

**А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, А.М. Седунин, Г.З. Файнбург,
В.А. Николаев**

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОПОДГОТОВКИ НА РУДНИКЕ БКПРУ-2

При осуществлении воздухоподготовки в холодное время года, необходимость которой вызвана правилами безопасности, регламентирующими поддерживать температуру воздуха подаваемого в воздухоподающие стволы на отметке не ниже 2 °С, возникает целый ряд проблем, связанных с колоссальными затратами природного газа, расходуемого на подогрев воздуха подаваемого в воздухоподающие стволы, и электроэнергии, затрачиваемой на работу главной вентиляторной установки (ГВУ). С целью обеспечения энерго- и ресурсосбережения при воздухоподготовке в настоящей работе, был произведен анализ причин, вызывающих перерасход природных ресурсов на подогрев воздуха в шахтных калориферных установках (ШКУ) и электрической энергии, затрачиваемой на работу ГВУ, на примере рудника БКПРУ-2 Публичного акционерного общества (ПАО) «Уралкалий».

Ключевые слова: воздухоподготовка, шахтная калориферная установка, главная вентиляторная установка, ресурсосбережение, система автоматизации, естественная тяга, тепловая депрессия.

Введение

Для предотвращения замерзания воды (в макропустотах и микропорах) в затюбинговом пространстве, что может привести к нарушению крепления стволов со всеми вытекающими от этого последствиями, а также обледенения расстрелов и направляющих проводников согласно [1] воздух, поступающий в подземные горные выработки, должен иметь температуру не менее 2 °С. Строго формально этому требованию должен удовлетворять весь воздух, поступающий в ствол. На деле это правило строго не соблюдается – часть воздуха поступает в ствол через надшахтное здание, минуя калориферы. С целью поддержания требуемой температуры в стволе, воздух подогревают в шахтных калориферных установках (ШКУ) в значительно большей мере. В итоге температура воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы, зимой достигает значе-

ний выше требуемого. Например, для БКПРУ-2 (Березниковское калийное производственное рудоуправление № 2, ПАО «Уралкалий») температура воздуха в стволе согласно [2] составляет 5–10 °С (в среднем 7,5 °С). Поскольку исходящий воздух калийного рудника всесезонно и всепогодно имеет температуру порядка 10 °С в подземной части и равной температуре наружного воздуха в канале главной вентиляторной установки (ГВУ), то между стволами будут возникать отрицательные естественные тяги (тепловые депрессии) $h_{\text{ей}}$, препятствующие проветриванию рудника, показанные на рис. 1 сплошными линиями. В результате этого режим работы ГВУ необходимо переводить в область более высоких давлений, что приводит к увеличению электроэнергии, затрачиваемой на ее работу.

Оба процесса – «перегрев» воздуха и вызванная им естественная тяга увеличивают затраты энергоресурсов.

Основная проблема – отсутствие требуемой регулировки работы калориферов, вызывающая «перегрев» воздуха и «перерасход» ресурсов.

Кроме того, возникающие между стволами тепловые депрессии нередко приводят к образованию «воздушных пробок» в воздухоподающих стволах, что существенно нарушает режим проветривания.

Причины возникновения проблем

Количество теплообменников в ШКУ, их рабочая теплопроизводительность и режим работы нагнетательных вентиляторов выбираются согласно [3] для температуры воздуха наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92. Для рудников Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) данная температура составляет -36°C . В осенне-весенний период и частично в зимний, когда

температура значительно выше -36°C , с целью экономии энергоресурсов на производство тепла, теплопроизводительность ШКУ необходимо снижать таким образом, чтобы в ствол поступал воздух, температура которого будет равна или несколько выше $+2^{\circ}\text{C}$, а не $5-10^{\circ}\text{C}$ как в настоящее время. Регулировать теплопроизводительность водяных ШКУ (на БКПРУ-2 калориферные установки водяные) можно несколькими способами:

1. Изменением режима работы (развиваемого статического давления и производительности) нагнетательных вентиляторов.
2. Изменением расхода теплоносителя.
3. Изменением температуры прямой воды.
4. Одновременным изменением режима работы нагнетательных вентиляторов и расхода теплоносителя.

