

В.Г.Перепелица, д.т.н.,проф.,
С.В.Тынына, мл.научн.сотр.,
В.В.Власенко, инж.,
К.К. Подоляк, инж.,
М.В. Стецюк, инж.
(ИГТМ НАН Украины)

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИХРЕВЫХ ШАХТНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ

В роботі обґрунтована можливість застосування вихрових кондиціонерів для нормалізації параметрів шахтного мікроклімату. Приведена їх класифікація по методу утилізації гарячого повітря. Розглянуті можливості підвищення ефективності роботи вихрових кондиціонерів.

ABOUT POSSIBILITY OF INCREASE OF EFFICIENCY OF VORTICAL MINE CONDITIONERS

This work describes the possibility of using vortex conditioners for normalization of mine microclimate conditions. Also this work contains classification of vortex conditioners by method of hot air utilization. In addition, it is considered the possibility of effectiveness increase of vortex conditioners functioning.

Процесс добычи угля в шахтах происходит при наличии ряда неблагоприятных факторов: высокая температура рудничей атмосферы, запылённость и т.д. Высокая температура в забое возникает из-за тепловыделения от горного массива, транспортируемого угля и работающих механизмов. Вследствие этих процессов в шахтах Донецкого бассейна, где добыча уже осуществляется на глубине более 1500 м, температура в выработках выемочных участков составляет 32-36°C, а в подготовительных тупиковых выработках 34-38°C [1].

Такие условия работы противоречат «Правилам безопасности ведения горных работ в угольных шахтах», это означает, что добыча угля в шахтах не должна осуществляться без дополнительных мероприятий по нормализации параметров шахтной атмосферы. Наличие вышеупомянутых факторов приводит к снижению работоспособности шахтёров и ведёт к резкому ухудшению их здоровья. Согласно требованиям «Правил безопасности ведения горных работ в угольных шахтах» температура рудничной атмосферы на рабочих местах с учетом скорости и относительной влажности воздуха не должна превышать 22-26°C [1]. Однако, как показывает практика такие условия не соблюдаются на большинстве шахт Донбасса, что значительной мерой отражается на их технико-экономических показателях. Из этого следует, что основной задачей угольной промышленности является обеспечение оптимальных параметров рудничной атмосферы.

Существуют различные методы искусственного охлаждения рудничной атмосферы: осушение воздуха сорбентами, охлаждение воздуха жидким воздухом, пропускание воздуха через тепловыравнивающие каналы, охлаждение воздуха водой и т.д., но все эти способы имеют ограниченную область при-

менения и невысокую эффективность охлаждения, вследствие чего их применяют вспомогательными при наличии центральных шахтных кондиционеров или условий проветривания [2].

Основным способом нормализации тепловых условий в выработках глубоких шахт является искусственное охлаждение воздуха при помощи холодильных машин и внешнего местного проветривания воздухом, взятого из потока свежей струи.

Установки для кондиционирования рудничного воздуха в зависимости от местоположения холодильной машины и воздухоохладителей подразделяются на три группы [3]:

- воздухоохладительная установка с расположением холодильной машины на поверхности. В этом случае охлаждение воздуха может быть централизованным (когда весь воздух охлаждается на поверхности или в околоствольном дворе), групповым (когда воздухоохладители обслуживают группу участков) и местным (при охлаждении воздуха на откаточном штреке вблизи очистного забоя);

- воздухоохладительная установка с расположением холодильной машины в шахте (при этом может быть осуществлено централизованное, групповое и местное кондиционирование рудничного воздуха);

- местная установка для кондиционирования рудничного воздуха с расположением холодильной машины и воздухоохладителей вблизи очистного забоя.

Третий тип установки считается самым практичным, так как он наиболее оптимально решает все поставленные задачи для нормализации шахтной атмосферы. Также он является менее энергопотребляемым по сравнению с воздухоохладительной установкой с расположением холодильной машины на поверхности. К примеру, мощность только одной такой холодильной станции, расположенной на поверхности шахты, составляет от 4 до 20 МВт, в то время как мощность холодильной установки с подземным расположением будет составлять 400-500 кВт.

Учитывая, что в холодильные установки для нормализации шахтного микроклимата входят хладагенты, которые являются озоноразрушающими и вредными для здоровья людей, то альтернативным источником получения холода является кондиционер на базе вихревых труб [4].

