

Николаев А.В., канд. техн. наук, доцент
(ПНИПУ)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУХОПОДГОТОВКИ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ніколаєв О.В., канд. техн. наук, доцент
(ПНДПУ)

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОВІТРОПІДГОТОВКИ НА ГІРНИЧОВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Nikolayev O.V., Ph. D (Tech), Associate Professor
(SNRPU)

WAYS TO INCREASE AIR-TREATMENT EFFICIENCY IN THE MINING ENTERPRISES

Аннотация. В статье приводится описание различных конструкций шахтных калориферных установок (ШКУ). В первом варианте представлена ШКУ, состоящая из электронагревательных пластин. Во втором – из пластинчатых элементов, являющихся ребрами трубок с теплоносителем. В обоих случаях предлагается располагать ШКУ в калориферном канале, оборудованном по периметру термостеклом (thermo glass). Третий вариант технического решения предполагает расположение теплообменников по периметру надшахтного здания в один ряд. Также в статье описывается система автоматизации работы ШКУ совместно с автоматическим управлением режимами работы главной вентиляторной установки (ГВУ), позволяющая повысить эффективность воздухоподготовки.

Ключевые слова: шахтная калориферная установка, пластинчатые элементы, калориферный канал, термостекло, главная вентиляторная установка.

На всех подземных горнодобывающих предприятиях с целью обеспечения безопасности осуществления производственного процесса согласно [1] подаваемый в воздухоподающие стволы воздух в холодное время года необходимо подогревать в шахтных калориферных установках (ШКУ) до температуры не ниже $+2^{\circ}\text{C}$. В настоящее время широкое применение нашли водяные, а в условиях Крайнего Севера электрические ШКУ. В связи с тем, что объемы подаваемого в шахту (рудник) воздуха значительные по своей величине, на его нагрев также требуется затрачивать значительное количество энергии.

Также при подогреве воздуха в ШКУ возникает проблема нормализации теплового режима в воздухоподающих стволах. Вызвана она тем, что в воздухоподающий ствол поступает два потока воздуха: нагретый в ШКУ ($Q_{\text{ШКУ}}$) и подсосываемый через надшахтное здание ($Q_{\text{н.зд}}$) за счет общешахтной депрессии, создаваемой главной вентиляторной установкой (ГВУ) (рис. 1)

С целью поддержания требуемой «смешиваемости» необходимо регулировать производительность и давление, развиваемое нагнетательными вентиляторами ШКУ.

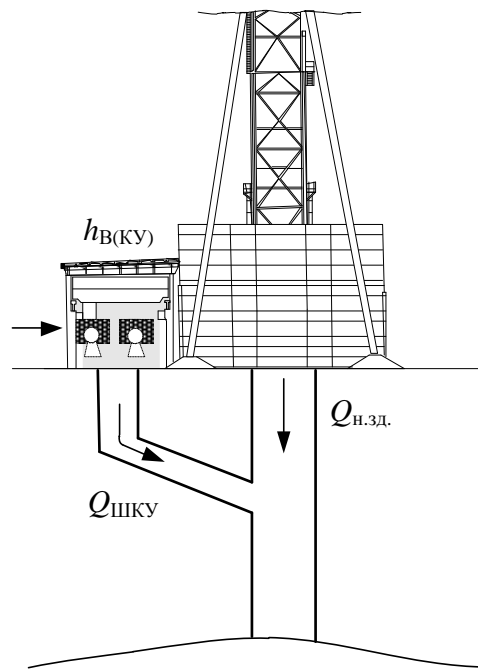


Рисунок 1 - Поступление воздуха в воздухоподающий ствол

С целью повышения эффективности воздухоподготовки при поддержании равномерного распределения температурного поля по сечению воздухоподающего ствола горнодобывающего предприятия предложены следующие конструкции ШКУ и способ управления их работой.