Первый вариант не всегда сможет обеспечить требуемые параметры теплового режима в стволе: при снижении статического давления нагнетательных вентиляторов изменяется «смешиваемость» нагретого в ШКУ воздуха с холодным воздухом, засасываемым через надшахтное здание за счет общешахтной депрессии. В результате этого по стенке ствола, расположенной со стороны калориферного канала, будет поступать нагретый воздух, а по противоположной – менее нагретый или, что более опасно, холодный воздух. Длительное и устойчивое наличие возможных «зон холода» может вызвать замерзание воды и нарушение герметизации межтубинговых уплотнений.

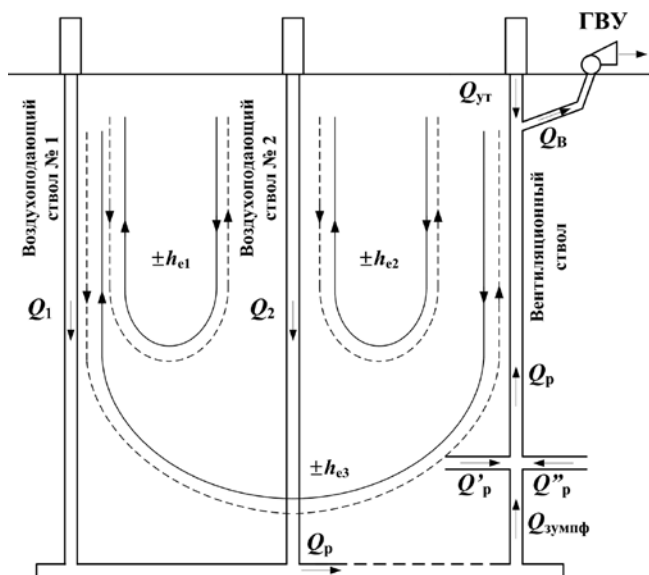


Рис. 1. Упрощенная схема проветривания рудника: h_{e1} , h_{e2} и h_{e3} – тепловые депрессии, возникающие между стволами, Па; Q_1 , Q_2 , Q_p , $Q_{ут}$, $Q_{змпф}$ – объемные расходы воздуха проходящие соответственно по воздухоподающим (Q_1 , Q_2 и вентиляционному (Q_p) стволам, теряемые на утечки ($Q_{ут}$) и поступающие из зумпфа ($Q_{змпф}$); Q_B – производительность вентилятора ГВУ, $\text{м}^3/\text{с}$



Рис. 2. Возникновение тепловой депрессии при работе калориферной установки

При регулировании теплопроизводительности ШКУ только расходом теплоносителя существует опасность заморозить трубки теплообменников при низкой скорости движения нагретой воды.

При третьем варианте регулирования теплопроизводительности, в связи с тем, что расход воды не регулируется, температура обратной воды изменяется в зависимости от температуры прямой воды, что неизбежно приведет к снижению ее температуры (обратной воды) ниже $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно [4] подача в котельную установку воды, температурой ниже $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ приведет к снижению КПД котла. Это, в свою очередь, вызовет перерасход газа на нагрев теплоносителя и, как следствие, приведет к увеличению финансовых затрат на воздухоподготовку.

Совместная регулировка режима работы нагнетательных вентиляторов и расхода теплоносителя позволит поддерживать требуемую «смешиваемость» потоков воздуха при снижении температуры воздуха, подаваемого в ствол

с $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до требуемой $2\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$, в результате чего снизится потребление теплоносителя, а следовательно, и расход природного газа на его нагрев.

При регулировании теплопроизводительности калориферных установок необходимо учитывать тот факт, что в процессе воздухоподготовки, помимо тепловых депрессий, действующих между стволами, возникает естественная тяга $h_{е(КУ)}$ между самой калориферной установкой и воздухоподающим стволом (рис. 2). Данная тепловая депрессия будет препятствовать подаче нагретого в калориферной установке воздуха и увеличивать подсосы наружного воздуха через надшахтное здание.