Вихревые кондиционеры успешно находят применение в таких отраслях промышленности как металлургической, химической, машиностроительной, а также при кондиционировании автомобилей, грузоподъемных кранов, локомотивов и на других объектах, где присутствуют высокие температуры. Вихревые кондиционеры обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными холодильными установками. Они более мобильны, компактны и имеют меньше энергопотребление в сравнении с аналогичными кондиционерами холодильного типа [5]. Также вихревые кондиционеры отличаются своей простотой установки и надёжностью при их эксплуатации.

Основным элементом вихревого кондиционера является вихревая труба. В ней происходит процесс разделения воздуха на холодную и горячую состав-

ляющие. Принцип работы вихревой трубы заключается в том, что сжатый воздух, проходя через сопло определенной формы, разгоняется до высокой скорости и закручиваясь по спирали Архимеда, образует вихревой поток, приосевые слои данного потока имеют более низкую температуру, чем слои, находящиеся на внешней стороне. Холодный поток газа отбирается через сопло, а горячий периферийный поток отводится через дросселирующую диафрагму и развихрительную камеру в противоположном направлении. При этом возникает необходимость сброса или же утилизации горячего воздуха. Существует немало теорий относительно того, какие именно процессы происходят при разделении. Но однозначно никто не может утверждать о природе процессов, протекающих в вихревой трубе [6, 7].

Кондиционеры на базе ВТ можно классифицировать по способу утилизации тепла горячего потока (рис. 1).

