

Раздел 5

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

УДК 622.481:497.98.001.63

А.В. Николаев, М.Ю. Постникова, Н.Н. Мохирев

Пермский государственный технический университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛО- И ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ШАХТНЫМИ КАЛОРИФЕРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Представлен анализ потребления тепловых и энергетических ресурсов газовыми, водяными вентиляторными и безвентиляторными, расположенными в стене надшахтного здания калориферными установками.

В горной промышленности в холодное время года воздух, поступающий по стволам в шахту (рудник), необходимо подогревать до температуры не ниже $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. В противном случае армировка стволов, в местах пересечения водоносных горизонтов, начнет разрушаться замерзшей в породах водой. Подогрев воздуха производится при помощи калориферных установок (КУ), состоящих из нескольких теплообменников (калориферов). По виду теплоносителя в основном применяют газовые, водяные и, редко, электрические теплообменники (ТО).

В газовых калориферах теплоносителем являются продукты сгоревшего метана (природного газа). Метан сгорает в специальной камере. Продукты сгорания смешиваются с наружным воздухом и с температурой не более $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ подаются в теплообменник, где происходит нагрев поступающего в калорифер воздуха.

В водяных калориферах теплоносителем является вода, подогрев которой в результате сгорания органического топлива (в основном природного газа) производится в топочных отделах котельной установки.

Электрические калориферы оборудуются трубчатыми электрическими нагревательными элементами (ТЭНами), включающимися ступенями, в зависимости от требуемой теплопроизводительности.

По способу перемещения и подачи воздуха в ствол различают вентиляторные и безвентиляторные калориферные установки.

Подача воздуха в ствол при вентиляторной схеме воздухоподготовки осуществляется нагнетательными вентиляторами в калориферный канал ствола (рис. 1,а). Безвентиляторная установка предполагает движение воздуха за счет

работы главной вентиляторной установки (ГВУ). При этом подача воздуха в ствол может осуществляться через калориферный канал, как показано на рис. 1, *a* (отличие в том, что в КУ отсутствуют нагнетательные вентиляторы), либо через теплообменники, расположенные в стенах надшахтного здания [2] (рис. 1, *б*).

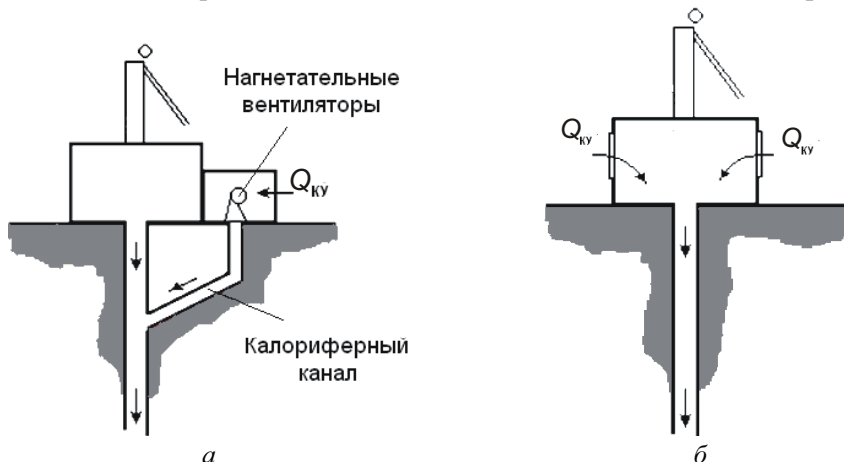


Рис. 1. Способы подачи воздуха в шахту (рудник) по клетевому стволу

В данной работе проведен сравнительный анализ потребления тепло- и энергоресурсов вентиляторной (газовой, водяной, электрической) и безвентиляторной (водяной, расположенной в стенах надшахтного здания) калориферных установок.