С целью обеспечения подачи требуемого объема воздуха из калориферной установки ($Q_{КУ}$), необходимо увеличивать развиваемое нагнетательными вентиляторами статическое давление ($h_{в(КУ)}$), что в свою очередь, приведет к изменению величины тепловой депрессии $h_{е(КУ)}$ и так далее до обеспечения требуемых параметров (требуемой «смешиваемости» потоков

Таблица 1

Среднемесячные параметры наружного воздуха в отопительный период

Месяц	$t_{\text{ср.нар.}}$ (днем), °C	$P_{\text{ср.а}}$ (днем), мм рт. ст.	$t_{\text{ср.нар.}}$ (ночью), °C	$P_{\text{ср.а}}$ (ночью), мм рт. ст.	$t_{\text{ср.нар.}}$ за месяц, °C	$P_{\text{ср.а}}$ за месяц, мм рт. ст.
Ноябрь	-3,10	746,167	-3,47	746,100	-3,28	746,133
Декабрь	-15,39	757,516	-16,39	757,645	-15,89	757,581
Январь	-14,71	742,677	-14,97	742,903	-14,84	742,790
Февраль	-6,57	749,964	-8,32	750,071	-7,45	750,018
Март	-8,68	742,742	-10,00	743,323	-9,34	743,032

$Q_{\text{ку}}$ и $Q_{\text{н.зд.}}$ и их температуры) (рис. 2). В связи с этим, для обеспечения требуемой «смешиваемости» потоков воздуха в воздухоподающем стволе, необходимо постоянно контролировать и изменять режим работы калориферной установки с учетом действия тепловой депрессии $h_{\text{е(ку)}}$, что сделать можно только путем автоматизации данного процесса.

Реальная обстановка на руднике БКПРУ-2

Расчетные параметры воздуха в течение отопительного сезона (ноябрь–март) принимались согласно данных [5], когда температура наружного воздуха ($t_{\text{нар.}}$) и атмосферное давление ($P_{\text{а}}$) рассчитывались как среднее арифметическое значений, полученных днем

и ночью за месяц – $t_{\text{ср.нар.}}$ и $P_{\text{ср.а}}$ соответственно. Полученные значения приведены в табл. 1.

Исходя из параметров наружного воздуха, определялась требуемая тепловая нагрузка на калориферные установки.

При объеме воздуха, поступающего соответственного в первый и второй воздухоподающие стволы $Q_1 = 163,48 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_2 = 166,83 \text{ м}^3/\text{с}$ подсосы через надшахтное здание первого и второго воздухоподающего стволов согласно [2] будут соответственно равны $Q_{\text{н.зд.1}} = 20,04 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{\text{н.зд.2}} = 19,85 \text{ м}^3/\text{с}$.

Тогда через калориферные установки будут поступать соответственно $Q_{\text{ку1}} = 143,44 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_{\text{ку1}} = 146,98 \text{ м}^3/\text{с}$.

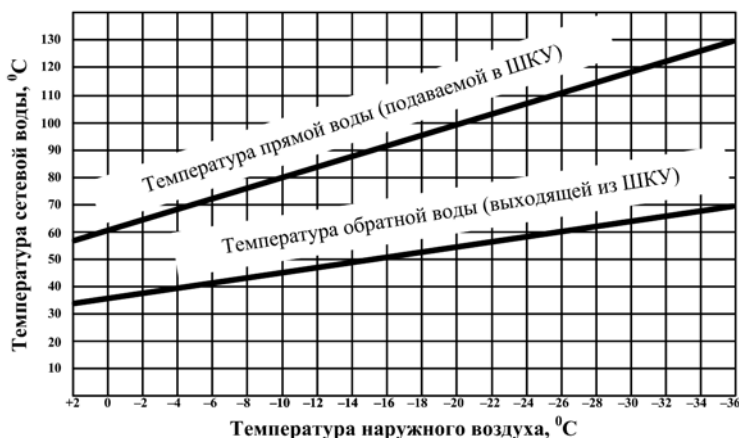
**Рис. 3. Температурный график регулирования для тепловой сети БКПРУ-2**

Таблица 2

Реальная ситуация на руднике БКПРУ-2

Месяц	$t_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{обр}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Расход воды, кг/ч	Расход газа, м ³ /ч	Расход газа, м ³ /мес	Финансовые затраты, тыс. руб.
Ноябрь	68,5	45,7	22,8	160 464	429,883	309 515,76	928,547
Декабрь	90,0	52,0	38,0	208 260	929,881	691 831,46	2075,494
Январь	89,5	51,0	38,5	199 296	901,565	670 764,36	2012,293
Февраль	74,5	44,5	30,0	162 672	573,419	385 337,57	1156,013
Март	78,0	47,0	31,0	180 816	658,622	490 014,77	1470,044
Итого:	За отопительный период (в целом)						7642,391
	За отопительный период (в среднем за месяц)						1528,478

