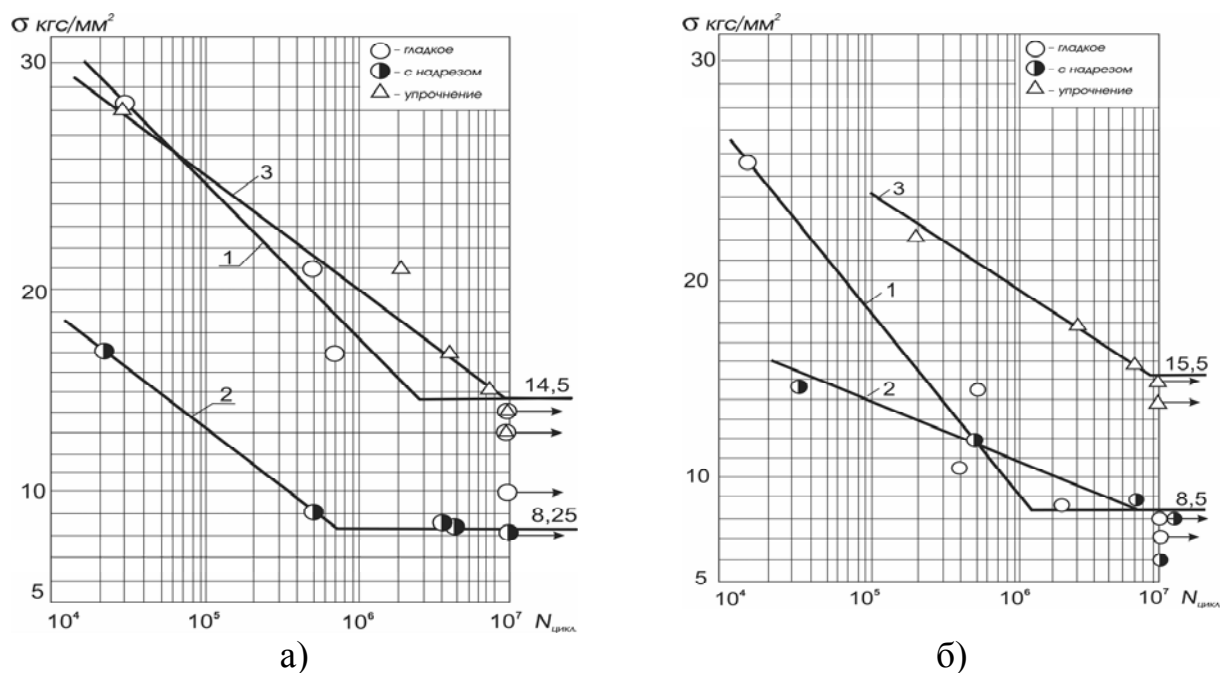
Цель работы – разработать методы расчета режимных и конструктивных параметров шахтного компрессорного оборудования и способы его применения при добыче угля и шахтного метана для повышения производительности, эффективности и безопасности подземных горных работ.

Проведены исследования и разработаны новые композиционные материалы деталей и узлов шахтного компрессорного оборудования [4]. Проведены исследования усталостного разрушения деталей компрессорных машин. Во многих случаях причинами разрушения деталей являются отклонения от технологии изготовления заготовки или детали, в частности, применение несоответствующего материала или материала без соответствующей термообработки, выполнение грубой механической обработки поверхности деталей и т.п. К группе фак-

торов, вызывающих разрушение деталей, следует отнести конструктивные факторы, неправильный расчет усилий, вызывающий дополнительные напряжения, особенно в деталях соединений.

Установлено, что разрушение материала резьбовой части штока проходило по второму витку резьбы М39х3. Как известно, резьба с одной и указанные выше дефекты на ее поверхности с другой стороны приводят к высокой концентрации напряжений в материале стержня штока при циклических нагрузках.

Кривые усталостной прочности (с зоны II), представленные на рис. 1, показывают, что при выбранном оптимальном режиме упрочнения надрезанного образца можно добиться высоких значений предела усталости и вывести до уровня гладкого. Из проведенного анализа следует, что причиной эксплуатационного разрушения цилиндра являются: грубая механическая обработка галтели R8 бурта, а также дефектная структура, сформированная при нарушении режимовковки, которая и обусловила низкие значения механических свойств материала. Из рис. 1 видно, что гладкие и образцы с надрезом (зона I) показали примерно одинаковое значение предела усталости, что противоречит теории прочности.

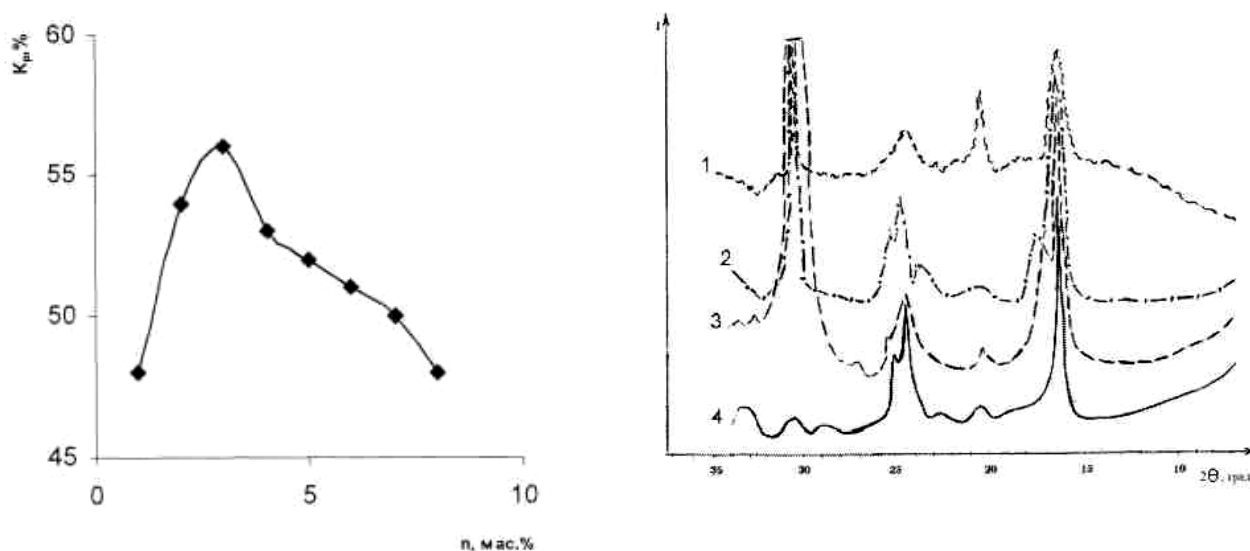


1 - гладкие образцы; 2 - с надрезом; 3 - упрочненные  
Рисунок 1 - Кривые усталостной прочности стали 35

Проведены исследования структуры новых полимерных композиционных материалов (ПКМ) и явления переноса в них. Из всех результатов исследования структуры ПКМ следует, что она характеризуется наличием четко выраженной границы раздела фаз. Разрушение системы наполнитель-матрица имеет смешанный характер. Как правило, введение наполнителей приводит к изменению степени кристалличности матрицы (рис. 2,а). Происходит также некоторое изменение параметров кристаллической решетки полимерной матрицы, возможно появление новых фаз (рис. 2,б).

