

Abstract. Issues of ecological estimation of the coal mines operation are considered. Conformities to the law were determined for changes of mean values of methane-bearing capacity of the working areas in the quazy-stationary periods of dynamics of the ventilation system development with taking into account application of different degassing facilities. On the basis of these conformities to the law the criterion is proposed for complex estimation of environment-friendly functioning of high-performance working areas in the coal mines including actual methane-bearing capacity of the area, volume of methane drained by degassing facilities and methane concentration in the outgoing air stream. A method is proposed for determination of this criterion in the mines producing coal and methane.

Keywords: CMM, environment-friendly functioning, degassing of the working area, pump-down, air distribution.

Статья поступила в редакцию 20.08. 2013

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Т.В. Бунько

УДК [622.42/.44:536.24].001.57

В.Р. Алабьев, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,

Б.В. Бокий, д-р техн. наук

(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОПАСНОСТЕЙ, СВЯЗАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГЕНТОВ В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ, И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

В.Р. Алаб'єв, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,

Б.В. Бокій, д-р техн. наук

(ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»)

ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛЬНИХ НЕБЕЗПЕЧНОСТЕЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТІВ У ШАХТНИХ УМОВАХ, І МЕТОДИ ЇХ УСУНЕННЯ

V.R. Alabyev, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,

B.V. Bokiyy, D. Sc. (Tech.)

(PAS «A.F. Zasyadko mine»)

ESTIMATING OF POTENTIAL RISKS ASSOCIATED WITH THE COOLANTS USED IN MINE AND METHODS OF THEIR PREVENTION

Аннотация. Рассмотрены потенциальные опасности, связанные с использованием холодильных агентов в шахтных условиях. Приведена характеристика опасных свойств основного из ныне используемых хладагентов R22, и проанализированы опасности, обусловленные его термодинамическими свойствами.

Исследованы основные условия опасных концентраций хладагента в выработках и влияние утечек хладагента на безопасность проветривания шахты, и потенциальные опасности, обусловленные кинетической и потенциальной энергией хладоносителя и охлаждающей воды.

Результатом проведенных исследований явилось выявление условий, при которых будут обеспечены допустимые значения ПДК паров фреона в воздухе горных выработок как при нормированной утечке хладагента из холодильных машин, так и при его аварийном истечении через предохранительные клапаны или разгерметизации системы хладагента. Реализация предлагаемых мер по устранению указанных неисправностей позволит повысить безопасность труда подземных горнорабочих.

Ключевые слова: теплообменные процессы, тупиковые выработки, угольные шахты, кондиционирование рудничного воздуха, хладоноситель.

В холодильных машинах основным рабочим веществом, с помощью которого осуществляется холодильный цикл, является холодильный агент (хладагент).

Холодильные агрегаты, использующие различного вида хладагенты, обеспечивают необходимую степень охлаждения рудничного воздуха до допустимых санитарных норм, однако их использование имеет и побочный эффект: все хладагенты ядовиты, и снижение их вредного влияния на окружающую среду и здоровье работающих людей является важной научной и практической задачей.

До настоящего времени в известных холодильных машинах в рудничном исполнении в качестве хладагента применялись фреоны R12 и R22, которые не горят, не взрываются и практически не ядовиты. В 1986 году хладагент R12 наряду с некоторыми другими хладагентами признан озоноразрушающим. В связи с этим его производство и потребление к 1996 году было полностью прекращено. Фреоны обладают следующими свойствами [1].

- при соприкосновении с открытым пламенем разлагаются с выделением хлористого водорода, фтористого водорода и фосгена;
- являются хорошими растворителями окислы и ржавчины. В связи с этим при сборке внутренние полости теплообменных аппаратов необходимо тщательно очищать;
- растворяют обычную резину. В связи с этим для изготовления прокладок должна применяться специальная маслостойкая резина – севанит или паронит – материал, изготовленный из асбеста, каучука и наполнителей;
- при высоком давлении хладагент R22 смешиваются со смазочным маслом в любых пропорциях. При низком давлении происходит разделение фреона и масла, причем последнее, как более легкое, плавает по жидкому фреону;
- тягучи и легко проникают через поры обычных чугунных отливок.

Опасные свойства хладагента R22 приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, поражающими факторами фреонов являются: высокое давление, высокая и низкая температура, токсичность.

Хладагент циркулирует по замкнутому контуру холодильной машины, изменяя свое агрегатное состояние в зависимости от совершаемого процесса (рис. 1). Абсолютное давление хладагента R22 может изменяться от 0,5 до 2,0, а температура – от ± 0 до 80-100°C (табл.2).

Таблица 1 - Опасные свойства хладагента R22

Показатель	Значение
Давление насыщенных паров, МПа: при температуре $\pm 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре $50\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,5 1,94
Максимальная температура паров на выходе из компрессора, $^{\circ}\text{C}$	100
Температура кипения при атмосферном давлении, $^{\circ}\text{C}$, [2]	-40,8
ПДК паров в воздухе, $\text{мг}/\text{м}^3$, [2]	3000
Допустимое количество паров в воздухе, $\text{г}/\text{м}^3$, [2]	352
Коэффициент токсической опасности, $\text{K}_{\text{т.о.}} \cdot 10^{-3}$, [3]	10
Содержание паров в воздухе, не вызывающее последствий после пребывания: в течении 60 мин, $\text{мг}/\text{м}^3$, в течении 30 мин, $\text{кг}/\text{м}^3$,	- 1,05
Показатель горючести, [4]	негорючий
Показатель взрывоопасности, [4]	невзрывоопасен
Относительная озонобезопасность (по отношению к R12) [5,6]	<0,05

При атмосферном давлении жидкий хладагент кипит при температуре $-40,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (R22) и $-33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (R717). В холодильной машине хладагент может находиться в виде жидкости, парожидкостной смеси или в виде насыщенного или перегретого пара (рис. 1).