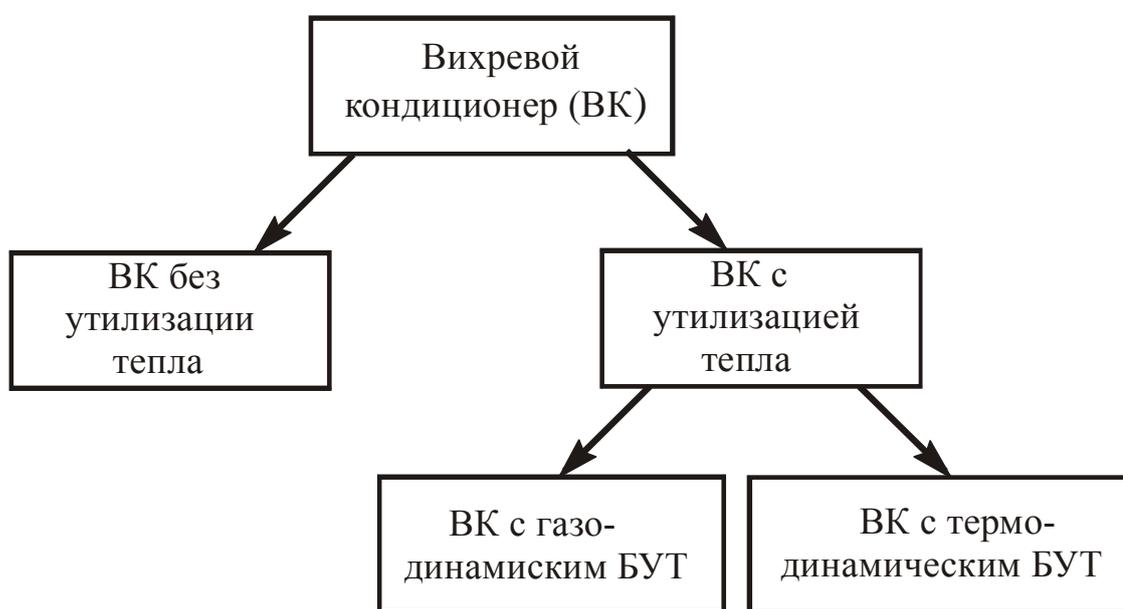


Рис. 1 – Классификация вихревых кондиционеров

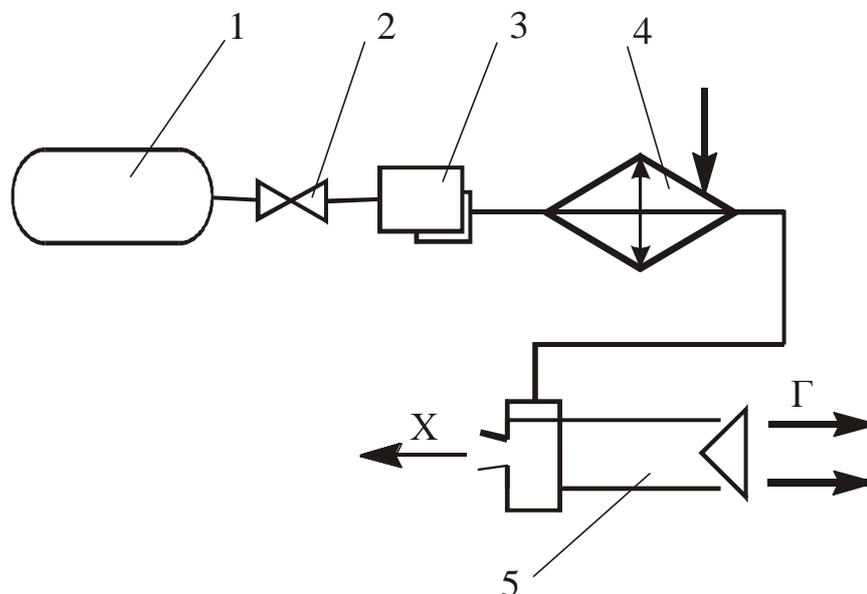
1. Вихревые кондиционеры без утилизации тепла.

Наипростейшим вихревым кондиционером является сама вихревая труба. Примером может служить кондиционер, разработанный Р.С. Тер-Ионесяном (рис. 2), который состоит из баллона 1 сжатого воздуха, запорного клапана 2, редуктора 3, воздухо-воздушного теплообменника 4, вихревой трубы 5. Включением в состав кондиционера теплообменника на рециркуляционном потоке дополнительно повышает удельную холодопроизводительность в 1,2—1,3 раза. Полученный на выходе из ВТ горячий поток сбрасывается в атмосферу [8].

2. Вихревые кондиционеры с БУТ.

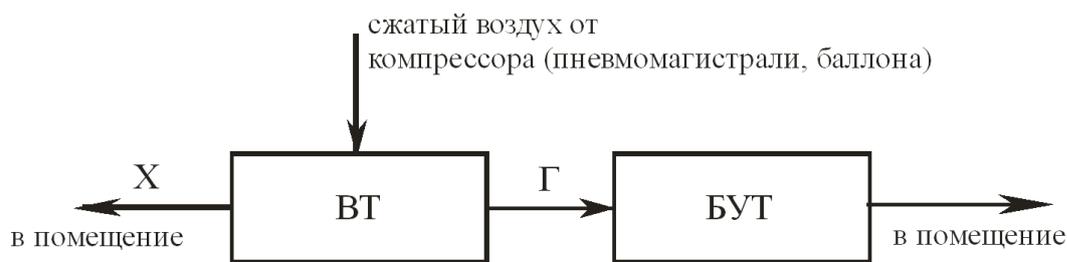
Рассмотрим основные схемы компоновки кондиционеров с использованием блока утилизации тепла (БУТ) горячего воздуха. Структурная схема (рис. 3) включает в себя вихревую трубу, запитанную сжатым воздухом на-

прямою от компрессора или пневмомагистрали, БУТ. Нормализованный воздух, полученный в результате работы ВТ, направляется для кондиционирования внутришахтного пространства, а тепло горячего потока в БУТ. Утилизировать тепло можно газодинамическим (эжектор) или термодинамическим (теплообменник, тепловой насос) способами.



1- баллон сжатого воздуха, 2- запорный клапан, 3- редуктор,
4- воздухо-воздушный теплообменник, 5- вихревая труба,
Г – горячий поток, X – холодный поток