Очевидно, что наибольших изменений в матрице следует ожидать в тех полимерах, которые проявляют полиморфизм, особенно при кристаллизации в присутствии активных наполнителей. В целом структура ПКМ наиболее изменяется после термомагнитной обработки, если используются сильномагнитные или комбинированные наполнители.

Разработан и испытан металлический порошок для термического нанесения покрытия на основе переходных металлов, который содержит хром, железо и никель, который отличается тем, что он дополнительно содержит кремний, бор, при следующем соотношении компонентов, масс. %: хром - 8-14; кремний - 2,5-3,2; бор - 1,5-2,5; железо - 4-6; никель - прочее, при этом фракционный состав составных порошка находится в пределах 30-55 мкм (табл. 1).



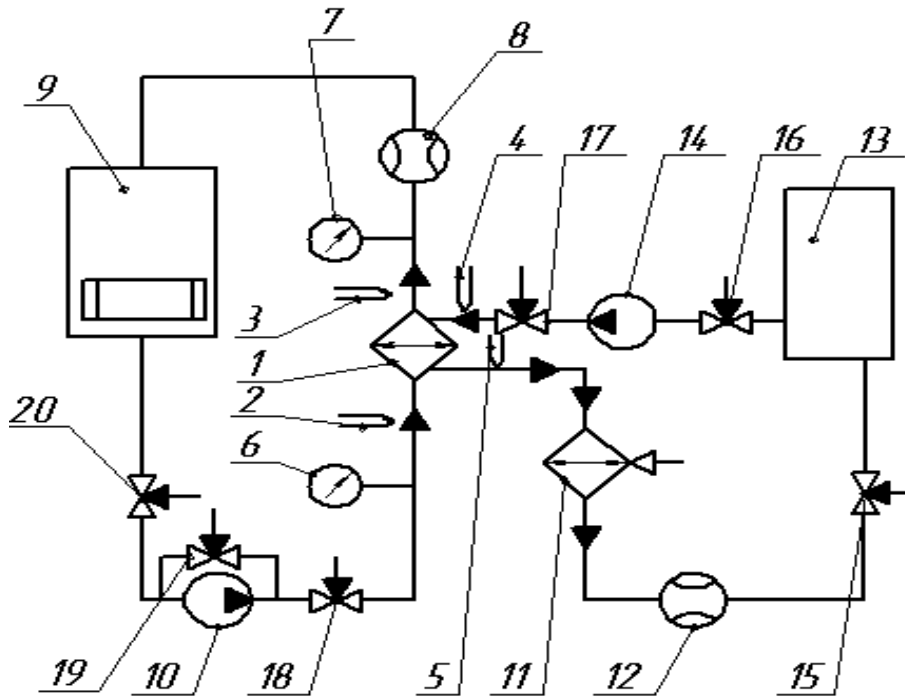
а) 1 - пентапласт + 200 масс.% феррита; 2 - пентапласт + 200 масс.% Fe;  
3 - пентапласт +100 масс.% графита

Рисунок 2 – Результаты исследований структуры новых полимерных композиционных материалов а) зависимость степени кристалличности полимерной матрицы Ф-2М фторопласта-2М от концентрации наполнителя Fe; б) дифрактограмма пентапласта с различными наполнителями

Таблица 1 – Состав металлического порошка

Состав	Примеры				
	1	2	3	4	5
Хром, %	10,0	8,0	11,0	14,0	10,0
Кремний, %	3,0	3,2	3,1	2,5	3,0
Бор, %	2,0	1,5	2,0	2,5	2,0
Железо, %	5,0	6,0	5,5	4,0	5,0
Никель, %	80	81,3	78,4	77	80
Толщина покрытия, мкм	70-120	70-110	70-120	75-120	70-120
Показатели					
- коэффициент отслаивания, КО	0,4	0,6	0,5	0,7	0,4
- твердость, GPa	41,2±1,1	34,9±1,1	32,8±1,1	39±1,1	41,2±1,1
- модуль упругости, GPa	520±27	440±27	400±27	480±27	520±27

Разработаны методы расчета и конструирования теплообменных аппаратов шахтных компрессорных установок [5]. На стадии разработки и освоения новой конструкции теплообменного аппарата, включающей новые теплообменные поверхности, новые теплоносители или новое их сочетание, опытные образцы испытывают на стендах. На стендах применяются две схемы испытаний: охлаждение горячего теплоносителя водой; охлаждение горячего теплоносителя воздухом. На рис. 3 приведена схема двухконтурного стенда с охлаждением теплоносителя водой.

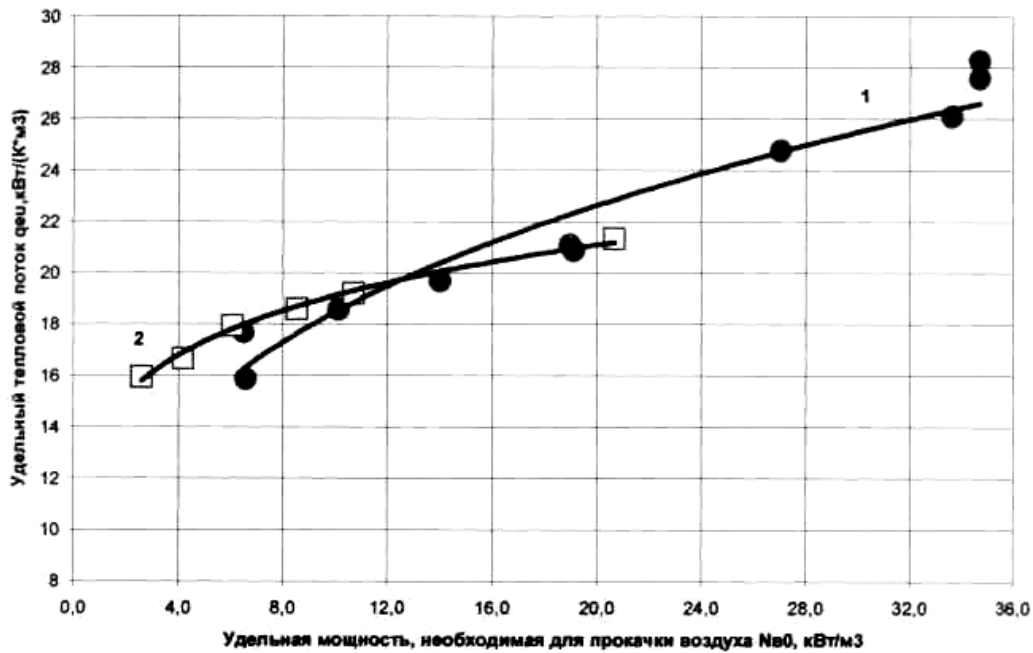


1 - исследуемый теплообменник; 2, 5 - термопары; 6, 7 - манометры; 8 - расходомер масла; 9 - масляный бак с нагревом; 10 - масляный насос; 11- водоохладитель с регулируемым вентилятором; 12 -расходомер воды; 13 - бак с водой; 14 - водяной насос; 15 - 20-вентили