Принимая температуру воздуха, поступающего в воздухоподающие стволы, в среднем 7,5 °С по температурному графику регулирования для тепловой сети БКПРУ-2 (рис. 3) определялась температура прямой ($t_{\text{пр}}$) и обратной ($t_{\text{обр}}$) воды. По количеству потребляемой калориферными установками воды, определялся расход газа на ее нагрев (Δt). Принимая цену за газ в среднем 3 руб/м³, были определены затраты на подогрев воздуха в калориферных установках (табл. 2).

Согласно расчетным (табл. 2) данным финансовые затраты на подогрев воды за отопительный период будут в среднем за месяц составлять 1528,478 тыс. руб. При этом видно, что $t_{\text{обр}}$ воды составляет от 52,0 до

44,5 °С. Однако согласно ГОСТ [4], температура обратной воды должна быть не ниже 70 °С.

В табл. 3 приведены результаты расчета финансовых затрат на подогрев воды, подаваемой в калориферные установки при соблюдении ГОСТа.

В расчетах принимались следующие условия.

Для поддержания температуры обратной воды в пределах 70 °С управлять теплопроизводительностью калориферных установок не представляется возможным, т.к. данная температура зависит от расхода теплоносителя. В связи с этим температура воздуха, поступающего в рудник (t_p) в среднем будет составлять от 9,1

Таблица 3

Затраты природного газа на руднике БКПРУ-2 при соблюдении требований ГОСТ 21563-93

Месяц	$t_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{обр}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Расход воды, кг/ч	Расход газа, м ³ /ч	Расход газа, м ³ /мес	Финансовые затраты, тыс. руб.
Ноябрь	68,5	–	–	–	–	–	–
Декабрь	90,0	70,0	9,1	423 816	995,968	741 000,19	2223,000
Январь	89,5	70,0	9,7	429 492	984,074	732 151,06	2196,453
Февраль	74,5	–	–	–	–	–	–
Март	78,0	70,0	26,6	1 172 292	1432,541	1 031 429,52	3094,289
Итого:	За отопительный период (в целом)						7513,742
	За отопительный период (в среднем за месяц)						2504,581

Таблица 4

Затраты природного газа на руднике БКПРУ-2 при соблюдении требований ГОСТ 21563-93 (предлагаемые мероприятия)

Месяц	$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	$t_{обр}, ^\circ\text{C}$	$t_p, ^\circ\text{C}$	Расход воды, кг/ч	Расход газа, м ³ /ч	Расход газа, м ³ /мес	Финансовые затраты, тыс. руб.
Ноябрь	130,0	70,0	7,5	49 455	348,658	251 033,76	753,101
Декабрь	130,0	70,0	7,5	125 411	884,148	657 806,11	1973,418
Январь	130,0	70,0	7,5	113 010	796,721	592 760,42	1778,281
Февраль	130,0	70,0	7,5	72107	508,354	341 613,89	1024,842
Март	130,0	70,0	7,5	73 997	521,679	375 608,88	1126,827
Итого:	За отопительный период (в целом)						6656,469
	За отопительный период (в среднем за месяц)						1331,294

до 26,6 °С, т.е. будет значительно превышать требуемую (2 °С).

Исходя из этого финансовые затраты на подогрев воды составят в среднем за месяц 2504,581 тыс. руб., т.е. на 976,103 тыс. руб. ($\approx$ на 39%) больше.

В случае, если теплопроизводительность калориферных установок регулировать посредством совместного управления производительностью нагнетательных вентиляторов и расходом теплоносителя, появляется возможность контролировать температуру прямой и обратной воды. Полученные значения, при температуре воздуха подаваемого в воздухоподающие стволы 7,5 °С приведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, при совместном регулировании производительности нагнетательных вентиляторов и расхода теплоносителя, при поддержании требуемой температуры обратной воды 70 °С последней, температура воздуха подаваемого в рудник будет поддерживаться на заданном уровне (7,5 °С).

При сравнении с данными, полученными при регулировании теплопроизводительности калориферных установок только расходом теплоносителя, получим следующие результаты.