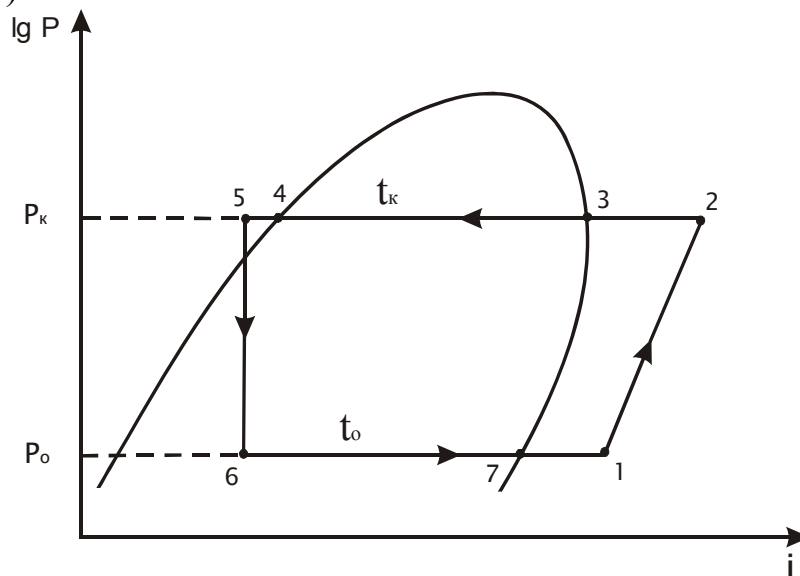


Рисунок 1 - Рабочий процесс холодильной машины в диаграмме $i - \lg P$: P_o , P_k – абсолютное давление испарения и конденсации; t_o , t_k – температура испарения и конденсации

Таблица 2 - Параметры рабочего процесса цикла холодильной машины

Линия процесса (рис.3.3)	Наименование процесса	Состояние хладагента	Давление хладагента, МПа	Температура хладагента, °С
1-2	Сжатие хладагента	Перегретый пар	от 0,5 до 2,0	от 15 до 80
2-3	Снижение нагрева	-	2,0	от 80 до 50
3-4	Конденсация хладагента	Насыщенный пар	2,0	50
4-5	Переохлаждение хладагента	Переохлажденная жидкость	2,0	от 50 до 40
5-6	Дросселирование хладагента	Парожидкостная смесь	от 2,0 до 0,5	от 40 до ± 0
6-7	Кипение хладагента	Жидкость	0,5	± 0
7-1	Перегрев хладагента	Перегретый пар	0,5	от ± 0 до 15

Анализ параметров термодинамического цикла холодильной машины (рис. 1 и табл. 2) показывает, что по степени опасности система хладагента может быть условно разделена на две зоны: зона I – от выхода компрессора до терморегулирующего вентиля (процессы 2-5) и зона II – от выхода терморегулирующего вентиля до входа в компрессор (процессы 6-1). Зона I характеризуется максимальными значениями давления и температуры хладагента, поэтому ее следует считать наиболее опасной. Зона II менее опасна, поскольку хладагент на данном участке системы находится при минимальных значениях давления и температуры.

Под воздействием высокого давления хладагента в зоне I может произойти разрушение и разгерметизация элементов холодильной машины и выброс хладагента в окружающую среду. В подземных условиях разгерметизация холодильных машин может также произойти под воздействием горного давления и при столкновении с шахтным транспортом. При потере герметичности системы хладагента холодильной машины, работающей на R22, в окружающую среду в зависимости от условий истечения может поступать до 14 кг/с парожидкостной смеси (рис. 2) [7]. При этом в окружающей среде образуется облако, состоящее из смеси пара и воздуха. Температура R22 в центре факела может находиться на уровне от $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (место истечения) до $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ на расстоянии 20 м от места истечения. Содержание кислорода в этих условиях составляет от 0 до 21 % (рис. 3). В этом случае возникает опасность:

- механического поражения людей частями оборудования, разрушенного в результате недопустимого повышения давления хладагента;
- теплового поражения перегретым парообразным хладагентом;
- обморожения жидким хладагентом или парожидкостной смесью;
- поражения слизистых оболочек глаз и дыхательных путей;