Рисунок 3 - Схема стенда для исследования теплопередачи и гидравлического сопротивления в водомасляном теплообменнике

Разработана методика сопоставления характеристик теплообменных аппаратов. Результаты сопоставления характеристик теплообменных аппаратов сводятся к следующему сравнительные исследования эффективности стального пластинчато-ребристого теплообменника ПРТ МО с катаной насадкой из ленты с высотой гофр 3 мм, установленной в два слоя через прокладку в воздушном канале, и гофрированной проволочной сетки в масляном канале с алюминиевым ПРТ МО с волнистой насадкой воздушном канале и просечной насадкой в масляном канале приведены на рис. 4,а.

а)



б)

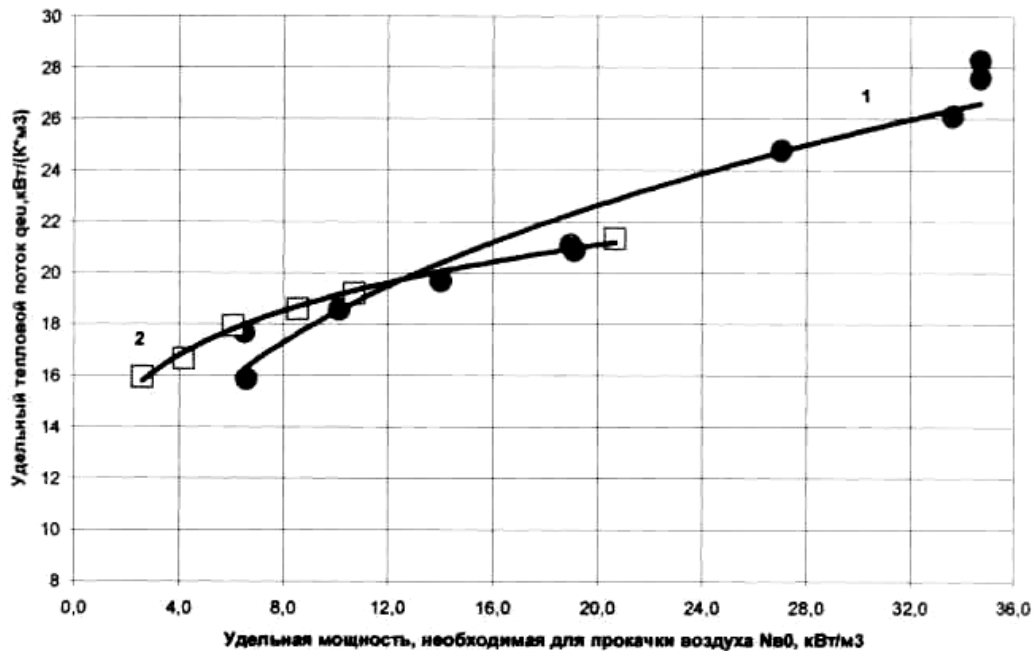


Рисунок 4 – Зависимости удельных тепловых потоков: а) удельных тепловых потоков стального ПРТ (1) с гладкой двухслойной насадкой и алюминиевого ПРТ (2) с волнистой насадкой от удельной мощности на прокачку воздуха при скорости масла  $W_m=0.16$  м/с и б) потери давления стального ПРТ (1) с гладкой двухслойной насадкой и алюминиевого ПРТ (2) с волнистой насадкой от скорости воздуха

Видно, что стальной ПРТ с двухслойной гладкой насадкой имеет в области значений удельной мощности до  $12 \text{ кВт/м}^3$  меньшую эффективность по сравнению с алюминиевым, а выше  $12 \text{ кВт/м}^3$  более высокое значение эффективности по сравнению с алюминиевым и меньшее сопротивление по воздуху (рис. 4,б). Это можно объяснить тем, что при течении воздуха в каналах с гладкой насадкой с малыми скоростями устанавливается ламинарный режим движения, характеризующийся низкой теплоотдачей. В дальнейшем с увеличением скорости

воздуха интенсивность теплоотдачи резко возрастает. В случае с волнистой насадкой в воздушном канале турбулизация потока с помощью волнообразных ребер происходит и при небольших скоростях и вероятно поэтому интенсивность теплоотдачи повышается с увеличением скорости не так быстро. Поэтому при конструировании пластинчато-ребристых теплообменников стараются избегать ламинарного режима при течении воздуха.

Результаты исследований структуры новых полимерных композиционных материалов и разработанные методы расчета и конструирования теплообменных аппаратов шахтных компрессорных установок положены в основу разработанного современного шахтного компрессорного оборудования.

Разработана винтовая шахтная компрессорная установка (рис. 5, 6), которая содержит винтовой компрессор с приводом, воздушный фильтр на всасывании винтового компрессора, линию нагнетания, на которой размещен маслоотделитель с клапаном минимального давления и раздаточной трубой, систему автоматики с датчиками, систему пожаротушения с температурным датчиком и устройством подачи пожарогасительного вещества, а также датчик контроля газа, соединенный с системой аварийного отключения компрессора, которая отличается тем, что установка дополнительно содержит два температурных датчика системы автоматики, установленные на линии нагнетания после винтового компрессора и выполненные на разных физических принципах функционирования, температурный датчик системы автоматики, установленный в пустоте маслоотделителя, и температурный датчик на кожухе привода, а также температурный датчик системы пожаротушения, установленный над маслоотделителем, а устройство подачи пожарогасительного вещества установлено над маслоотделителем.