Рис. 2 – Схема кондиционера Р.С. Тер-Ионесеяна на базе ВТ без утилизации тепла

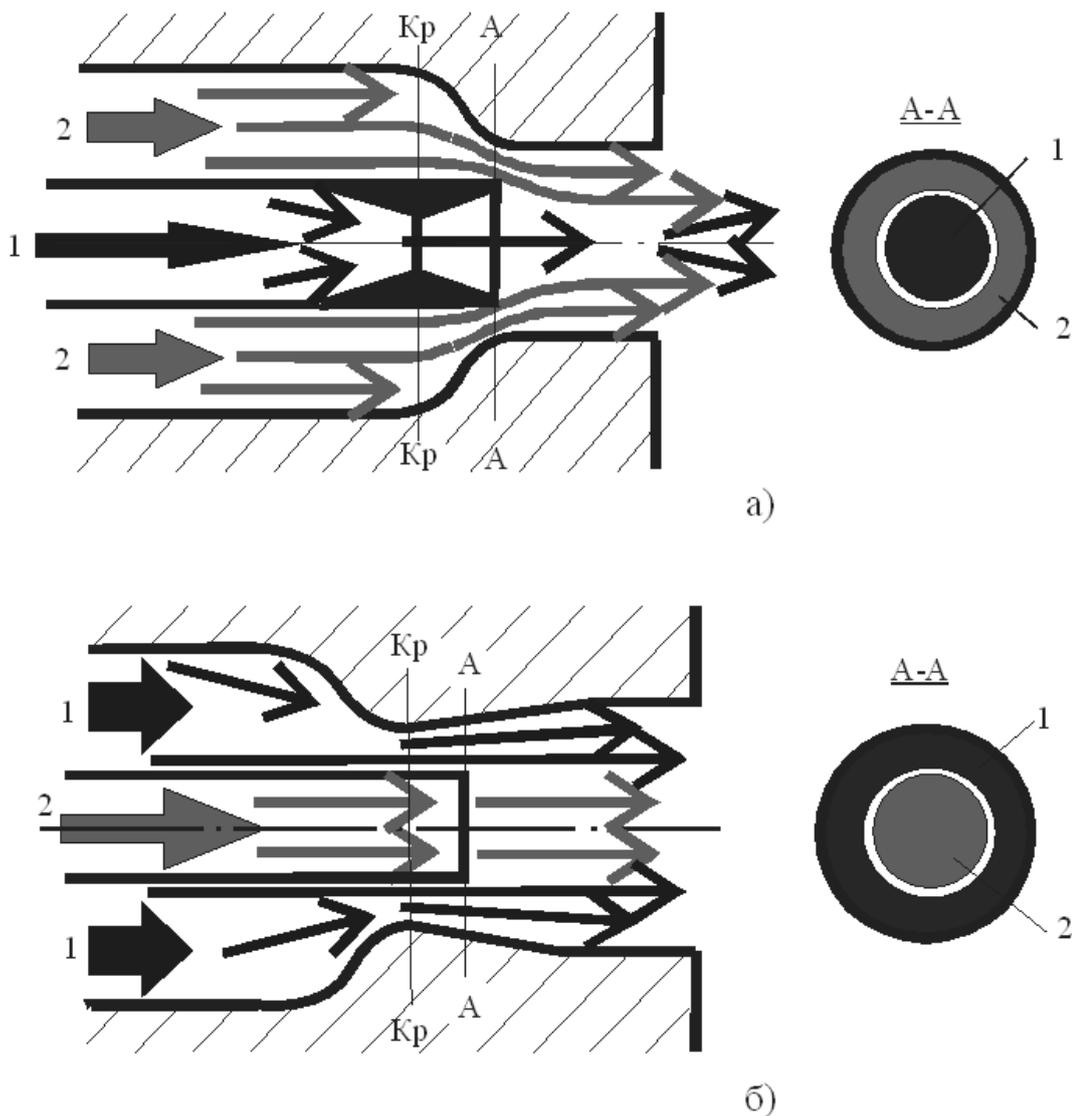


ВТ – вихревая труба, БУТ – блок утилизации тепла, X – холодный воздух,
Г – горячий воздух

Рис. 3 – Структурная схема вихревого кондиционера с блоком утилизации тепла

3. Вихревые кондиционеры с газодинамическим БУТ

Утилизация тепла газодинамическим способом осуществляется с помощью эжектора, преобразовывая внутреннюю энергию горячего потока в кинетическую энергию истекающей струи. Применяются как эжектора классической компоновки [9] (рис. 4, а), так и кольцевые эжектора (рис. 4, б), отличающиеся между собой схемой расположения эжектирующего и эжектируемого потоков [10-14].