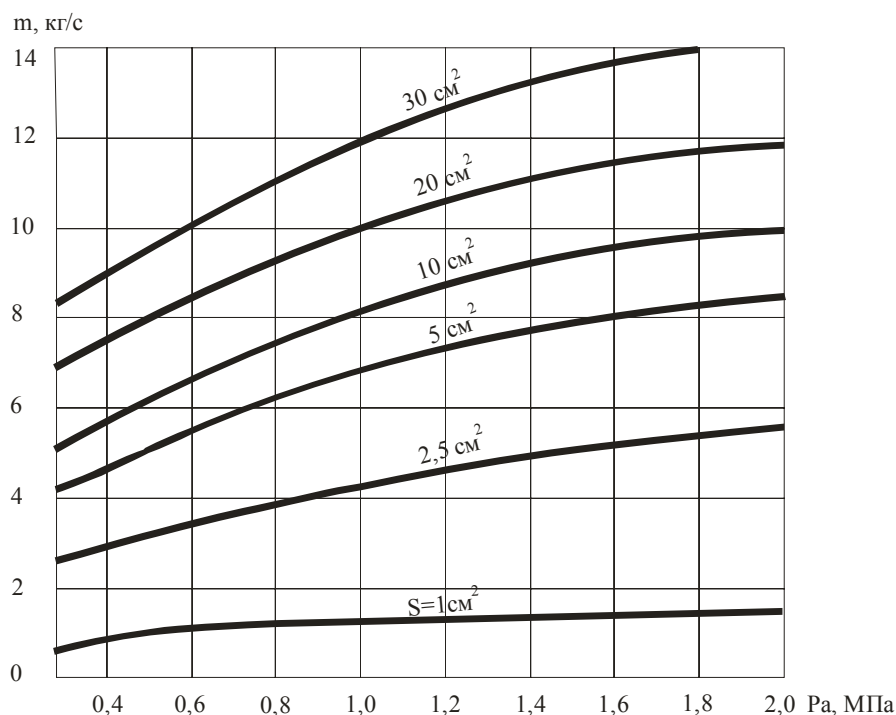


Рисунок 2 - Величина утечки парожидкостной смеси R22 при различных значениях абсолютного давления P_a и площади выходного отверстия S .

- отравления или удушья в случае образования в воздухе рабочей зоны недопустимой концентрации паров хладагента;
- взрыва или пожара при образовании в воздухе взрывоопасной концентрации паров хладагента.

Подобные аварии имели место на шахтах им. Газеты «Социалистический Донбасс» (1966 г.) и им. В.М.Бажанова (1964 г.) [8]. В первом случае вследствие гидравлического удара была разрушена головка цилиндра поршневого компрессора аммиачной холодильной машины. При этом часть цилиндра под давлением паров аммиака была отброшена в сторону главного прохода здания холодильной станции. Траектория ее полета оказалась в 4 м от рабочего места дежурного машиниста. На шахте им. В.М.Бажанова вследствие одновременного нарушения плотности аммиачного испарителя и наземного воздухоохладителя был загазирован ствол парами аммиака.

В табл. 3 приведены причины, вызывающие опасное состояние системы хладагента и вероятные последствия аварий.

В процессе эксплуатации холодильных машин и передвижных кондиционеров пары хладагента могут поступать из холодильной системы в горные выработки, что может стать причиной образования опасной концентрации хладагента в рудничном воздухе.

Исследованию потенциальных опасностей, создаваемых холодильным агентом в процессе эксплуатации шахтного холодильного оборудования, посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов [7,9,11].