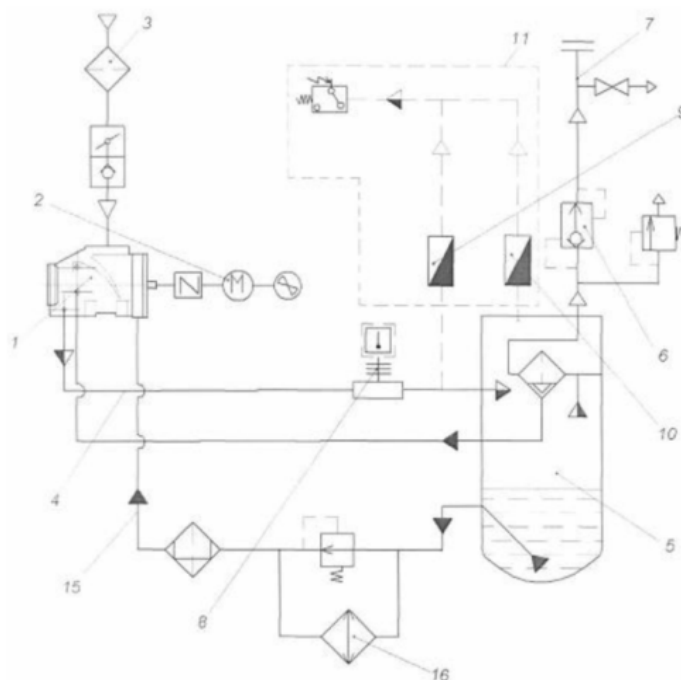
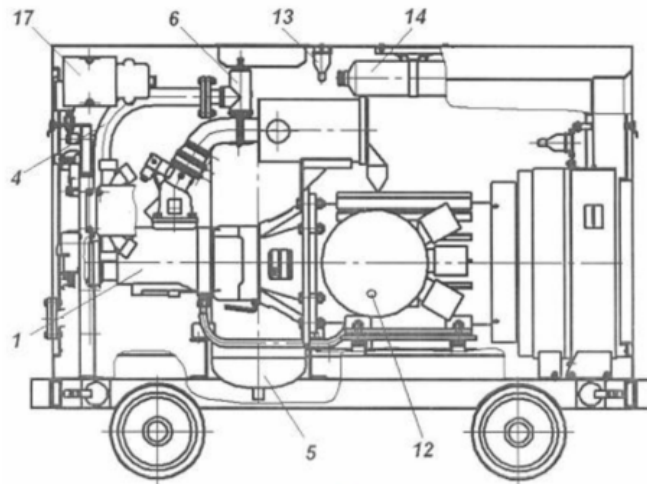
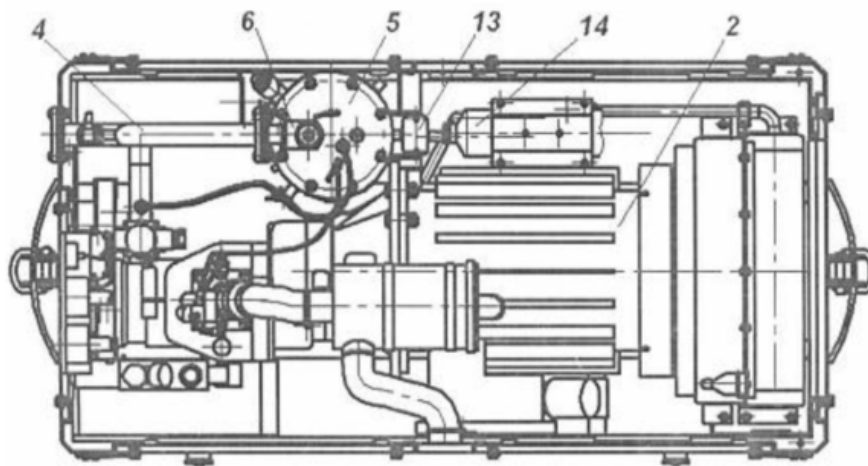


Рисунок 5 - Пнемогидравлическая схема винтовой компрессорной установки

а)



б)

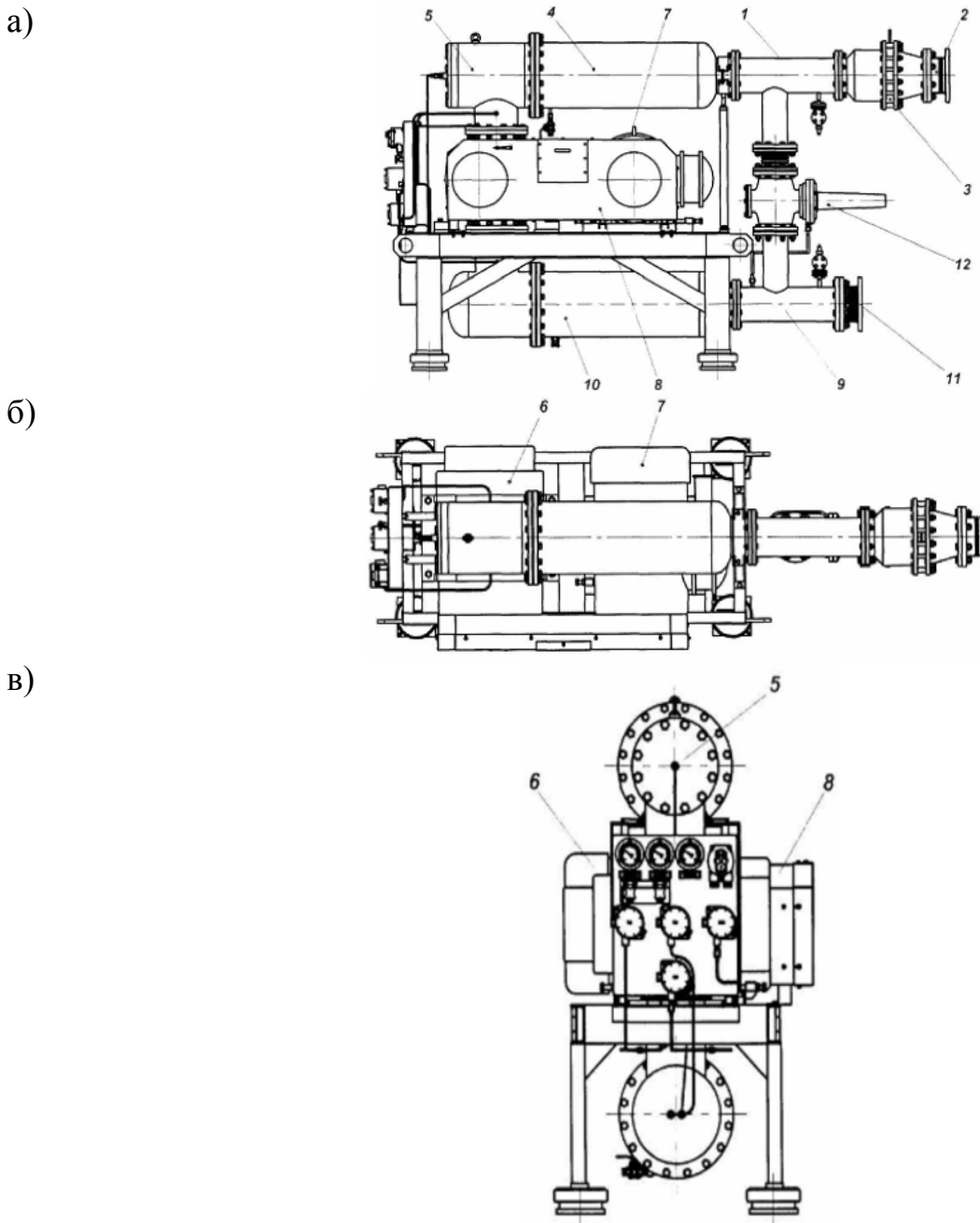


а) вертикальный разрез; б) горизонтальный разрез  
Рисунок 6 - Винтовая компрессорная установка:

Винтовая компрессорная установка работает следующим образом. При работе установки атмосферный воздух через воздушный фильтр 3 всасывается в компрессор 1, куда одновременно поступает по линии 15 и охлажденное в охладителе 16 масло, необходимое для охлаждения сжатого воздуха, уплотнения зазоров между рабочими органами компрессора и смазки подшипников. Масло, смешиваясь с воздухом, образует масляно-воздушную смесь, которая сжимается в компрессоре 1 до установленного рабочего давления, потом попадает в маслоотделитель 5. В двух ступенях маслоотделителя 5 воздух очищается от масла и потом через клапан минимального давления 6 и вентили раздачи на раздаточной трубе 7 поступает к потребителю.