Расчетные параметры КУ зависят от типа ствола. При подаче воздуха в шахту (рудник) по клетевым стволам существует возможность ограничить поступление воздуха через окна в надшахтном здании, в которых проходят подъемные канаты. Для этого окна оборудуются вентиляционными клапанами (рис. 2) [3]. При этом поступления наружного воздуха через технологические проемы практически исключаются, и основная часть воздуха проходит через КУ, как показано на рис. 1.

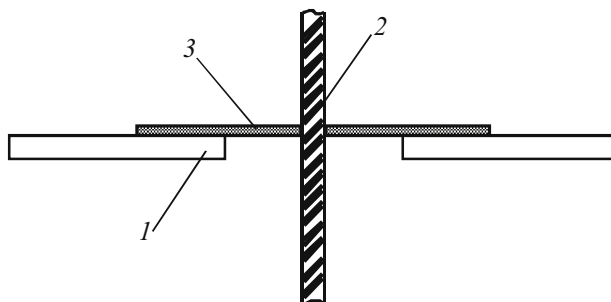


Рис. 2. Вентиляционный клапан:
1 – окно для пропуска каната; 2 – канат; 3 – клапан

Скиповые и скипоклетевые стволы изолировать от поступления наружного воздуха невозможно, так как в надшахтном здании обязательно будут присутствовать окна для прохода скипов (скиповые окна). В случае изоляции копра надшахтного здания при разгрузке скипов воздух, подаваемый в ствол, будет сильно запылен. Поэтому при проектировании системы подогрева воздуха в стволах данного типа необходимо учитывать, что в ствол будет подаваться не только теплый (через КУ), но и холодный (через скиповые окна) воздух (рис. 3).

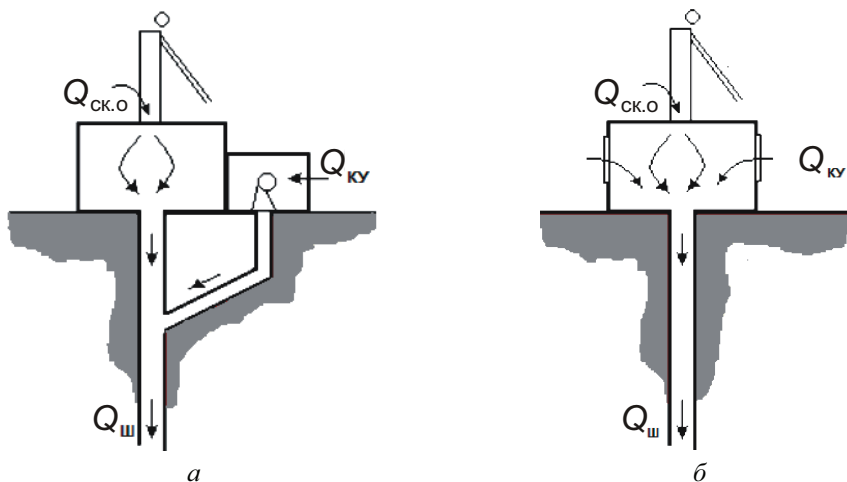


Рис. 3. Способы подачи воздуха в шахту (рудник) по скиповому и скипоклетевому стволу

В данной работе рассматриваются три типа стволов, используемых для подачи воздуха в шахту (рудник):

- 1) клетевой. Весь наружный воздух будет проходить через КУ;
- 2) скипоклетевой, с двумя скиповыми окнами сечением 4 м^2 ;
- 3) скиповой, с четырьмя скиповыми окнами сечением 4 м^2 .

Расчеты можно выполнить для абстрактного рудника, расположенного в области Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), по воздухоподающему стволу которого будет проходить воздух, к примеру, объемом $Q_{\text{ш}} = 300 \text{ м}^3/\text{с}$.

По расчетным формулам работы [4], при данном расходе воздуха воздухоподающий ствол необходимо оборудовать одним из следующих типов калориферной установки (КУ):

1. Клетевой ствол:

– вентиляторные КУ:

газовые калориферы ТС 800Е фирмы «GoGaz» 14 шт.