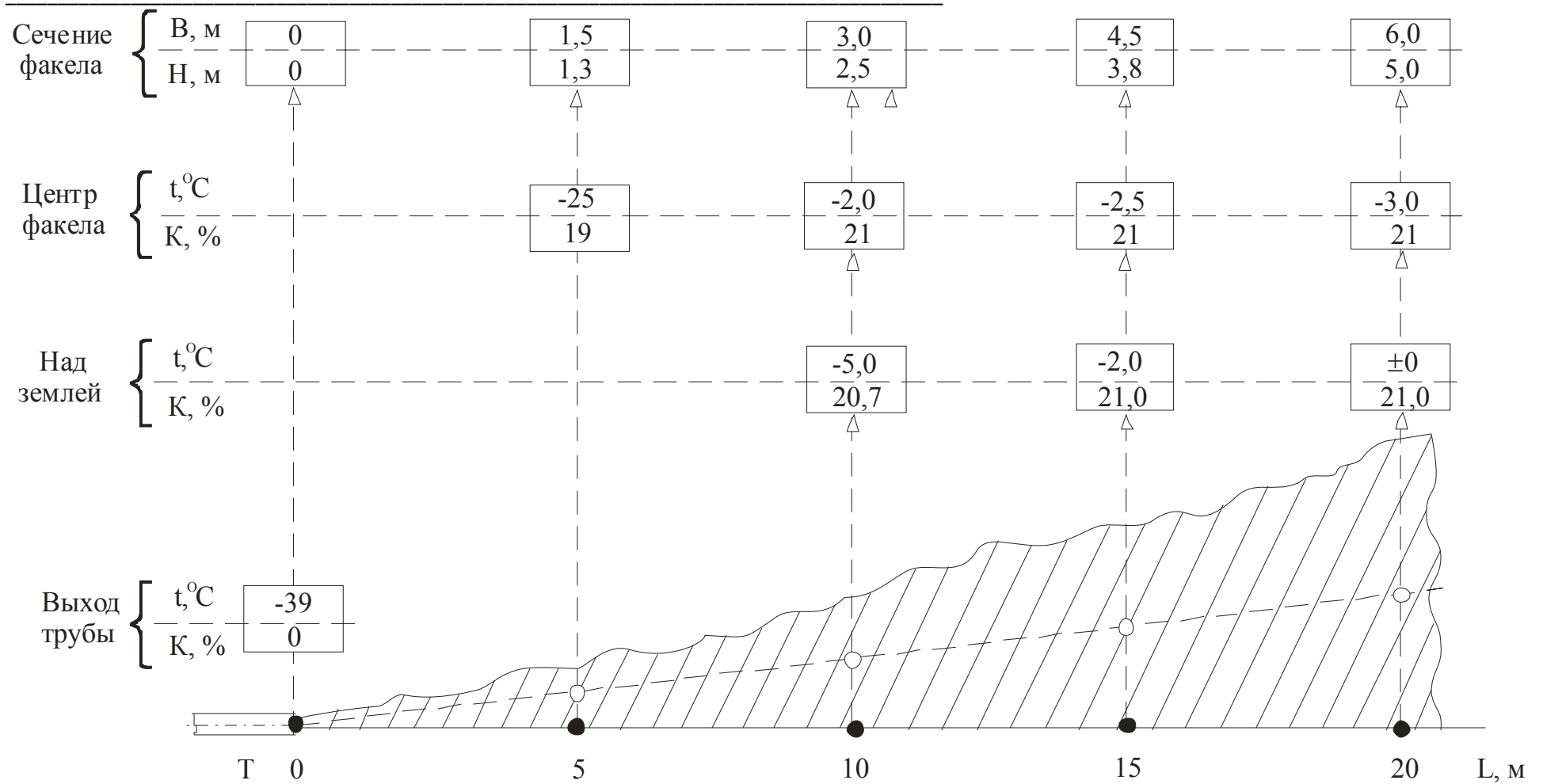


Рисунок 3 - Параметры факела, образующегося при истечении парожидкостной смеси R22 из трубы диаметром 25 мм:
 t – температура, °C; K – концентрация O₂, %; T – труба; B – ширина факела, м; H – высота факела, м.

Таблица 3 - Основные причины, вызывающие опасное состояние системы хладагента

Опасное состояние холодильного агента	Вероятные последствия аварии	Возможные причины аварии
Высокое давление	Механическое разрушение системы хладагента и травмирование людей. Аварийный сброс хладагента из машины в окружающую среду. Прекращение процесса охлаждения воздуха.	Отказ приборов автоматической защиты. Прекращение потока или недостаточный расход охлаждающей воды. Засорение поверхности теплообмена конденсатора и (или) водоохладителя. Остановка вентилятора водоохладителя. Недостаточный расход воздуха через водоохладитель.
Низкое давление	Размораживание теплообменных труб в испарителе. Прекращение процесса охлаждения воздуха.	Отказ приборов автоматической защиты. Нарушение плотности системы. Недостаток хладагента в системе. Отсутствие потока или недостаточный расход хладоносителя. Загрязнение теплообменной поверхности испарителя. Отказ защиты по давлению всасывания или потока хладоносителя. Отказ терморегулирующего вентиля.

В них рассмотрены различные вопросы, касающиеся опасных свойств хладагентов, в том числе исследованы условия удаления паров из углублений и нижних частей выработок, потенциальные места утечек из холодильной системы и закономерности истечения из мест повреждений оборудования, влияние на безопасность проведения горных выработок и др.

Поступление хладагента в горную выработку в процессе эксплуатации шахтного холодильного оборудования более подробно описано в [12].

Для конкретного холодильного оборудования [12] можно определить условия безопасного отвода хладагента от предохранительных клапанов. Например, для холодильной машины МХРВ-1-У5: марка хладагента - R22, [ПДУ] = 0,35 кг/м³ (табл. 1); $G_x = 500$ кг; диаметр проходного отверстия предохранительного клапана $d=25$ мм ($F=491$ мм²); избыточное давление перед клапаном $P_1=20$ кгс/см²; коэффициент, учитывающий свойства R22, $V=0,727$; коэффициент расхода газа $A=0,6$; плотность газа перед клапаном при соответствующих давлении и температуре, $\rho_1=93$ кг/м³; площадь поперечного сечения выработки, куда отводится хладагент от предохранительного клапана, $S=8$ м².

В результате расчетов получено: пропускная способность предохранительного клапана для холодильной машины МХРВ-1-У5 $G_{кл}=9468$ кг/ч; минимально допустимый расход воздуха, обеспечивающий заданное содержание R22 в воздухе $V_v = 451$ м³/мин; длина загазированного участка выработки $L=178$ м; продолжительность воздействия R22 на организм человека $\tau = 3,2$ мин. Аналогично

рассчитаны параметры загазирования выработок для других условий, результаты которых приведены на рис. 4 и 5.

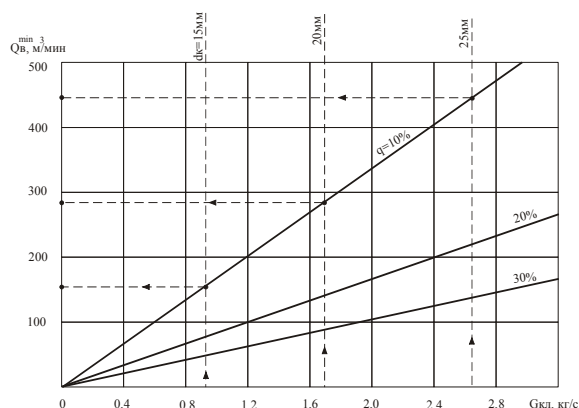


Рисунок 4 - Минимальный расход воздуха ($Q_{в}$), обеспечивающий концентрацию R22 в воздухе (q) при диаметре предохранительного клапана ($d_{к}$) в зависимости от пропускной способности клапана ($G_{кл}$) при давлении 0,2 МПа.