1. По сравнению с реальной обстановкой на руднике БКПРУ-2 (табл. 2), финансовые затраты на подогрев воды снизятся на 197,184 тыс. руб.

Таблица 5

Затраты природного газа на руднике БКПРУ-2 при соблюдении требований ГОСТ 21563-93 (предлагаемые мероприятия)

Месяц	$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	$t_{обр}, ^\circ\text{C}$	$t_p, ^\circ\text{C}$	Расход воды, кг/ч	Расход газа, м ³ /ч	Расход газа, м ³ /мес	Финансовые затраты, тыс. руб.
Ноябрь	130,0	70,0	2,0	19 782	139,463	100 413,36	301,240
Декабрь	130,0	70,0	2,0	34 203	241,131	179 401,46	538,204
Январь	130,0	70,0	2,0	33 903	239,016	177 827,90	533,484
Февраль	130,0	70,0	2,0	30 903	217,867	146 406,62	439,220
Март	130,0	70,0	2,0	31 713	223,577	166 341,29	499,024
Итого:	За отопительный период (в целом)						2311,368
	За отопительный период (в среднем за месяц)						462,274

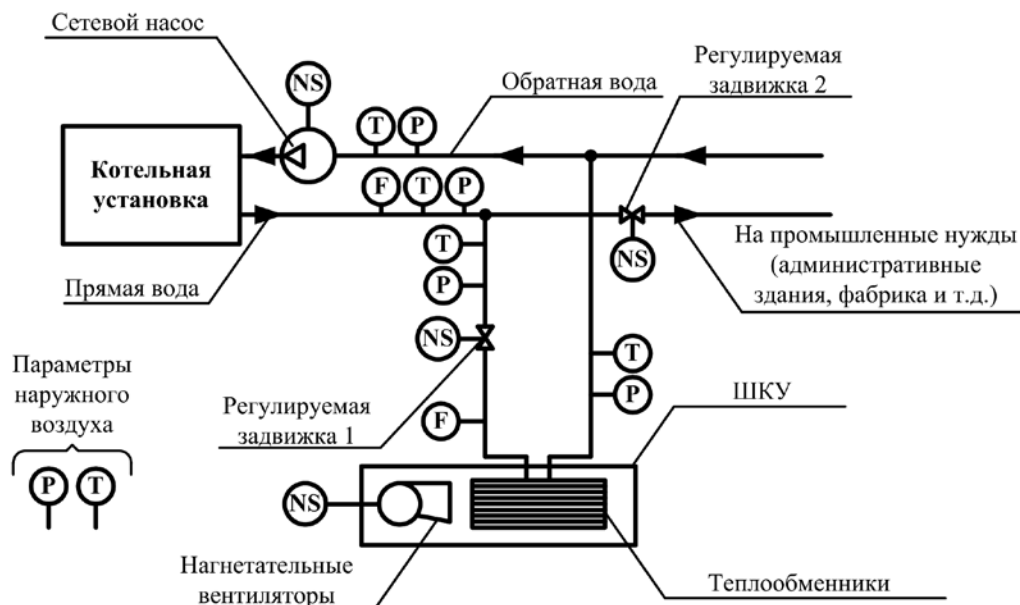


Рис. 4. Структурная схема автоматизации: P – датчик давления; T – датчик температуры; F – датчик расхода; NS – регулируемый электропривод

($\approx$ на 12,9%). Однако при реальной ситуации работа калориферных установок осуществляется с нарушением ГОСТа [4].

2. Если в рудник будет подаваться воздух заданной температуры, но с соблюдением ГОСТа, то разность в финансовых затратах составит 1173,287 тыс. руб., т.е. при предлагаемом способе регулирования теплопроизводительности $\approx$ на 46,9% меньше.

Еще одним выводом из табл. 4 является тот факт, что при совместном регулировании производительности нагнетательных вентиляторов и расхода питательной воды можно поддерживать требуемую температуру воздуха в стволе ($7,5^{\circ}\text{C}$) не нарушая ГОСТ по параметрам теплоносителя. Исходя из этого следует, что вместо принятых в расчетах $7,5^{\circ}\text{C}$ в рудник можно подавать воздух требуемой температуры (2°C).

Результаты расчета финансовых затрат на подогрев воды, подаваемой

в калориферные установки, при поддержании температуры воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы 2°C , и поддержании температуры обратной воды 70°C приведены в табл. 5.