водяные воздухонагревательные блоки КЦКП-100 компании «Веза», с установленными в них по два теплообменника типа ВНВ 243.1-163-200-02-1,8-02-2	9 шт.
электрические воздухонагревательные блоки КЦКП-100 компании «Веза» (мощность каждого $N = 1527,3$ кВт)	9 шт.
– безвентиляторная КУ: теплообменники компании «Веза» типа ВНВ 243-163-150-0,2-2,2-02-2	29 шт.
2. Скипоклетевой ствол: – вентиляторные КУ: газовые калориферы ТС 800Е	14 шт.;
водяные воздухонагревательные блоки КЦКП-100	9 шт.;
электрические воздухонагревательные блоки КЦКП-100 компании «Веза» (мощность каждого $N = 1646,3$ кВт)	9 шт.
– безвентиляторная КУ: теплообменники компании «Веза» типа ВНВ 243-163-150-0,2-2,2-02-2	36 шт.
3. Скиповой ствол: – вентиляторные КУ: газовые калориферы ТС 800Е	14 шт.;
водяные воздухонагревательные блоки КЦКП-100	9 шт.;
электрические воздухонагревательные блоки КЦКП-100 компании «Веза» (мощность каждого $N = 1648,9$ кВт)	9 шт.
– безвентиляторная КУ: теплообменники компании «Веза» типа ВНВ 243-163-150-0,2-2,2-02-2	45 шт.

Расчеты производительности КУ и выбор количества калориферов в ней были произведены согласно [5] для температуры воздуха наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92, таким образом, чтобы температура воздуха, подаваемого в ствол, была не ниже +2 °С.

По вышеприведенным значениям видно, что в период наиболее холодной пятидневки (для ВКМКС –36 °С) электрокалориферы будут потреблять электроэнергии более 10 МВт·ч. Поэтому данный вид КУ используется довольно редко. Для остальных типов КУ, приведенных выше, значения температуры воздуха, подаваемого в ствол ($t_{ш}$), при температуре наружного воздуха $t_{нар} = -36$ °С, приведены в табл. 1.

В весенне-осенний период, когда температура воздуха значительно выше выбранной в расчетах, необходимо регулировать температуру и объем воздуха на выходе из КУ. Сделать это можно снизив тепловую мощность установки и(или) выключив из работы определенное количество теплообменников.

Таблица 1

Значение температуры воздуха, подаваемого в ствол

Тип калориферов	Температура воздуха, подаваемого в ствол $t_{ш}$, °С		
	клетевой	скипоклетевой	скиповой
ТС 800Е	2,7	2,1	2,05
КЦКП-100	4,98	4,37	4,35
ВНВ*	7,85	7,51	7,5

* Воздух должен подогреваться до температуры не ниже +7,5 °С [2].

Расчетные значения температуры воздуха, подаваемого в ствол ($t_{ш}$) при использовании КУ на базе теплообменников ТС 800Е во время его работы на минимальной установленной тепловой мощности, приведены в табл. 2 (для всех типов стволов практически равны). При этом согласно [6] один теплообменник будет потреблять природный газ в объеме $\approx 30 \text{ м}^3/\text{ч}$ и расходовать электроэнергию (нагнетательные вентиляторы) $N = 66 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. В табл. 2 приводится требуемое количество находящихся в работе теплообменников ТС 800Е ($n_{ТО}$) в КУ, потребляемая ими электроэнергия $N_{общ}$ и расход газа W в них.