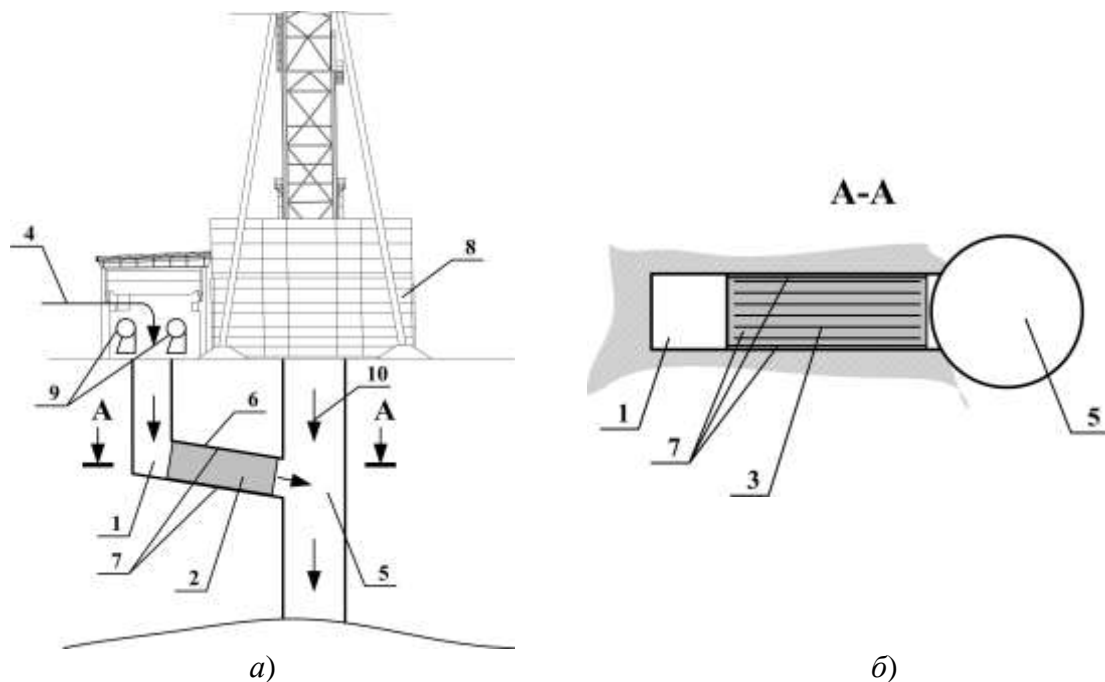
1. Электрическая ШКУ, расположенная в калориферном канале

В настоящее время широкое применение в качестве теплообменников применяемых в электрических ШКУ находят трубчатые электронагревательные элементы (ТЭНы). Ввиду малой площади поверхности теплообмена и высокой скорости прохождения через них воздуха требуется нагревать данные элементы до высокой температуры (может достигать 100°C). В результате на нагрев ТЭНов в электрической ШКУ требуются значительные по своей величине затраты электроэнергии.

Основное достоинство предложенной ШКУ (рис. 2) – повышение поверхности теплообмена за счет применения вместо ТЭНов электронагревательных пластин [2]. В этом случае появляется возможность снизить температуру нагрева пластин, а следовательно, и затраты электроэнергии на воздухоподготовку. При этом не требуется дополнительного места на промплощадке, т.к. электронагревательные пластины будут расположены в свободном месте – калориферном канале.

Кроме того, в предложенной конструкции предлагается калориферный канал по периметру оборудовать термостеклом (thermo glass). Со стороны термостекла, прилегающей к стенкам калориферного канала, практически отсутствуют утечки тепла, а внешняя сторона термостекла, при протекании по нему электрического тока, нагревается до температур порядка $90\text{--}100^{\circ}\text{C}$ при сравни-

тельно малой удельной мощности, по сравнению с другими источниками – порядка 100 Вт/м^2 [3].



1 – калориферный канал; 2 – калориферная установка; 3 – электронагревательные пластины; 4 – подогреваемый воздух; 5 – воздухоподающий ствол; 6 – часть калориферного канала, прилегающая к воздухоподающему стволу; 7 – теплоизоляционный слой (термостекло); 8 – надшахтное здание воздухоподающего ствола; 9 – нагнетательные вентиляторы; 10 – подсосы воздуха через надшахтное здание

Рисунок 2. - Предлагаемая конструкция электрической ШКУ:

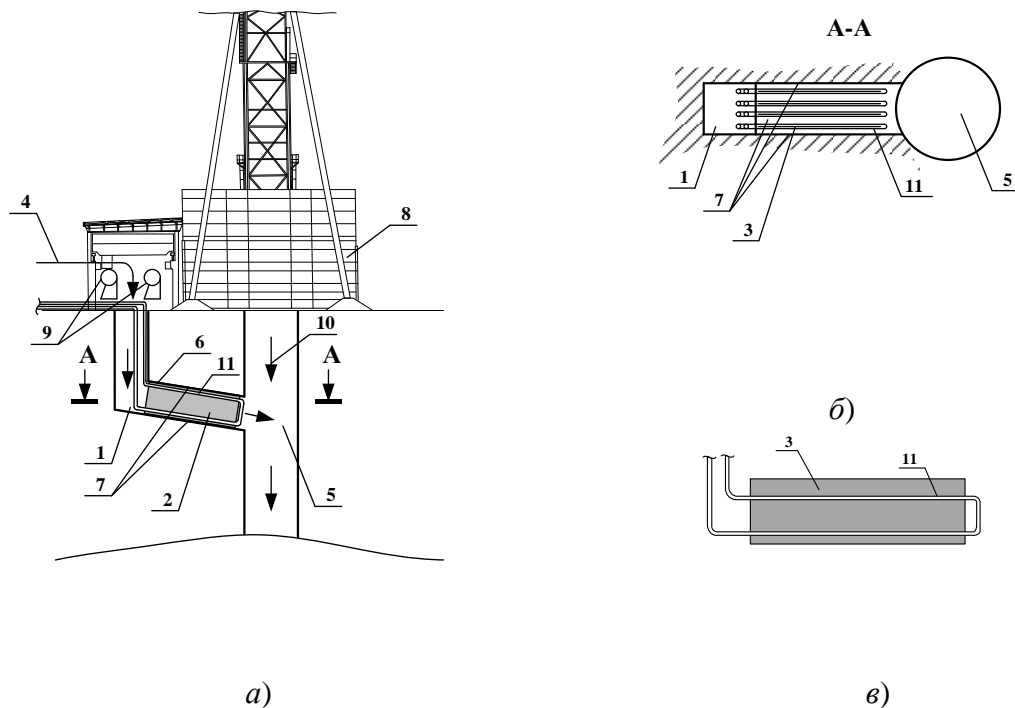
a – вид сбоку; *б* – вид сверху (разрез)

2. Водяная ШКУ, расположенная в калориферном канале

Предлагаемая конструкция ШКУ [4], аналогично вышеприведенной, предполагает размещение ее в калориферном канале. Отличие заключается в том, что вместо электронагревательных предлагается использовать пластинчатые элементы, являющиеся ребрами трубок с теплоносителем (рис. 3). При прохождении по теплообменным трубкам теплоносителя пластины нагреваются и отдают тепло проходящему по калориферному каналу воздуху. В этом случае также увеличивается поверхность теплообмена, что является достоинством ШКУ. По периметру калориферного канала также может быть установлено термостекло.

К достоинствам предлагаемой ШКУ также относится возможность ее использования как для подогрева (в холодное время года), так и для кондиционирования (в теплое время года) воздуха.

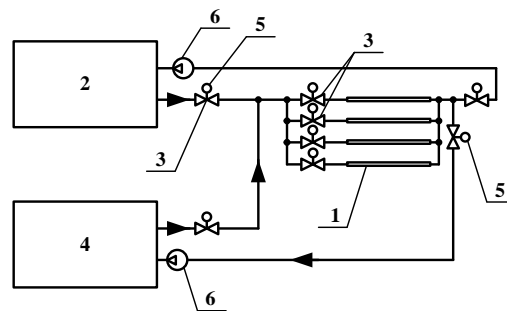
Проходящие в пластинах теплообменные трубки, образуют контур циркуляции жидкого тепло- (хладо-) носителя. Для переключения установки с режимов охлаждения и подогрева предусмотрена система автоматизации (рис. 4).



1 – калориферный канал; 2 – калориферная установка; 3 – пластинчатый элемент; 4 – наружный воздух; 5 – воздухоподающий ствол; 6 – нижняя часть калориферного канала; 7 – теплоизоляционный слой; 8 – надшахтное здание; 9 – нагнетательные вентиляторы; 10 – наружный воздух, подсасываемый через надшахтное здание; 11 – теплообменные трубки

Рисунок 3. - Предлагаемая конструкция водяной ШКУ:

a – вид сбоку; *б* – вид сверху (разрез); *в* – пластинчатый элемент с расположенной в нем трубкой с теплоносителем



1 – пластинчатый элемент; 2 – котельная установка; 3 – управляемые задвижки; 4 – система охлаждения хладоносителя; 5 – устройство управления приводами задвижек; 6 – питательные насосы