Как видно из табл. 5, среднемесячные финансовые затраты при предлагаемом способе по сравнению с существующим в среднем за месяц снизятся на 1066,204 тыс. руб., т.е. $\approx$ на 69,8%. Однако, при этом возникает необходимость точного регулирования теплопроизводительности калориферных установок с учетом инерционности их работы, с целью избежать снижения температуры воздуха поступающего в рудник ниже установленного значения. С этой целью необходимо учитывать возникающую при работе калориферных установок тепловую депрессию ($he(KY)$), для чего требуется поддерживать «смешиваемость» холодного (через надшахтное здание) и нагретого (из калориферной

установки) потоков воздуха, что можно выполнить при автоматизации процесса регулирования режима работы нагнетательных вентиляторов.

Схема автоматизации подачи теплоносителя в ШКУ структурно показана на рис. 4.

В зависимости от температуры и давления воды на входе в ШКУ будет определяться расход теплоносителя регулируемой задвижкой 1, который, в свою очередь, будет зависеть от параметров наружного воздуха. Поддерживая требуемую температуру воздуха в стволе, снизив ее с 5–10 °С до 2 °С, за счет снижения расхода питательной воды, получим снижение общего расхода теплоносителя, выходящего из котельной (сетевой насос), а также обеспечим поддержание температуры обратной воды на отметке 70 °С. Требуемое «смещение» потоков воздуха в стволе будет регулировать-

ся режимом работы нагнетательных вентиляторов, управляемых регулируемым электроприводом.

Регулируемой задвижкой 2 будет поддерживаться требуемый расход прямой воды на собственные нужды (обогрев административных зданий, для подачи воды на обогатительную фабрику и т.д.).

Регулирование режима работы ГВУ с учетом возникающих при воздухоподготовке тепловых депрессий

Согласно расчетам, проведенным по алгоритму работы [6], при температуре воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы рудника БКПРУ-2 в среднем 7,5 °С, между его стволами будут возникать тепловые депрессии (h_{e1}), значения которых приведены в табл. 6, в которой также приводится значение общерудничной естествен-

Таблица 6

Величины тепловых депрессий, действующих между стволами, и величина общерудничной естественной тяги при температуре воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы: $t_{c1} = 7,5$ °С, $t_{c1} = 7,5$ °С

Месяц	h_{e1} , Па	h_{e2} , Па	h_{e3} , Па	h_e , Па
Ноябрь	-16,74	30,99	14,25	28,50
Декабрь	-19,46	28,85	9,94	18,78
Январь	-18,91	29,40	10,49	20,97
Февраль	-17,49	30,40	13,00	25,80
Март	-17,72	30,29	12,58	25,15

Таблица 7

Величины тепловых депрессий, действующих между стволами, и величина общерудничной естественной тяги при температуре воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы: $t_{c1} = 2$ °С, $t_{c1} = 2$ °С

Месяц	h_{e1} , Па	h_{e2} , Па	h_{e3} , Па	h_e , Па
Ноябрь	-16,40	123,56	107,16	214,31
Декабрь	-19,11	122,82	103,71	207,42
Январь	-18,57	121,53	102,96	205,91
Февраль	-17,15	123,43	106,28	212,56
Март	-17,38	122,43	105,05	210,11

ной тяги (h_e), оказывающей влияние на производительность ГВУ, и определяемое как алгебраическая сумма абсолютных значений тепловых депрессий, действующих между стволами.

Аналогичным образом были рассчитаны величины тепловых депрессий, действующих между стволами (h_{e1}), и величина общерудничной естественной тяги (h_e) при температуре воздуха подаваемого в воздухоподающие стволы $t_p = 2^\circ\text{C}$, приведенные в табл. 7.

Как видно из табл. 6 и 7, вне зависимости от температуры воздуха подаваемого в рудник между воздухоподающими стволами действует отрицательная тепловая депрессия (h_{e1}), направленная таким образом, что она препятствует движению воздуха по первому воздухоподающему стволу (сплошная линия на рис. 1). Этот факт может стать причиной возникновения в первом воздухоподающем стволе «воздушной пробки». Тепловые депрессии h_{e2} и h_{e3} наоборот направлены согласно требуемому направлению движения воздуха (пунктирные линии на рис. 1), что увеличивает вероятность возникновения в первом воздухоподающем стволе «воздушной пробки».