1 – эжектирующий поток, 2 – эжектируемый поток
Рис. 4 – Схема распределения потоков в эжекторе

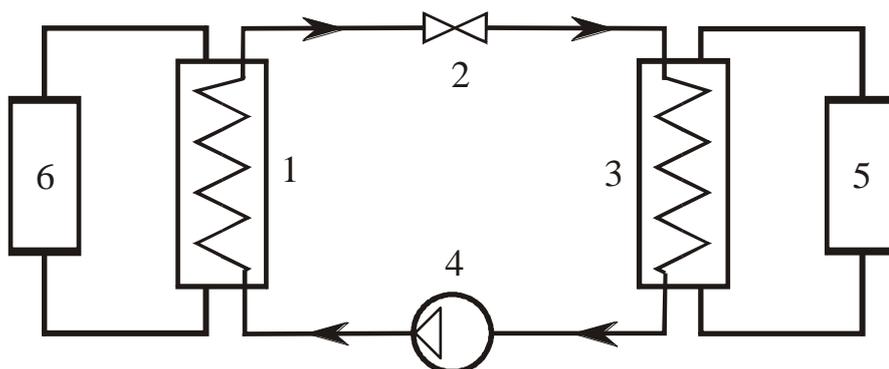
4. Вихревые кондиционеры с термодинамическим БУТ

Структурно схема кондиционера с термодинамической утилизацией тепла имеет такой же вид, что и ВК с газодинамической утилизацией. Различие заключается только в БУТ. Принцип работы термодинамического БУТ заключается в том, что внутренняя энергия одного рабочего тела передается другому. В данном случае энергия горячего воздуха – хладагенту.

Тепло горячего воздуха, полученное в результате работы вихревой трубы, можно использовать для хозяйственных нужд (отопление, горячее водоснабжение). Возникают проблемы, связанные с отводом потока горячего воздуха из шахты. Устранить их можно путем использования воздухо-жидкостного теплообменника для передачи тепла жидкому теплоносителю. Последний более эффективно применять для передачи тепла на поверхность.

Повысить эффективность предложенного выше метода можно преобразованием среднетемпературного тепла (горячий воздух на выходе из ВТ) в вы-

сокопотенциальное тепло, с помощью теплового насоса [15, 16]. Основными элементами теплового насоса являются соединенные трубопроводом испаритель, компрессор, конденсатор и регулятор потока (дроссель, детандер или вихревая труба). Схематично тепловой насос представлен на рис. 5. Горячий воздух от вихревой трубы 5 подается в испаритель 3, где отдает тепло хладагенту и испаряет его. Компрессор 4 нагнетает хладагент в конденсатор 1, повышая его давление и температуру. В конденсаторе 1 хладагент конденсируется отдавая при этом тепло теплоносителю внешнего контура, который передает полученную тепловую энергию потребителю 6. Далее хладагент через дроссель 2 подается в испаритель 3 и цикл повторяется [17, 18].



1 – конденсатор, 2 – дроссель, 3 – испаритель, 4 – компрессор, 5 – вихревая труба, 6 – потребитель