Разработан агрегат для дегазации подземных пластов (рис. 7).





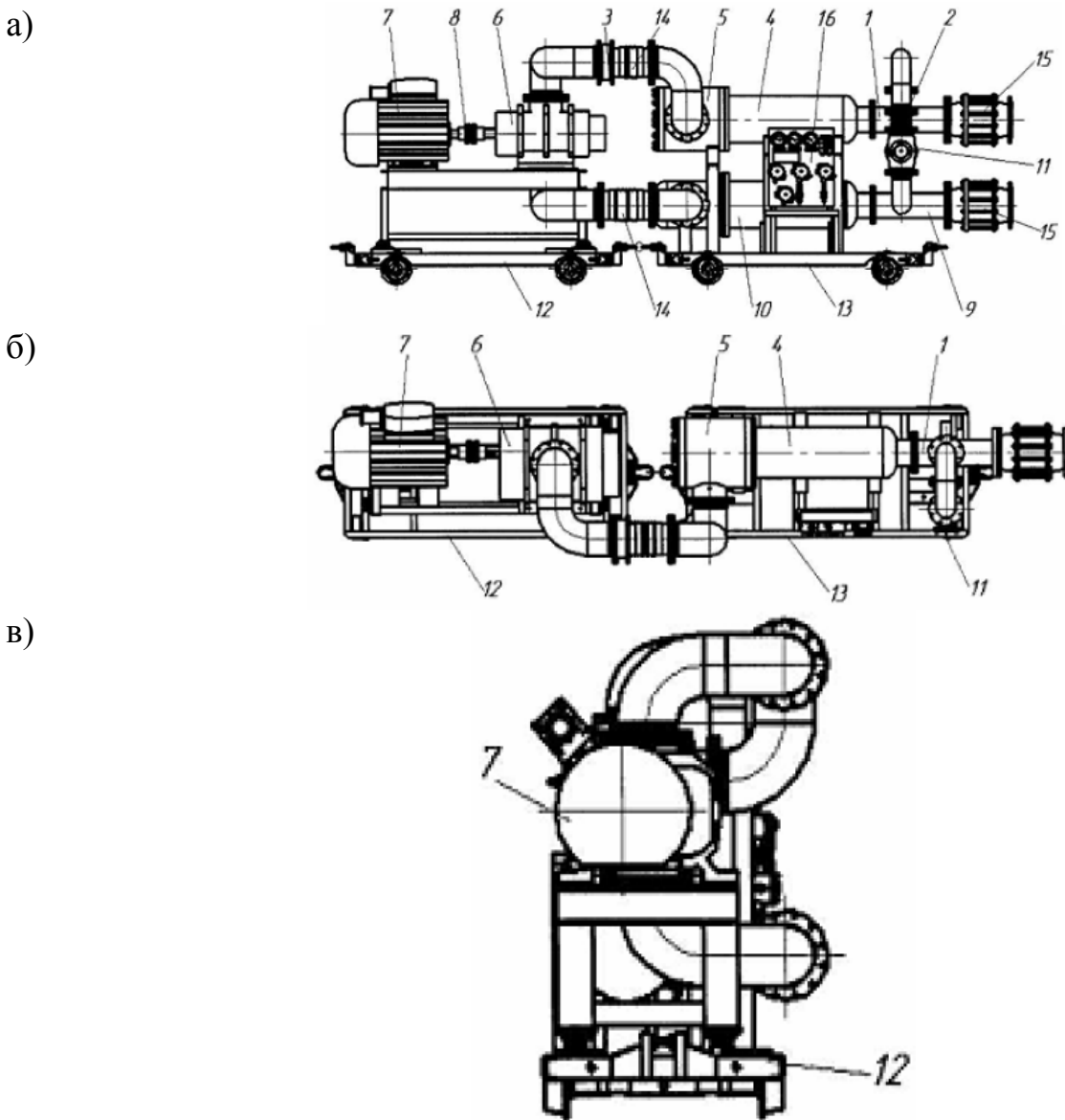
а) фронтальный вид; б) вид сверху агрегата; в) вид сбоку.

Рисунок 7 - Агрегат для дегазации подземных пластов

Работает агрегат для дегазации подземных пластов следующим образом. Входной патрубок 1 подключают к связи с буровой скважиной (не показано), через которую осуществляют дегазацию подземного пласта, а патрубок 9 к линии отвода (не показано). При включении в работу привода 7 роторного компрессора 6, который соединен с обратным клапаном 3, глушителем 4 на всасывании и всасывающим фильтром 5, роторный компрессор 6, по указанной линии обеспечивает откачивание смеси газов, которые содержатся в обрабатываемых подземных пластах, вследствие чего обеспечивается дегазация указанных пластов без традиционных для этого процесса явлений образования кри-

сталлогидратов с метаном, который раньше в аналогах перекрывали проточные каналы оборудования установок ограничивали период применения установки.

Разработана установка для дегазации подземных пластов (рис. 7).



а) фронтальный вид; б) вид сверху; в) вид сбоку  
Рисунок 7 - Установка для дегазации подземных пластов

Работает установка для дегазации подземных пластов следующим образом. Платформы 12 и 13 установки отдельно доставляют в пространство шахты, подвозят к рабочей зоне, соединяют гибкие рукава 14. Входной патрубок 1 подключают к линии связи с буровой скважиной (не показано), через которую осуществляют дегазацию подземного пласта, а патрубок 9 к линии отвода (не показано). При включении в работу привода 7 роторного компрессора 6, который соединен с обратным клапаном 3, глушителем 4 на всасывании и всасывающим фильтром 5, роторный компрессор 6, по указанной линии обеспечивает откачивание смеси газов, которые содержатся в обрабатываемых подземных

пластах, вследствие чего обеспечивается дегазация указанных пластов без традиционных для этого процесса явлений образования кристаллогидратов с метаном, которые раньше в аналогах перекрывали проточные каналы оборудования установок и ограничивали период применения установки.

Разработан способ разупрочнения и дегазации углепородного массива (рис. 8).