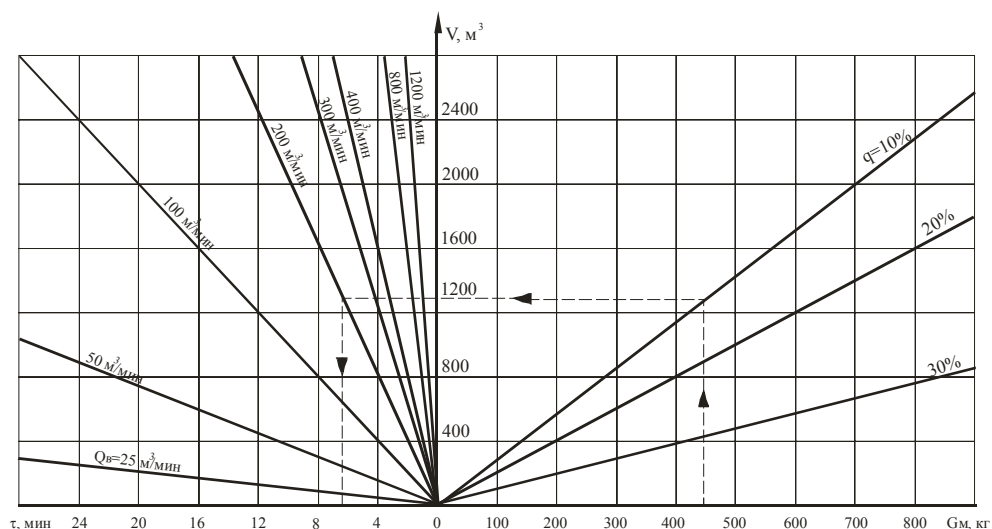


Рисунок 5 - Объем загазирования выработки (V) и время воздействия R22 на организм человека (τ) в зависимости от количества хладагента (G), поступающего в горную выработку, и концентрации хладагента в воздухе (q) при расходе воздуха в выработке (Q).

Согласно [13] симптомы отравления или удушья при вдыхании воздуха с концентрацией паров R22 свыше 30 % наступают через 30 минут. Учитывая незначительную продолжительность воздействия R22 на человека (рис. 5), можно полагать, что при аварийном выпуске R22 через предохранительные клапаны опасность поражения человека может наступить только в случаях, если концентрация паров R22 станет равной 30 % и более или же в случаях, когда хладагент будет сбрасываться в неветилируемую выработку [14,15].

В подземных условиях утечка из холодильной машины значительного количества хладагента может оказать отрицательное воздействие на безопасность

проветривания выработок. Давление хладагента, поступившего в вертикальную горную выработку, например в ствол, можно определить по формуле [11]:

$$P = \frac{G \cdot g \cdot \Delta\rho}{S \cdot \rho_a}, \text{ н/м}^2, \quad (1)$$

где G - масса хладагента, поступающего в вентиляционную струю, кг; $g=9.81 \text{ м/с}^2$ - ускорение силы тяжести; $\Delta\rho=\rho_a-\rho_v$ - разность плотности паров хладагента и воздуха, кг/м^3 ; S - сечение ствола, м^2 ; ρ_a - плотность парообразного хладагента, кг/м^3 ; ρ_v - плотность воздуха, кг/м^3 .

Для оценки влияния паров хладагента на режим работы вентилятора главного проветривания выполнен расчет для следующих условий: хладагент R22; количество хладагента, вышедшего из холодильной машины - 900 кг; средняя плотность паров хладагента - 3.57 кг/м^3 ; плотность рудничного воздуха - 1.25 кг/м^3 ; диаметр вентиляционного ствола - 5 м (сечение - 19.625 м^2). Расчетное значение дополнительного давления, создаваемого хладагентом:

$$P = \frac{900 \cdot 9,81 \cdot (3,57 - 1,25)}{19,625 \cdot 3,57} \approx 30 \text{ мм вод. ст.} \quad (2)$$

В реальных условиях, учитывая время выхода хладагента из машины, вероятность того, что весь хладагент сосредоточится в вентиляционной выработке на ограниченной протяженности весьма мала. Поэтому можно считать, что существенного влияния на режим работы вентилятора главного проветривания вышедший из холодильной машины хладагент оказать не может.

Системы хладоносителя и охлаждающей воды представляют собой замкнутые контуры трубопроводов, в которых циркулирует жидкость между испарителем холодильной машины и воздухоохладителями (контур хладоносителя) или между конденсатором холодильной машины и градирней (контур охлаждающей воды). В качестве циркулирующей жидкости используется вода, водный раствор этиленгликоля, водный раствор хлористого кальция [16]. Вследствие большой длины трубопроводных сетей и значительным расходам циркулирующей жидкости эти системы обладают большим запасом кинетической и потенциальной энергии, представляющей потенциальную опасность для людей. Наиболее опасными являются трубопроводы хладоносителя и охлаждающей воды, проложенные в вертикальных стволах.

Максимальное давление, действующее со стороны жидкости на стенки и соединительные элементы труб, зависит от рабочего режима циркуляционного насоса, глубины размещения понизителя давления (ТВД или гидротрансформатора), плотности жидкости и скорости движения:

$$P_{mp} = P_n + P_z + \Delta P_{y\partial}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где P_n - давление, создаваемое насосом, МПа; P_r – гидростатическое давление жидкости, МПа; $\Delta P_{уд}$ – давление гидравлического удара, МПа.

Давление, создаваемое насосом, определяется по характеристикам трубопроводной сети. Гидростатическое давление зависит от плотности жидкости ($\rho_{ж}$, кг/м³) и разностей геодезических высот рассматриваемого участка сети (H , м):

$$P_z = 10^{-6} \cdot \rho_{ж} \cdot g \cdot H, \text{ МПа}, \quad (4)$$

Давление гидравлического удара возникает в случае быстрого (аварийного) изменения расхода жидкости, при котором ее кинетическая энергия преобразуется в энергию давления. В процессе гидравлического удара давление в трубопроводе дополнительно возрастает на величину:

$$\Delta P_{уд} = 10^{-6} \cdot \rho_{ж} \cdot C \cdot \Delta W, \text{ МПа}, \quad (5)$$

где $C=1300-1500$ – скорость распространения ударной волны в жидкости, находящейся в трубопроводе, м/с, [17]; ΔW – величина изменения скорости жидкости в трубопроводе, м/с.