Рис. 5 – Схема теплового насоса

Способы повышения эффективности вихревого кондиционера

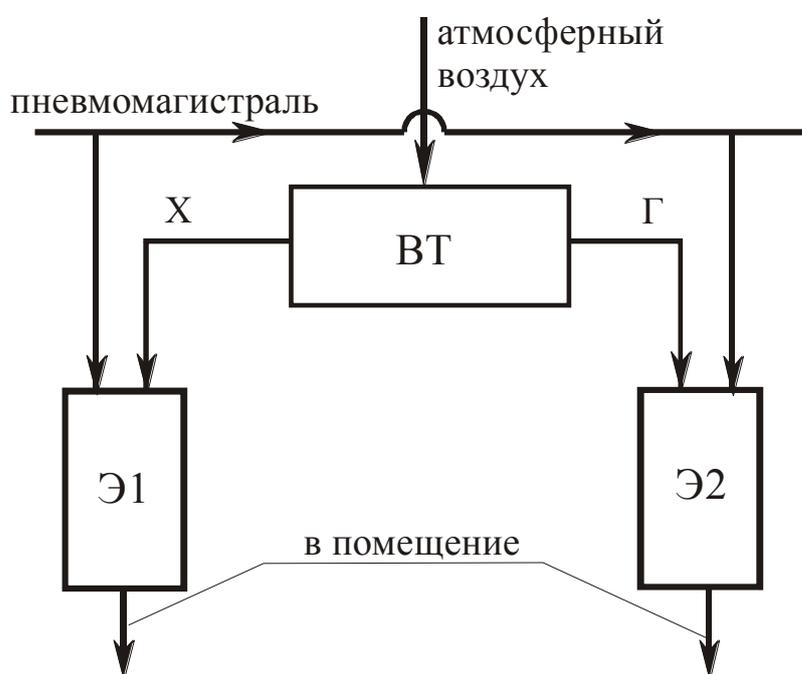
1. Применение пары эжекторов

Один из способов повышения эффективности вихревого кондиционера является применение вихревой трубы оснащенной эжекторами, которые располагаются на ее горячем и холодном концах (рис. 6). Давление в эжекторе 1 и эжекторе 2 обеспечивается благодаря воздуху из пневмомагистрали. Эжекторы, в свою очередь, обеспечивают статический перепад давлений необходимый для работы ВТ. Суть этого метода состоит в том, что воздух в вихревую трубу подсасывается из атмосферы, а не из пневмомагистрали. Холодный поток направляется в эжектор 1, где его температура нормализуется. Горячий поток из вихревой трубы направляется в эжектор 2, что позволяет утилизировать его, тем самым значительно повысить эффективность данного кондиционера.

2. Каскадная схема в вихревом кондиционере

Работа ВК, разработанных на базе одной ВТ, характеризуется относительно невысоким КПД (55-60%). Этот факт диктует необходимость разработки новых схем с улучшенными характеристиками. Одним из способов повышения эффективности ВК является применение многокаскадных схем компоновки, примером может служить схема, приведенная на рис. 7. Принцип работы заключается в следующем. На вход первой вихревой трубы (ВТ1), рас-

считанной, к примеру, на разделение газа с $\mu=0,5$, подается воздух с температурой 50°C . На выходах образуются два газовых потока с температурами 20°C и 80°C . Поток с температурой 20°C направляется в атмосферу для ее нормализации, второй горячий поток (с температурой 80°C) поступает на вход второй трубы (ВТ2), имеющую то же $\mu=0,5$, но рассчитанную на расход в два раза меньше. В результате разделения получим потоки $T_x=50^{\circ}\text{C}$, $T_r=110^{\circ}\text{C}$. Холодный поток направляется на вход ВТ1, а горячий, для последующего разделения, на вход в ВТ3. В третьей ступени каскада воздух снова разделится на $T_x=80^{\circ}\text{C}$ и $T_r=140^{\circ}\text{C}$. После чего поток с $T_x=80^{\circ}\text{C}$ перенаправляется на вход ВТ2, а поток с температурой 140°C в БУТ, где он будет утилизирован и направлен в рабочее пространство для его охлаждения. В качестве БУТ в приведенной схеме используется эжектор.



Э1, Э2 – эжектора, X – холодный поток, Г – горячий поток
Рис. 6 – Схема ВК, оснащенного эжекторами

Для такой системы не трудно рассчитать μ , который составит $0,87$ вместо $0,5$ однокаскадной схемы. Такое повышение эффективности значительно снижает затраты на утилизацию вторичного тепла, что, естественно, сказывается на стоимости всего процесса производства.

Предложенная в работе классификация ВК позволила указать пути повышения эффективности его работы, а именно:

- применение многокаскадных схем (более трёх ступеней), что приводит к увеличению коэффициента μ до $0,85-0,95$;
- применение эжектирующих устройств для создания необходимого разрежения на выходе из ВК, что в свою очередь подразумевает снижение давления на входе в него.