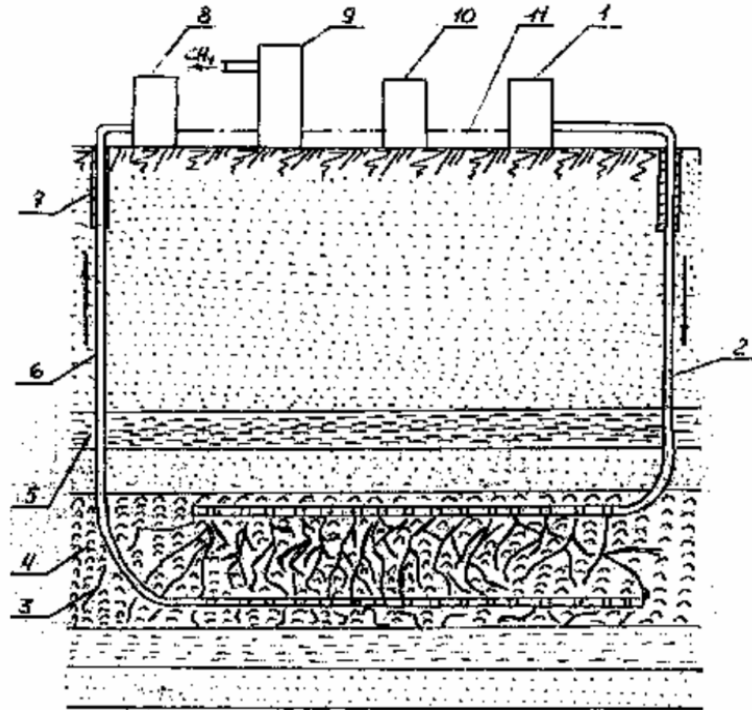


Рисунок 8 - Схема разупрочнения и дегазации углепородного массива

Технологическая цепочка по разупрочнению и дегазации углепородного массива работает следующим образом. Последовательно бурят в плоскости наслоения углепородного массива (4), вертикальные, наклонные нагнетательные (2) и добычные (6) буровые скважины, устанавливают обсадные трубы (7), герметизируют их и подключают к дегазационной сети. Проводят гидроразрыв пород до образования трещин (3) оптимального размера, нагнетают с помощью станции для нагнетания (10) через распределитель (1) и соединительный трубопровод (11) в каждую буровую скважину твердый газопроводный материал, например, полимерные сферы заданного размера для фиксации общих магистральных трещин  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{N}_2$  и/или соляной кислоты, а также твердого газопроводного материала - 1. Потом в нагнетательную буровую скважину (2) нагнетают также с помощью станции для нагнетания (10) через распределитель (1) и соединительный трубопровод (11) соляную кислоту и/или углекислый газ, выдерживают ее и/или его в пласте под давлением до завершения массовой десорбции метана из угля. На завершающем этапе дегазации в буровую скважину подают инертный газ и/или его смесь с двуокисью углерода, например, азот, причем объем его выбирают с учетом длины раскрытых при гидроразрыве трещин, мощности пласта, фильтрующей пористости пласта, температуры и давления закачанного вещества, а также начальной температуры пласта. Дальше

смесь поступает на коллектор (8), а потом на станцию для разделения и очистки компонентов (9), которые поступают из добычных буровых скважин.

Разработана станция для утилизации шахтного газа. На рис. 9 схематично изображен блок по сжиганию шахтного газа станции для утилизации шахтного газа.

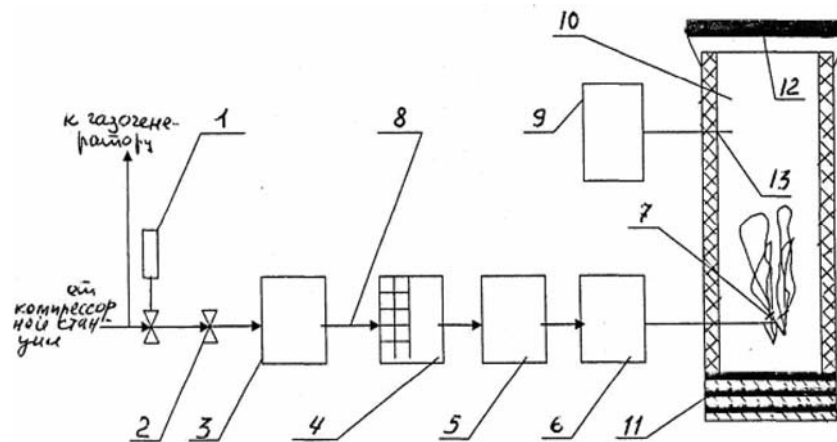


Рисунок 9 - Блок по сжиганию шахтного газа станции для утилизации шахтного газа

Блок по сжиганию шахтного газа содержит клапан регулирования затраты газа с электроприводом - 1, аварийный клапан - 2, устройство для гашения пламени - 3, блок измерения давления и температуры шахтного газа - 4, блок реле (max/min) давления газа - 5, магнитную систему - 6, установленную в трубопроводе (не показано), распределительный участок трубопровода с зажигательной горелкой и четырьмя основными горелками - 7, трубопровод - 8, газоанализатор выпускных газов - 9, камеру сжигания - 10, стол камеры сжигания с клапанами для подачи воздуха - 11, крышу камеры сжигания - 12, щуп газоанализатора выпускных газов - 13.

Разработан способ ликвидации начальной стадии подземных пожаров в действующей или в остановленной выработке. На рис. 10 схематично изображена технологическая цепочка для реализации предложенного способа. Технологическая цепочка содержит стационарный модуль контроля с картриджами для индикаторных газов - 1, датчик температуры - 2, датчик скорости воздушной среды - 3, датчик дыма - 4, источник постоянного тока - 5, блок модульный БМ - 6, блок превращения и передачи данных - 7, блок модульный БМП - 8, коммутатор - 9, блок интеллектуальный - 10, азотную станцию - 11, ожигатель азота - 12, накопительный резервуар - 13, систему пуска управляемым клапаном - 14, блок программного управления клапанами газификатора-преобразователя - 15, трубопровод предотвращения скачка давления - 16, дросселирующего устройства - 17, импульсный газификатор-преобразователь давления - 18, блок датчиков метана ( $\text{CH}_4$ ), кислорода ( $\text{O}_2$ ), азота ( $\text{N}_2$ ) и давления - 19, центральную службу управления безопасностью - 20, блок управления - 21, систему контроля давления баллонов высокого давления - 22, систему оповещения - 23, баллоны высокого давления - 24, переключку - 25, устройство шлюзового типа для введения газового пожарогасящего вещества - 26, распределительный трубо-

провод - 27, подсистема управления вентиляцией рудника - 28 (не показана), автоматическая установка газового пожаротушения - 29.