Определим возможную максимальную величину давления в трубопроводе для следующих условий: глубина размещения понизителя давления $H=1000$ м; плотность хладоносителя (водный раствор хлористого кальция) $\rho_{ж}=1170$ кг/м³; скорость распространения ударной волны $C=1500$ м/с; величина изменения скорости жидкости в трубопроводе $\Delta W=2$ м/с; давление, создаваемое насосом $P_n=1,5$ МПа. Согласно (3)-(5):

$$P_{mp} = 1,5 + 10^{-6} \cdot 1170 \cdot 9,81 \cdot 1000 + 10^{-6} \cdot 1170 \cdot 1500 \cdot 2 = 16,5 \text{ МПа} \approx 168 \text{ атм.}$$

Таким образом, наличие высокого давления в трубопроводе создает опасность его разрушения и поражения человека высоконапорной струей жидкости. Наибольшая опасность возникает в момент гидравлического удара, при котором создается максимальное избыточное давление. При этом вследствие возникающих колебаний трубопровода возможно нарушение его крепления в стволе и отклонение от вертикального положения, что может стать причиной аварии подъемной установки.

Подобная авария имела место на шахте им. Ф.Э.Дзержинского (г. Дзержинск) в 1968 году, где вследствие гидравлического удара трубопровод диаметром 300 мм вышел из компенсатора, отклонился от вертикального положения и перекрыл отделение ствола, предназначенное для движения подъемных сосудов. В результате на длительный период была остановлена работа подъемной установки, а также прекращен процесс охлаждения воздуха в горных выработках.

В табл. 4 приведены причины, вызывающие опасное состояние систем хладоносителя и охлаждающей воды и вероятные последствия аварий.

Таблица 4 - Основные причины, вызывающие опасное состояние системы хладоносителя

Опасное состояние	Вероятные последствия аварии	Возможные причины аварии
Системы хладоносителя и охлаждающей воды	Механическое разрушение трубопроводов и травмирование людей. Отказ холодильной машины. Снижение эффективности или прекращение процесса охлаждения воздуха.	Нарушение плотности фланцевых соединений трубопроводов. Повышенное давление жидкости в трубопроводах. Отказ циркуляционного насоса. Отказ или отсутствие КИП. Отсутствие или ненадежная работа средств водоподготовки. Отсутствие или нарушение теплоизоляционного покрытия трубопроводов. Гидравлический удар.

Выводы

1. Системы кондиционирования рудничного воздуха, в силу специфики горного производства, существенно отличаются от аналогичных систем, применяемых в других отраслях промышленности. Эти отличия сводятся к следующему: основные элементы СКРВ располагаются на различных геодезических уровнях и значительном удалении друг от друга (десятки километров); трубопроводные системы характеризуются большими расходами циркулирующей жидкости (до 1000 м³/ч) и высоким давлением (до 16 МПа и более); в подземных выработках СКРВ эксплуатируются в условиях ограниченности свободного пространства, повышенной запыленности и взрывоопасности окружающей рудничной атмосферы, воздействия на оборудования горного давления.

2. Источниками потенциальной опасности поражения людей при эксплуатации СКРВ являются холодильные агенты, что обусловлено их токсичными, термодинамическими, пожаро- и взрывоопасными свойствами, а также технологическая жидкость, циркулирующая в контурах хладоносителя и охлаждающей воды под высоким давлением.

3. Установлено, что образование опасной концентрации хладагента в горных выработках возможно при условии одновременной реализации следующих событий: нарушение процесса отвода теплоты конденсации хладагента, отказ системы автоматической защиты и нарушение режима проветривания выработки, в которую отводятся пары хладагента от предохранительных клапанов. Выявлены условия, при которых будут обеспечены допустимые значения ПДК па-