Таблица 2

Значения температуры воздуха на входе в ствол при использовании теплообменников ТС 800Е

$t_{нар}$, °С	$t_{ш}$, °С	$n_{ТО}$, шт.	W , $\text{м}^3/\text{ч}$	$N_{общ}$, кВт·ч
-9	2,6	14	420	924
-8	2,7	13	390	858
-7	2,8	12	360	792
-6	2,16	10	300	660
-5	2,3	9	270	594
-4	2,5	8	240	528
-3	2,7	7	210	462
-2	2,03	5	150	330
-1	2,2	4	120	264
0	2,4	3	90	198
1	2,6	2	60	132

При использовании водяных ТО тепловую мощность установки можно регулировать при помощи изменения температуры подаваемой воды и ее расхода. При этом согласно [7] температура обратной воды, поступающей в котельную из калориферов, должна быть не ниже +70 °С. Температура воздуха на входе в ствол $t_{ш}$, параметры теплоносителя (расход G и температура подаваемой воды $t_{вод}$) и объемы природного газа, потребляемого в котельной

на его нагрев W (посчитано по формулам [8]) приведены в табл. 3, 4 для водяной вентиляторной КУ и в табл. 5 для водяной безвентиляторной КУ.

Вентиляторы блока КЦКП-100 потребляют электроэнергию $N_{\text{вент}} = 22$ кВт·ч каждый [9]. В табл. 3 и 4 приведено суммарное значение электроэнергии $N_{\text{общ}}$, потребляемой всеми нагнетательными вентиляторами КУ и затрачиваемой на работу питательных насосов $N_{\text{нас}}$ (посчитано по формулам [10]), в зависимости от количества блоков КЦКП-100, находящихся в работе ($n_{\text{бл}}$).

Таблица 3

Расчетные параметры воздуха, теплоносителя и потребляемых электрических и тепловых ресурсов при использовании воздухонагревательных блоков КЦКП-100 (клетевой ствол) ($n_{\text{бл}} = 9$ шт.)

$t_{\text{нар}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{ш}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{вод}}, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$W, \text{м}^3/\text{ч}$	$N_{\text{общ}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$
-9	24	95	113,4	1329	300
-8	24,6	95	112,5	1318,8	299,3
-7	25,1	94,7	112,5	1303	299,3
-6	25,7	94,7	111	1282	298
-5	26,3	94,3	111	1261	298
-4	26,9	94	111	1246	298
-3	27,5	94	109,8	1236	296,8
-2	28,1	93,8	108,9	1215,4	296
-1	28,7	93,8	107,1	1195	294,4
0	29,2	93,5	107,1	1180,2	294,4
1	29,8	93,5	106,2	1170,3	293,6

Таблица 4

Расчетные параметры воздуха, теплоносителя и потребляемых электрических и тепловых ресурсов при использовании воздухонагревательных блоков КЦКП-100 (скипклетевой и скиповой стволы)

$t_{\text{нар}}, ^\circ\text{C}$	$n_{\text{бл}}, \text{шт.}$	$t_{\text{ш}}, ^\circ\text{C (с.-к.)}$	$t_{\text{ш}}, ^\circ\text{C (с.)}$	$t_{\text{вод}}, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$W, \text{м}^3/\text{ч}$	$N_{\text{общ}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$
-9	4	3,4	3,3	94	47,2	531,2	64,5
-8	4	4,2	4,1	94	46,4	522,2	63,8
-7	4	5,1	5	94	46	517,7	63,4
-6	3	2,9	2,8	93,7	34,5	383,4	53,1
-5	3	3,8	3,7	93,3	34,5	376,9	53,1
-4	3	4,7	4,6	93	34,5	372,1	42,52
-3	2	2,7	2,6	93	22,8	245,9	42,34
-2	2	3,6	3,5	92,8	22,6	241,6	41,98
-1	2	4,5	4,5	92,8	22,2	237,3	41,98
0	1	2,7	2,7	92,5	11,1	117,1	31,99
1	1	3,7	3,7	92,5	11	116,1	31,9

В табл. 5 не приводятся значения температуры воздуха, подаваемого в надшахтное здание, так как оно практически постоянно и примерно равно +7,5 °С. При данной температуре воздуха в надшахтном здании согласно [2] в ствол, гарантированно, будет подаваться воздух с температурой около +2 °С.