Общерудничная естественная тяга (h_e) в обоих случаях (табл. 6 и 7) будет являться положительной, т.е. она будет способствовать работе ГВУ.

Однако в случае подачи в воздухоподающие стволы воздуха, температура которого будет равна 2°C , положительная общерудничная естественная тяга будет почти в 10 раз больше, чем при подаче воздуха, температура которого составляет $7,5^\circ\text{C}$.

Изменив температуру воздуха, подаваемого в первый воздухоподающий ствол (t_{c1}) до значения, например, 5°C , а подаваемого во второй (t_{c2}) оставив равной 2°C , получим значения тепловых депрессий, приведенные в табл. 8.

Как видно из табл. 8, увеличение температуры воздуха, подаваемого по первому воздухоподающему стволу, приведет к тому, что между стволами будут действовать только положительные тепловые депрессии (пунктирные линии на рис. 1), что исключает возможность возникновения «воздушных пробок» в воздухоподающих стволах. При этом общерудничная естественная тяга также будет положительной, т.е. будет способствовать поступлению воздуха в рудник за счет повышения статического давления, развиваемого ГВУ.

Итоговую оценку эффективности предложенных мероприятий приведем с учетом того, что в первый воздухоподающий ствол будет поступать воздух, температура которого будет несколько выше требуемой (5°C). Полученные данные приведены в табл. 9.

Таблица 8

Величины тепловых депрессий, действующих между стволами, и величина общерудничной естественной тяги при температуре воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы: $t_{c1} = 5^\circ\text{C}$, $t_{c2} = 2^\circ\text{C}$

Месяц	h_{e1} , Па	h_{e2} , Па	h_{e3} , Па	h_e , Па
Ноябрь	37,01	71,37	108,39	216,77
Декабрь	35,11	69,85	104,96	209,92
Январь	34,59	69,59	104,18	208,36
Февраль	36,53	70,98	107,51	215,03
Март	35,79	70,49	106,28	212,55

Таблица 9

Затраты природного газа на руднике БКПРУ-2 при соблюдении требований ГОСТ 21563-93 (предлагаемые мероприятия)

Месяц	$t_{np}, ^\circ C$	$t_{обp}, ^\circ C$	$t_{c1}, ^\circ C$	$t_{c2}, ^\circ C$	Расход воды, кг/ч	Расход газа, м ³ /ч	Расход газа, м ³ /мес	Финансовые затраты, тыс. руб.
Ноябрь	130,0	70,0	5,0	2,0	21 376	150,701	108 504,72	325,514
Декабрь	130,0	70,0	5,0	2,0	48 507	341,974	254 428,66	763,286
Январь	130,0	70,0	5,0	2,0	46 780	329,799	245 370,46	736,111
Февраль	130,0	70,0	5,0	2,0	33 876	238,826	160 491,07	481,473
Март	130,0	70,0	5,0	2,0	34 528	243,422	181 105,97	543,318
Итого:	За отопительный период (в целом)							2849,703
	За отопительный период (в среднем за месяц)							569,941

Закключение

Итак, при предлагаемом способе регулирования, по сравнению с существующим, финансовые затраты на воздухоподготовку в ШКУ сократятся в среднем за месяц с 1528,478 тыс. руб (табл. 2) до 569,941 тыс. руб. (табл. 9), т.е. на 958,537 ($\approx$ на 62,7%).

В общем за отопительный сезон (за 5 месяцев) финансовые затраты только на подогрев воды в котельной установке с 7642,391 тыс. руб до 2849,703 тыс. руб., т.е. на 4792,688 тыс. руб.

В рассматриваемом случае практически весь экономический эффект получен за счет ресурсосбережения

по природному газу, однако больший эффект может быть получен при управлении режимом работы ГВУ с учетом увеличившейся в процессе воздухоподготовки положительной общерудничной естественной тяги. Данный факт требует отдельной проработки и будет рассмотрен в следующих исследовательских работах.

Особо отметим, что при предложенных мероприятиях будут соблюдаться требования ГОСТа [4] по параметрам температуры обратной воды, а также исключается возможность возникновения «воздушных пробок» в воздухоподающих стволах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Серия № 3. Вып. 78. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. – 276 с.