ров фреона в воздухе горных выработок как при нормированной утечке хладагента из холодильных машин, так и при его аварийном истечении через предохранительные клапаны или разгерметизации системы хладагента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по применению установок кондиционирования воздуха в глубоких шахтах. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1980. – 297 с.
2. Промышленные фторорганические продукты. Справочник / Б.Н.Максимов, В.Г. Барабанов, И.Л. Серушкин [и др.]; под ред. Б.Н.Максимова. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.
3. Перельштейн, М.И. Оценка токсичности хладагентов / М.И. Перельштейн, Г.А.Кусляйкин // Холодильная техника. – 1981. – №4. – С. 53-54.
4. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их изучения: Справочник / Баратов А.И., Корольченко А.Я., Кравчук Г.И. [и др.]; под ред. А.И.Баратова. – М.: Химия, 1990. – 496 с.
5. Гидаспов, Б.В. Проблемы применения фреонов в холодильной технике / Б.В.Гидаспов, Б.Н.Максимов // Холодильная техника. – 1989. – №3. – С. 2-4.
6. Быков, А.В. Программа перехода на озонобезопасные хладагенты / А.В.Быков, И.М.Калнинь, В.И.Сапронов // Холодильная техника. – 1991. – №10. – С. 2-5.
7. Ламель, Г. Места потенциальной утечки хладагента при повреждении холодильных машин в шахте / Г. Ламмель, Г.И. Беём // Gluckauf-Forschungshefte. – 1988. – №3. – С.122-128.
8. Разработка технических требований на средства постоянного контроля концентрации аммиака в воздухе и трубопроводах хладоносителя шахтных холодильных установок: отчет о НИР / МакНИИ; рук. Сальный А.Т. – Макеевка-Донбасс, 1968. – 88 с.
9. Изучение вопросов техники безопасности при шахтном кондиционировании воздуха: отчет о НИР / МакНИИ; рук. Хохотва Н.Н., Довгий А.Е. – Макеевка-Донбасс, 1964. – 86 с.
10. Lammel, G. Potentielle Kältemittelaustritte bei Schadensereignissen an Kältemaschinen unter Tage / G.Lammel, H-J.Böhm // Glückauf-Forschungshefte. – 1988. – №3. – S. 122-128.
11. Джонсон, Дж. Систематическая оценка состояния техники безопасности в горной промышленности / Дж.Джонсон, Дж.Маквейд, Г.А.С.Геймс // The Mining Engineer. – 1980. – March. – S. 723-725.
12. Алабьев, В.Р. Анализ условий образования опасных концентраций хладагента в горных выработках при эксплуатации шахтной холодильной техники / В.Р. Алабьев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. трудов //МакНИИ: Макеевка-Донбасс, 2004. – с. 184-190.
13. Правила техники безопасности на фреоновых холодильных установках. – М.: ВНИИХИ, 1967.
14. Алабьев В.Р. Анализ условий образования опасных концентраций хладагента в горных выработках при эксплуатации шахтной холодильной техники / В.Р.Алабьев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. – Макеевка: МакНИИ. – 2004. – Ч. 1. – С. 184-190.
15. Разработать требования безопасности к системам кондиционирования рудничного воздуха: отчет о НИР (промежуточный) / МакНИИ; рук. Алабьев В.Р., Черниченко В.К. – Макеевка, 2002. – 96 с. – № ГР 0102U007412.
16. Черниченко В.К. Устройство, монтаж и эксплуатация шахтных холодильных установок / В.К.Черниченко, Я.И.Дрига, А.К.Яковенко. – М.: Недра, 1987. – 255 с.
17. Гейер В.Г. Шахтные вентиляционные и водоотливные установки / В.Г. Гейер, Г.М.Тимошенко. – М.: Недра, 1987. – 270 с.

REFERENCES

1. *Rukovodstvo po primeneniyu ustanovok kondicionirovaniya vozdukh v glubokirh shakhtakh* [Guidance on application of options of conditioning of air in deep mines] (1980), MakSII:Makeevka, Ukraine.
2. *Promishlenniye ftoroorganicheskiye produkty.Spravochnik* [Industrial fluoric-organic products. Reference book], (1990), under red. of B.N. Maksimov, Chemistry, Leningrad, USSR.
3. Perel'shteyn, M.I. and Kuslyaikin, G.A. (1981), «Appreciate toxic of cold-agents», *Refrigeration technique*, no.4, pp. 53-54.
4. *Pozharovzryvobezопасnost veshchestv i materialov I sredstva ikh izucheniya. Spravochnik* [Fire- and explosion safety matters and materials and mean of it's study: Reference book], 1990, under red. of A.I. Baratov, Chemistry, Moscow, USSR.
5. Gydaspov, B.V. and Maximov, B.N. (1989), «Problems of applications of freones in a refrigeration technique», *Refrigeration technique*, no. 3, pp. 2-4.
6. Bykov, A.V., Kalnin, I.M. and Saponov V.I. (1991), «Program transition on ozon-safe cold-agents», *Refrigeration technique*, no.10, pp. 2-5.
7. Lamel, G. and Böhm, H.-J. (1988), «Kältemittelaustritte bei Schadensereignissen an Kältemaschinen unter Tage», *Gluckauf-Forschungshefte*, no.3, pp. 122-128.
8. «Development of technical requirements on facilities of permanent control of concentration of ammonia in mid air and pipelines of cold-agent mine refrigeration units: report about SYW, MakSII» (1968), hands Salny A.T., Makeevka, USSR.
9. «Study of questions of accident prevention at the mine conditioning of air: report about SIV, MakSII», (1964), hands Khotkhotva N.N., Dovgiy A.Ye., Makeevka, USSR.
10. Lammel, G. and Böhm, H.-J. (1988), «Kältemittelaustritte bei Schadensereignissen an Kältemaschinen unter Tage», *Gluckauf-Forschungshefte*, no.3, pp. 122-128.
11. Dzhonson, Dzh. (1980), «Systematic estimation of the state of accident prevention in mining industry» *б The Mining Engineer*, March, pp. 723-725.
12. Alab'ev, V.R. «Analysis terms of formation of dangerous concentrations of cold-agents in the rock making during exploitation of mine refrigeration technique», *Methods and facilities of creation of safe and healthy terms of labour in coal mines: sb. science labours, MakSII*, : Makeevka, pp. 184-190.
13. *Pravila tekhniki bezопасnosti nafreonovikh kholodilnikh ustanovkakh* [Rules of accident prevention on freon's refrigeration units] (1967), VNYKHY, Moscow, USSR.
14. Alabyev, V.R. «Analysis of terms of formation of dangerous concentrations of cold-agents in the rock - making during exploitation of mine refrigeration technique» (2004),», : MakSII, vol. 1, pp. 184-190.
15. «To develop the system requirements of safety conditioning of mine air: report about SYV (intermediate), MakSII» (2002), hands Alabyev V.R., Chernichenko V.K., Makeevka, USSR.
16. Chernichenko, V.K., Driga, Ya. I. and Yakovenko, A.K. (1987), *Ustroystvo, montazh i ekspluatatsiya shakhtnikh kholodilnikh ustanovok* [Device, editing and exploitation of mine refrigeration units], Bowels of the earth, Moscow, USSR.
17. Geyer, V.G. and Timoshenko, G.M. (1987), *Shakhtniye ventilacionniye i vodootlivniye ustanovki* [Mine ventilation and pumping options], Bowels of the earth, Moscow, USSR.