Таблица 5

Расчетные параметры теплоносителя и потребляемых электрических и тепловых ресурсов при использовании теплообменников типа ВНВ 243-163-150-0,2-2,2-02-2

$t_{нар}, °C$	$t_{вод}, °C$	Клетевой ствол			Скипоклетевой ствол			Скиповой ствол		
		$G, кг/с$	$W, м^3/ч$	$N_{нас}, кВт·ч$	$G, кг/с$	$W, м^3/ч$	$N_{нас}, кВт·ч$	$G, кг/с$	$W, м^3/ч$	$N_{нас}, кВт·ч$
-9	94,3	63,15	719,5	56,83	78,4	893,3	70,6	97,9	1117,0	88,19
-8	93,0		681,1			845,4			1057,0	
-7	91,6		640,0			794,0			992,5	
-6	90,3		601,1			746,2			932,7	
-5	88,9		560,0			694,7			868,4	
-4	87,6		521,2			650,0			808,7	
-3	86,2		479,7			595,5			744,4	
-2	84,9		441,2			547,7			648,7	
-1	83,5		399,7			496,2			620,3	
0	82,2		361,3			448,5			560,6	
1	80,8		319,8			397,0			496,2	

Как видно по приведенным зависимостям, при установке газовых теплообменников расходуется меньше всего природного газа, однако потребляется больше всего электроэнергии.

Водяные вентиляторные установки на базе воздухонагревательных блоков КЦКП-100, при установке их на клетевом стволе, изолированном от внешних поступлений наружного воздуха, расходуют меньше, по сравнению с газовыми КУ, количество электроэнергии, но потребляют значительные объемы газа, а в ствол выдается воздух, температура которого существенно больше +2 °С.

При использовании водяных вентиляторных КУ на скиповых и скипо-клетевых стволах расход газа на подогрев воды, подаваемой в установку, также значительно больше расхода газа, потребляемого газовой КУ. Однако затраты электроэнергии в установках данного типа в несколько раз меньше затрат в газовых теплообменниках.

На обогрев воды, подаваемой в водяную безвентиляторную КУ, расположенную в стене надшахтного здания, расходуется максимальное количество природного газа. Потребление электроэнергии установкой чуть больше,

чем водяной вентиляторной КУ. Это вызвано тем, что температура воздуха, подаваемого в надшахтное здание, должна быть не +2 °С, а +7,5 °С.

Таким образом, выбор того или иного типа КУ определяется как типом ствола, так и конструктивными особенностями теплообменников, позволяющими достигать наименьших затрат тепло- либо энергоресурсов.

Список литературы

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553-03). Серия 03. Вып. 33 / ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России. – М., 2003. – 200 с.

2. Николаев А.В., Постникова М.Ю., Мохирев Н.Н. Расчет воздухонагревательной калориферной установки, расположенной в стене надшахтного здания // Научные исследования и инновации. Научный журнал. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – Т. 4, № 1. – С. 139–141.

3. Мохирев Н.Н. Проветривание подземных горнодобывающих предприятий. – Пермь, 2001. – 280 с.

4. Разработка исходных данных для проектной документации на строительство Усольского калийного комбината: отчет о выполненной услуге/ Отв. исполн. Н.Н. Мохирев. – Пермь, 2009. – 52 с.

5. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.

6. TECNOCLIMA. Воздухонагреватели ТС-Е, ТС-Е/К: инструкция по эксплуатации / GoGaz. – 2003. – 28 с.

7. ГОСТ 21563-93. Котлы водогрейные. Основные параметры и технические требования.

8. РД 1.19-126-2004. Методика расчета удельных норм расхода газа на выработку тепловой энергии и расчета потерь в системах теплоснабжения.

9. Кондиционер центральный каркасно-панельный / Веза: каталог продукции. – Ред. №10 от 01.04.2009. – Вып. 1.

10. Минко В.А., Юров Ю.И., Овсянников Ю.Г. Нагнетатели в системах теплогазоснабжения и вентиляции: учеб. пособие. – Старый Оскол: ТНТ, 2008. – 584 с.

Получено 7.05.2010