2. Алыменко Н.И., Николаев А.В., Каменских А.А., Тронин А.П. Результаты исследования системы вентиляции рудника БКПРУ-2 в холодное время года // Вестник Пермского университета. Геология. – 2011. – Вып. 3. – С. 89–96.

3. СНиП 23-01-99. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология: утв. постановлением

Госстроя России № 49 от 11.06.99. – М.: Госстрой России, 2000. – 68 с.

4. ГОСТ 21563-93 «Котлы водогрейные. Основные параметры и технические требования»: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 15.03.94. – М.: Изд-во стандартов, 1996 (2003). – 6 с.

5. Gismeteo. Дневник погоды в Березниках URL: <http://www.gismeteo.ru/diary/4454/2013/4/>.

6. Николаев А.В. Управление тепловыми депрессиями в системах вентиляции калийных рудников: Дисс. ... канд. техн. наук. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – 159 с. **ПИАБ**

Николаев Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: nikolaev0811@mail.ru,

Альменко Николай Иванович – доктор технических наук, профессор,
e-mail: nik.alymenko@yandex.ru,

Седунин Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: sedunin@eservice.perm.ru,

Файнбург Григорий Захарович – доктор технических наук, профессор,
директор Института безопасности труда, производства и человека ПНИПУ,
e-mail: faynburg@mail.ru,

Николаев Виктор Александрович – старший преподаватель, e-mail: eagp@mail.ru,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

UDC 622.663.3

ANALYSIS OF A AIR PREPARATION AT THE MINE BPPMG-2

Nikollaev A.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: nikolaev0811@mail.ru,
Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russia,

Alymenko N.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: nik.alymenko@yandex.ru,

Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russia,

Sedunin A.M., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: sedunin@eservice.perm.ru,

Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russia,

Fajnburg G.Z., Doctor of Technical Sciences, Professor,

Director of the Institute of Safety, Production and Human PNRPU, e-mail: faynburg@mail.ru,

Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russia,

Nikollaev V.A., Senior Lecturer, e-mail: eagp@mail.ru,

Perm National Research Polytechnic University, Perm, 614990, Russia.

In the implementation of air preparation in the cold season, the need for which is caused by the safety rules governing the temperature of the air supplied to the air intake shafts of at least 2 °C, a number of problems associated with enormous costs of natural gas consumed in the heating of the air supplied to the air intake shafts, and power expended on the work of the main ventilation instalation (MVI). In order to improve energy and resource efficiency in air preparation in the present study were analyzed causes of overspending natural resources for heating the air in the mine air-heating installation (MAHI) and the electrical energy consumed in the work of the MVI, the example of mine BPPMG-2 Public Joint Stock Company (PJSC) "Uralkali".

Key words: air preparation, mine air-heating installation, main ventilation instalation, resource conservation, automation system, natural draft, thermal depression.

REFERENCES

1. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoi bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh»* (Federal rules and regulations in the field of industrial safety «Safety rules during mining and processing of solid minerals». Series no 3, Issue 78), Moscow, ZAO NTTs PB, 2014, 276 p.

2. Alymenko N.I., Nikolaev A.V., Kamenskikh A.A., Tronin A.P. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 2011, issue 3, pp. 89–96.

3. *SNiP 23-01-99. Stroitel'nye normy i pravila Rossiiskoi Federatsii. Stroitel'naya klimatologiya*. Utv. postanovleniem Gosstroya Rossii № 49 ot 11.06.99 (BR 23-01-99. Building regulations of the Russian Federation. Building Climatology), Moscow, Gosstro Rossi, 2000, 68 p.

4. *Kotly vodogreinye. Osnovnye parametry i tekhnicheskie trebovaniya*. GOST 21563-93 (Boilers. Basic parameters and technical requirements. State Standart 21563-93), Moscow, Izd-vo standartov, 1996 (2003), 6 p.

5. *Gismeteo. Dnevnik pogody v Bereznikakh* (Weather Diary in Berezniki). URL: <http://www.gismeteo.ru/diary/4454/2013/4/>.

6. Nikolaev A.V. *Upravlenie teplovymi depressiyami v sistemakh ventilatsii kaliinykh rudnikov* (Thermal management of depression in the ventilation systems of potash mines), Candidate's thesis, Perm, PNIPI, 2012, 159 p.