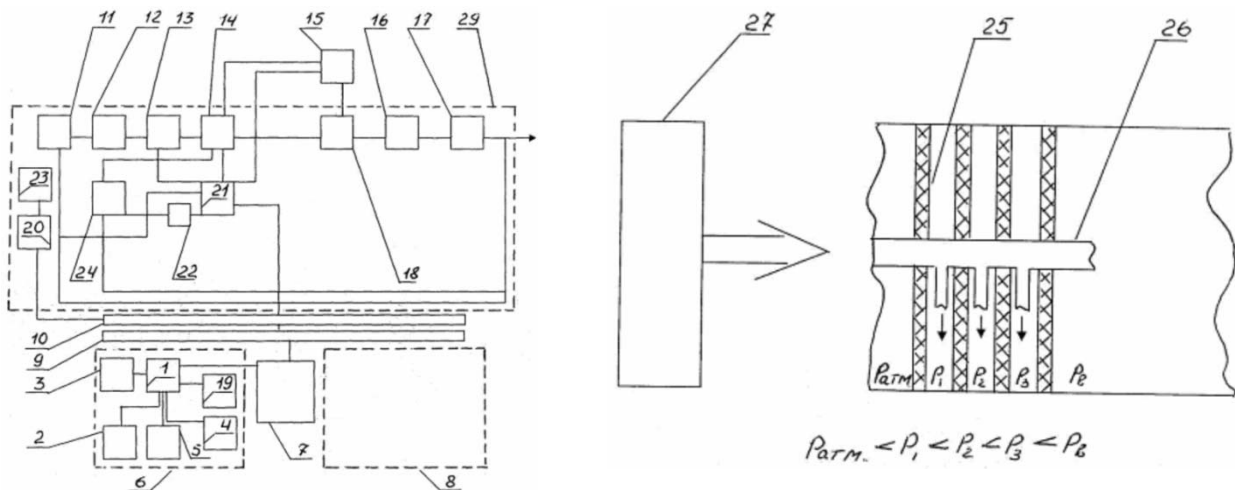


Рисунок 10 - Технологическая цепочка реализации способа ликвидации начальной стадии подземных пожаров в действующей или в остановленной выработке

Изготовленная специалистами ОАО «НПАО «ВНИИкомпрессормаш» совместно с ООО «Международный институт компрессорного и энергетического машиностроения» станция АМВП -15/0,7 С У1 успешно прошла заводские испытания на предприятии - изготовителе и приемочные испытания у заказчика (государственное предприятие «Макеевуголь», Донецкая обл., Украина). В конце 2003 г. станция АМВП-15/0,7 С У1 была применена при тушении пожара на одной из шахт ГП «Ровенькиантрацит». Оперативно доставленная на место аварии, станция успешно зарекомендовала себя в реальных условиях пожаротушения, подав в горную выработку (зону горения) 62000 м<sup>3</sup> азота. При помощи станции АМВП-15/0,7 С У1 пожар был ликвидирован в течение 72 часа.

Более 10 лет на шахте имени В.В. Вахрушева ГП «Ровенькиантрацит» под авторским надзором НИИГМ им. М.М. Фёдорова эксплуатировался экспериментальный образец подземной модульной компрессорной станции повышенной производительности ПКС-1Э производительностью 75 м<sup>3</sup>/мин, состоящий из 3-х компрессорных модулей производительностью 25 м<sup>3</sup>/мин каждый, производства Казанского компрессорного завода (Россия). При этом испытывались варианты систем воздухозабора, охлаждения и управления ПКС.

Созданная установка газоутилизационная типа КГУУ включена в комплекс оборудования для извлечения метана из угольных пластов (шахта «Молодогвардейская»).

Экономический эффект при внедрении предлагаемых технологий получен за счет реализации метана; повышения темпа проведения подготовительных выработок в шахтах; повышения нагрузки на очистной забой; снижения эмиссии метана в атмосферу; от сокращения затрат на проведение традиционных методов дегазации; сокращения затрат на ликвидацию последствий аварий в шахтах, применения новых установок и технологий дегазации.

**Выводы.**

1. Проведены исследования и разработаны новые композиционные материалы деталей и узлов шахтного компрессорного оборудования. Впервые установлено, что повышение надежности и долговечности деталей и узлов шахтных компрессорных установок обеспечивается применением двухслойного покрытия из новых композиционных материалов, при этом слой покрытия, нанесенный непосредственно на основу, имеет толщину в пределах 70-120 мкм и выполнен из смеси хрома (8-14 %), кремния (2,5-3,2 %), бора (1,5-2,5 %), железа (4-6 %), никеля (74,3-84 %), а слой покрытия, нанесенный на предыдущий слой покрытия, выполнен из смеси нитрида титана (70-80 %) и нитрида хрома (20-30 %), при этом обеспечивается скорость коррозии 9-11 мг/год, твердость до  $41,2 \pm 1,1$  ГПа и модуль упругости  $520 \pm 27$  ГПа, а время наработки на отказ таких шахтных компрессорных установок превышает 10 лет.

2. Разработаны методы расчета и конструирования теплообменных аппаратов шахтных компрессорных установок. Впервые установлены закономерности изменения коэффициента теплопередачи пластинчато-ребристого теплообменника (ПРТ) шахтной компрессорной установки, определяющего ее производительность, от потери давления, скорости воздуха в канале; удельных тепловых потоков стального ПРТ от удельной мощности на прокачку воздуха, определены рациональная толщина проставочного листа и припуск по толщине листа на компенсацию коррозии ПРТ, работающего во влажной атмосфере угольной шахты.

3. Разработано шахтное компрессорное оборудование: установка компрессорная винтовая шахтная, агрегат для дегазации подземных пластов, который отличается тем, что в качестве устройства для сжатой среды применен роторный компрессор; разработана установка для дегазации подземных пластов, которая отличается тем, что элементы установки установлены на двух шарнирно соединенных платформах, при этом на одной платформе установлен привод, соединенный с устройством для подачи сжатой среды, а на другой платформе установлен входной патрубок, глушитель на всасывании, фильтр и исходный патрубок, глушитель на нагнетании и перепускной клапан.

4. Разработаны способы применения шахтного компрессорного оборудования в процессах добычи угля и метана: разработан способ добычи метана, который отличается тем, что после гидрорасчленения сначала под давлением нагнетают вещество с большей, чем в метане, сорбционной способностью, а потом оттесняют метан из фильтрующих трещин инертным газом, например азотом; разработан способ разупрочнения и дегазации углепородного массива; разработан способ ликвидации начальной стадии подземных пожаров в действующей или в остановленной лаве.