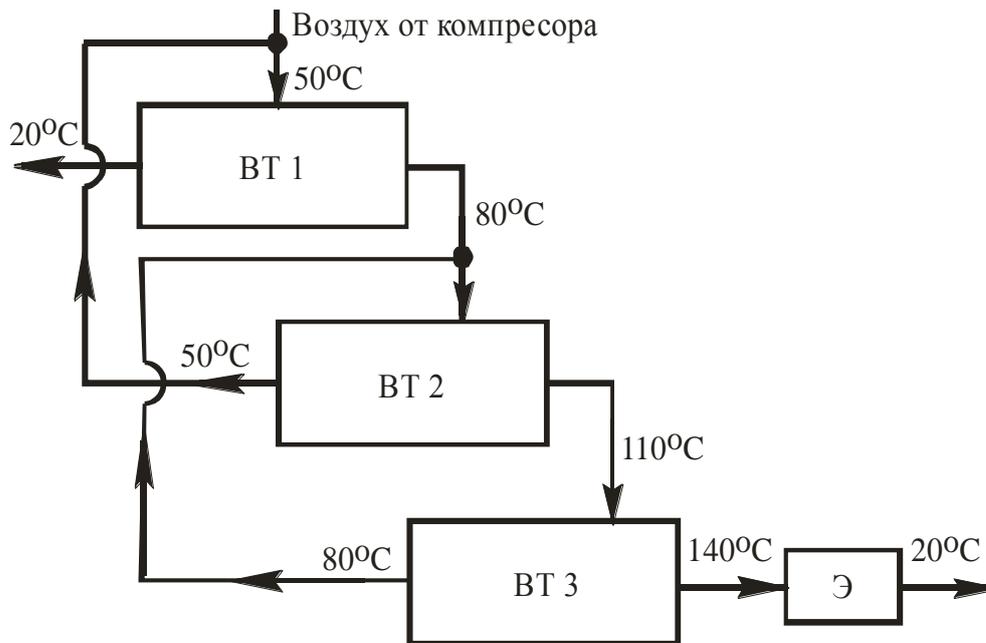


Рис. 7 – Каскадная схема

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах: Затверджено наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 22.08.2000 №215 ДНОАП 1.1.30–1.01.-00; Зареєстровано 17.10.2000 за №715/4936. – К., 2001. – 481 с.
2. Холодильні установки: Підручник: У двох книгах. Кн.2 / І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'янівський [та ін.] – К.: Либідь, 1995. – 224 с.
3. Терпигорев А.М. Горное дело [Энциклопедический справочник] / Терпигорев А.М. – М.: Углетехиздат, 1959. – 377 с.
4. Мартынов А. А., Лунев С. Г., Яковенко А. К., Солдатов В.И., Розенберг А. С. Кондиционирование воздуха в действующих рабочих шахтах // Уголь Украины. – 2002. – №5. – С. 44 – 48
5. Рей Д. Экономия энергии в промышленности. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
6. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – М.: Машиностроение, 1969. – 184 с.
7. Пиралишвили Ш.А., Поляев В.М., Сергеев М.Н. Вихревой эффект. Эксперимент. Теория. Технические решения. Под ред. акад. РАН А.И. Леонтьева. – М.: УНПЦ Энергомаш, 2000 – 405 с.
8. Суслов А.Д. Физические основы вихревого эффекта. – М.: Машиностроение, 1985. – 252 с.
9. Абрамович Г.Н. Прикладная газодинамика, изд.3. – М., 1969. – 652 с.
10. Васильев Ю.Н. Теория сверхзвукового газового эжектора с цилиндрической камерой смешения. / Сб. научн. тр. "Лопаточные машины и струйные аппараты", вып. 2.– М.: "Машиностроение", 1967. – С. 171-235.
11. Васильев Ю.Н. Некоторые одномерные задачи течения двухфазной газопарожидкостной смеси / Сб. научн. тр. "Лопаточные машины и струйные аппараты", вып. 6.– М.: "Машиностроение", 1972 – С. 179–201.
12. Патент №31326 Украина, МПК (2006) F04F5/00 B02C 19/06 G01M 9/00 «Кольцевое эжектирующее устройство» / С.В. Тынына, А.И. Астапов, А.Д. Чаплиц [и др.] / Украина /. u2007 06582 Заявлен от 12.06.2007; опубликован 10.04.2008, Бюл. №7 – 6 с.:ил.
13. Соколов Е.Я., Зигнер Н.М. Струйные аппараты. – М., 1989. – 352 с..
14. Христианович С.А. О расчете эжектора. Сб. "Промышленная аэродинамика", ЦАГИ, 1944. – С. 35-48.
15. Фиалко Н.М., Зимин Л.Б. Оценка эффективности применения тепловых насосов в условиях метрополитенов и угольных шахт // Пром. теплотехника. – 2006. – Т.28. – № 2. – С. 111 – 119.
16. Васильев Г.П., Шилкин Н.В. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах // АВОК. – 2003. – № 2. С. 56 – 60
17. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 224с.
18. Янговский Е.И., Левин Л.А. Промышленные тепловые насосы. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. К.К. Софійським 18.08.09