Об авторах

Алабьев Вадим Рудольфович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», Донецк, Украина, avr.09@mail.ru

Бокий Борис Всеволодович, доктор технических наук, заместитель генерального директора ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», Донецк, Украина,

About the authors

Alabiyev Vadim Rudolfovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Reseacher, Deputy Director of PAS «Mine named A.F. Zaszadko», Donetsk, Ukraine, avr.09@mail.ru

Bokiy Boris Vsevolodovich, Doctor of Technical Sciences (Ph.D.), Deputy Director of PAS «Mine named A.F. Zaszadko», Donetsk, Ukraine,

Анотація. Розглянуті потенційні небезпеки, пов'язані з використанням холодильних агентів в шахтних умовах. Приведена характеристика небезпечних властивостей основного з холодоагентів R22, що нині використовуються, і проаналізовані небезпеки, обумовлені його термодинамічними властивостями. Класифіковані основні небезпеки, здатні вплинути на життєдіяльність людей і функціонування шахти в результаті неконтрольованого виходу з ладу холодильного устаткування, і приведені приклади і причини таких аварійних ситуацій. Досліджені основні умови небезпечних концентрацій холодоагента у виробках, вплив витоків холодоагента на безпеку провітрювання шахти, і потенційні небезпеки, обумовлені кінетичною і потенційною енергією холодоносія і охолоджуючої води.

Результатом проведених досліджень є виявлення умов, при яких будуть забезпечені допустимі значення ПДК пари фреону у повітрі гірських виробок як при нормованому витoku холодоагента з холодильних машин, так і при його аварійному закінченні через запобіжні клапани або розгерметизації системи холодоагента. Реалізація пропонованих заходів по усуненню вказаних несправностей дозволить підвищити безпеку праці підземних гірників.

Ключові слова: теплообмінні процеси, тупикові виробки, вугільні шахти, кондиціонування рудникового повітря, холодоносії.

Abstract. Potential risks associated with the coolants used in the coal mines are considered. Hazard properties of the R22 coolant which is currently widely used are described, and potential dangers of its thermodynamic properties are analyzed. Key risks are classified which could influence on the vital functions of people and safety operation of the mine in result of uncontrolled breakdown of the refrigeration equipment, and examples and reasons of such emergency situations are described. Basic conditions for occurrence of the coolant dangerous concentrations in the tunnels, influence of the coolant leakages on the mine ventilation safety and potential dangers caused by kinetic and potential energy of the cool-bearer and cooling water are studied.

The findings revealed conditions which could ensure permissible levels of freon concentration in air of the mines both in case of rated coolant leakages from the refrigeration equipment and in case of emergency leakage through the safety valves or due to the lost sealing in the coolant system. Realization of the proposed measures on removal of the mentioned damages can increase labour safety for underground miners.

Keywords: heat-exchange processes, blind drift, coal mines, conditioning of mine air, cool-bearer.

Стаття поступила в редакцію 22.08.2013

Рекомендовано к публікації д-ром техн. наук Т.В. Бунько

УДК 622.453.012.2

В.О. Трофимов, канд. техн. наук, доцент,
О.Л. Кавера, канд. техн. наук, доцент
(ДонНТУ)

РЕГУЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОВІТРЯ У ВЕНТИЛЯЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ

В.А. Трофимов, канд. техн. наук, доцент,
А.Л. Кавера, канд. техн. наук, доцент
(ДонНТУ)

РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

V. Trofimov, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
A. Kavera, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(DonNTU)

REGULATION OF AIR DISTRIBUTION IN THE VENTILATION SYSTEM

Анотація. В статті досліджуються закономірності розподілу повітря у паралельному вентиляційному з'єднанні. Для визначення закономірностей регулювання розподілу повітря використовується графоаналітичний метод і комп'ютерне моделювання вентиляційних мереж. Основу графоаналітичного методу складає визначення режимів вентиляції окремих гілок за допомогою приведених і аеродинамічних характеристик. Розглянуто умови формування режимів провітрювання окремих гілок і паралельного з'єднання в цілому. Зроблено аналіз можливих наслідків розподілу повітря після негативного регулювання (підвищення аеродинамічного опору однієї з гілок паралельного з'єднання). Встановлено, що ступінь регулювання розподілу повітря ефективніший в тій вентиляційній мережі, де гілки паралельного з'єднання мають менші абсолютні значення аеродинамічних опорів.

Ключові слова: вентиляційна мережа, регулювання, розподіл повітря, комп'ютерне моделювання, властивості вентиляційної мережі.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами

Питання розподілу повітря у вентиляційній мережі пов'язані з регулюванням цього розподілу або впливом природних і штучних чинників на режим вентиляції окремих частин шахти. Вирішення цих питань потребує вивчення загальних закономірностей, які діють у вентиляційній мережі і в окремих вентиляційних з'єднаннях. На цей час в підручниках з аерології гірничих підприємств чи в відповідних наукових статтях питання оцінки наслідків регулювання розподілу повітря не розглядаються. Відсутні методичні засади передбачення можливих наслідків від використання вентиляційних регуляторів у вентиляційній мережі. Це призводить до невиправданих матеріальних витрат при виборі місць встановлення вентиляційних регуляторів в нормальних умовах або до похибок при оперативному регулюванні розподілу повітря в аварійних умовах на вугільних шахтах і в метрополітенах.