5. Приведены результаты применения шахтного компрессорного оборудования в процессах угледобычи. Изготовленная специалистами ОАО «НПАО ВНИИкомпрессормаш» совместно с ООО «МИКЭМ» станция АМВП -15/0,7 С У1 успешно прошла заводские испытания на предприятии - изготовителе и приемочные испытания на ГП «Макеевуголь». В конце 2003 г. станция АМВП-15/0,7 С У1 была применена при тушении пожара на шахтах ГП «Ровенькиан-

трацит». Более 10 лет на шахте имени В.В. Вахрушева ГП «Ровенькиантрацит» эксплуатировался экспериментальный образец подземной модульной компрессорной станции повышенной производительности ПКС-1Э производительностью 75 м<sup>3</sup>/мин, состоящий из 3-х компрессорных модулей производительностью 25 м<sup>3</sup>/мин каждый. При этом испытывались варианты систем воздухозабора, охлаждения и управления ПКС. Созданная установка газоутилизационная типа КГУУ включена в комплекс оборудования для извлечения метана из угольных пластов на шахте «Молодогвардейская».

6. Экономический эффект при внедрении разработанного оборудования и технологий получен за счет повышения безопасности ведения горных работ, сокращения затрат на ликвидацию последствий аварий в шахтах; повышения темпа проведения подготовительных выработок в шахтах; повышения нагрузки на очистной забой; реализации метана, снижения эмиссии метана в атмосферу; от сокращения затрат на проведение традиционных методов дегазации; применения новых установок и технологий дегазации.

#### 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 / Грядущий Б.А., Кирик Г.В., Коваль А.Н. [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 promyishlennosti* [Using compressed air in mining], Gosgortekhzdat, Moscow, SU.
2. Voronetsky, A.V. (2009), *Sovremennye kompressornyye stantsii* [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 AM (2008), *O problemakh pnevmoenergeticheskogo kompleksa shakht* [On the problems pneumoenergetic complex of mines] // Compressor and power engineering, № 1 (11), pp. 2-5.
4. Kirik G.V., Radzievskiy V.N. and Stadnik A.D. (2011), *Novye kompozitsionniye 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, konstruktsiya, tekhnologiya* [Heat exchangers compressor units. Research, design, technology], Sloboda, Sumy, Ukraine.
6. Bondarenko, G.A. and Kirik, G.V. (2012), *Compressornyye stantsii. Vozdushniye kompressornyye stantsii* [Compressor stations. Air compressor station]: State University, Sumy, Ukraine.

#### Об авторах

**Булат Анатолий Федорович**, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [igtmnanu@yandex.ru](mailto:igtmnanu@yandex.ru)

**Бокий Борис Всеволодович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель генерального директора, Публичное акционерное общество «Шахта им. А.Ф. Засядько» (ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»), Донецк, Украина.

**Кирик Григорій 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, [igtmanu@yandex.ru](mailto:igtmanu@yandex.ru)

**Bokiy Boris Vsevolodovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Deputy Director General of Public Joint Stock Company "A.F. Zasyadko Mine" (PJSC "A.F. Zasyadko Mine"), Donetsk, Ukraine.

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

**Анотація.** Вирішено актуальну проблему розробки методів розрахунку режимних і конструктивних параметрів шахтного компресорного устаткування і розробки способів його застосування при видобутку вугілля та шахтного метану для підвищення продуктивності, ефективності й безпеки підземних гірничих робіт.

Установлено закономірності зміни параметрів робочих процесів і розроблені методи розрахунку режимних та конструктивних параметрів шахтного компресорного устаткування й способи його застосування при видобутку вугілля і шахтного метану. Уперше розроблені методи розрахунку режимних і конструктивних параметрів шахтного компресорного устаткування, що забезпечують його ефективне застосування при видобутку вугілля та шахтного метану. Створено і впроваджене компресорне устаткування та способи його застосування при видобутку вугілля й шахтного метану та отриманий економічний ефект за рахунок підвищення продуктивності, ефективності й безпеки підземних гірничих робіт.

**Ключові слова:** науково-технічні основи, розробка і використання шахтного компресорного устаткування, продуктивність, ефективність і безпека підземних гірничих робіт.

**Abstract.** Solved an actual problem of development methods of calculation operating and constructive parameters of mine compressor equipment and development methods of its application in coal mining and coal mine methane to increase productivity, efficiency and safety of underground mining.

The regularities of change regime parameters and calculation methods of operating and constructive parameters of the mine compressor equipment and methods for its use in coal mining and coal mine methane. First developed methods for calculating operating and constructive parameters of the mine compressor equipment to ensure its effective application in coal mining and coal mine methane. Designed and implemented compressor equipment and methods for use in coal mining and coal mine methane and the resulting economic benefits through increased productivity, efficiency and safety of underground mining.

**Keywords:** scientific and technical basis, development and utilization of coal mine compressor equipment, productivity, efficiency and safety of underground mining.

*Статья поступила в редакцию 1.02. 2014*

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



УДК 622.451:658.512.007

**Т.В. Бунько**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.,  
**І.Є. Кокоулін**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**М.М. Дуднік**, інженер  
(ІГТМ НАН України)  
**А.Ш. Жалілов**, інженер  
(ДП «Селідоввугілля»)

## **ОБГРУНТУВАННЯ ЕРГОНОМІЧНОГО БАЗИСА МАРШРУТІВ РУХУ ГІРНИЧИХ МАЙСТРІВ ПІД ЧАС ЗБИРАННЯ ДАНИХ ПРО СТАН ШАХТНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ, ЯКА РЕКОНФІГУРУЄТЬСЯ**

**Т.В. Бунько**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**И.Е. Кокоулин**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**М.Н. Дудник**, инженер  
(ИГТМ НАН Украины)  
**А.Ш. Жалилов**, инженер  
(ГП «Селидовуголь»)

## **ОБОСНОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧНОГО БАЗИСА МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ МАСТЕРОВ ПРИ СБОРЕ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ**

**T.V. Bunko**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,  
**I.Ye. Kokoulin**, Ph. D.(Tech.), Senior Researcher,  
**M.N. Dudnik**, M.S. (Tech.)  
(IGTM NAS of Ukraine)  
**A.Sh. Zhalilov**, M.S. (Tech.)  
(SE «Selidovugol»)

## **BACKGROUND OF ERGONOMIC BASE FOR THE ROUTES OF A MINING FOREMAN MOVING WHILE COLLECTING DATA ON THE STATE OF RE-CONFIGURABLE MINE VENTILATION NETWORK**

**Анотація:** Вентиляційні системи вугільних шахт є складними динамічними об'єктами з тими, що змінюються, структурою і аеродинамічними параметрами. Як об'єкт контролю технічні системи з такими особливостями відносяться до класу реконфігуємих систем, які вимагають безперервного контролю за їх станом. В даний час такий контроль реалізується сумісним використанням стаціонарних і переносних приладів. Місця установки стаціонарних приладів визначаються вимогами Правил безпеки, а контроль переносними приладами виконується гірничими майстрами по заздалегідь вибраних маршрутах на підставі схеми гірничих робіт. На практиці це приводить до нерівномірності завантаження маршрутів і неврахування ергономічності руху по них. При цьому не враховується можливість скорочення трудомісткості руху гірничих майстрів по маршруту і збільшення достовірності первинних даних при оптимізації їх обсягу. Це обумовлює розробку сучасних чисельних комп'ютерних методів формування раціонального базису маршрутів і його