Рисунок 4. - Схема подачи теплоносителя в водяную ШКУ

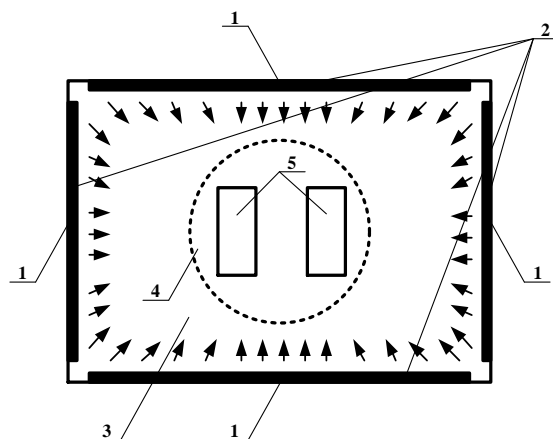
В зависимости от параметров наружного воздуха, система автоматизации, за счет управляемых задвижек и питательных насосов, выбирает режим работы установки. В теплое время года в теплообменные трубки будет подаваться хладоноситель.

Управляемые задвижки расположены на входе в установку таким образом, что позволяют регулировать количество теплообменных трубок (пластинчатых элементов) находящихся в работе.

Предложенная конструкция позволяет устанавливать требуемую температуру на выходе из ШКУ путем изменения расхода теплоносителя (питательные насосы), количества нагревательных (охлаждающих) элементов, находящихся в работе (регулируемые задвижки), а также за счет изменения величины тока, проходящего через термостекло (в холодное время года).

3. ШКУ, расположенная по периметру надшахтного здания

Как было отмечено ранее, при подаче нагретого в ШКУ воздуха через калориферный канал в воздухоподающий ствол возникает проблема «смешиваемости» его с подсасываемым через надшахтное здание холодным потоком (рис. 1). Связано это с тем, что система калориферный канал – ствол представляет собой параллельное соединение состоящее из ветвей с различными расходом и температурой воздуха в них. В работе [5] предложен графоаналитический метод регулирования расхода воздуха и компьютерное моделирование вентиляционных сетей, показывающий достаточно высокую точность, требуемую для инженерных расчетов. Однако, в данной работе сделан вывод, что подобный метод эффективен для вентиляционных сетей с малыми значениями аэродинамических сопротивлений. Учитывая то, что калориферный канал и ствол имеют достаточно большие аэродинамические сопротивления, а также, что при работе ШКУ возникает тепловая депрессия между калориферным каналом и участком ствола [6] проблему «смешиваемости» решить достаточно сложно. В связи с этим была предложена конструкция ШКУ, в которой предлагается отказаться от применения калориферного канала [7]. Подогреваемый воздух при этом засасывается в ШКУ за счет общешахтной депрессии, создаваемой ГВУ (рис. 5).



1 – теплообменники; 2 – шахтная калориферная установка; 3 – надшахтное здание;
4 – воздухоподающий ствол; 5 – скиповые окна

Рисунок 5 - ШКУ, расположенная по периметру надшахтного здания (вид сверху)

Кроме воздуха, поступающего через ШКУ в воздухоподающий ствол поступает холодный наружный воздух через скиповые окна. За счет того, что ШКУ состоит из теплообменников, расположенных по всему периметру надшахтного здания, поток холодного воздуха, поступающего через скиповые окна смешивается в устье воздухоподающего ствола.

Преимущество предлагаемой ШКУ состоит в том, что благодаря установке

теплообменников по периметру надшахтного здания обеспечивается равномерный нагрев всего воздуха, поступающего в воздухоподающий ствол. При этом расположение теплообменников в один ряд исключает вероятность замораживания трубок теплообменников и позволяет им работать на номинальной теплопроизводительности. За счет того, что в схеме воздухоподготовки отсутствует калориферный канал, устраняется проблема «смешиваемости» потоков, т.е. решается вопрос нормализации теплового режима в воздухоподающих стволах. Также в ШКУ нет необходимости устанавливать нагнетательные вентиляторы, что позволяет снизить затраты электроэнергии.

4. Система автоматизации ШКУ и ГВУ

В случае, если в воздухоподающий ствол будет поступать нагретый (более легкий) воздух, а удаляться по вентиляционному стволу будет более холодный (более тяжелый) воздух, между стволами образуется перепад гидростатических давлений, который носит название естественная тяга (тепловая депрессия).

При количестве стволов более двух, помимо тепловых депрессий, действующих между первым (h_{e3}), вторым (h_{e2}) воздухоподающими и вентиляционным стволами, тепловая депрессия будет возникать между самими воздухоподающими стволами (h_{e1}) (рис. 6).

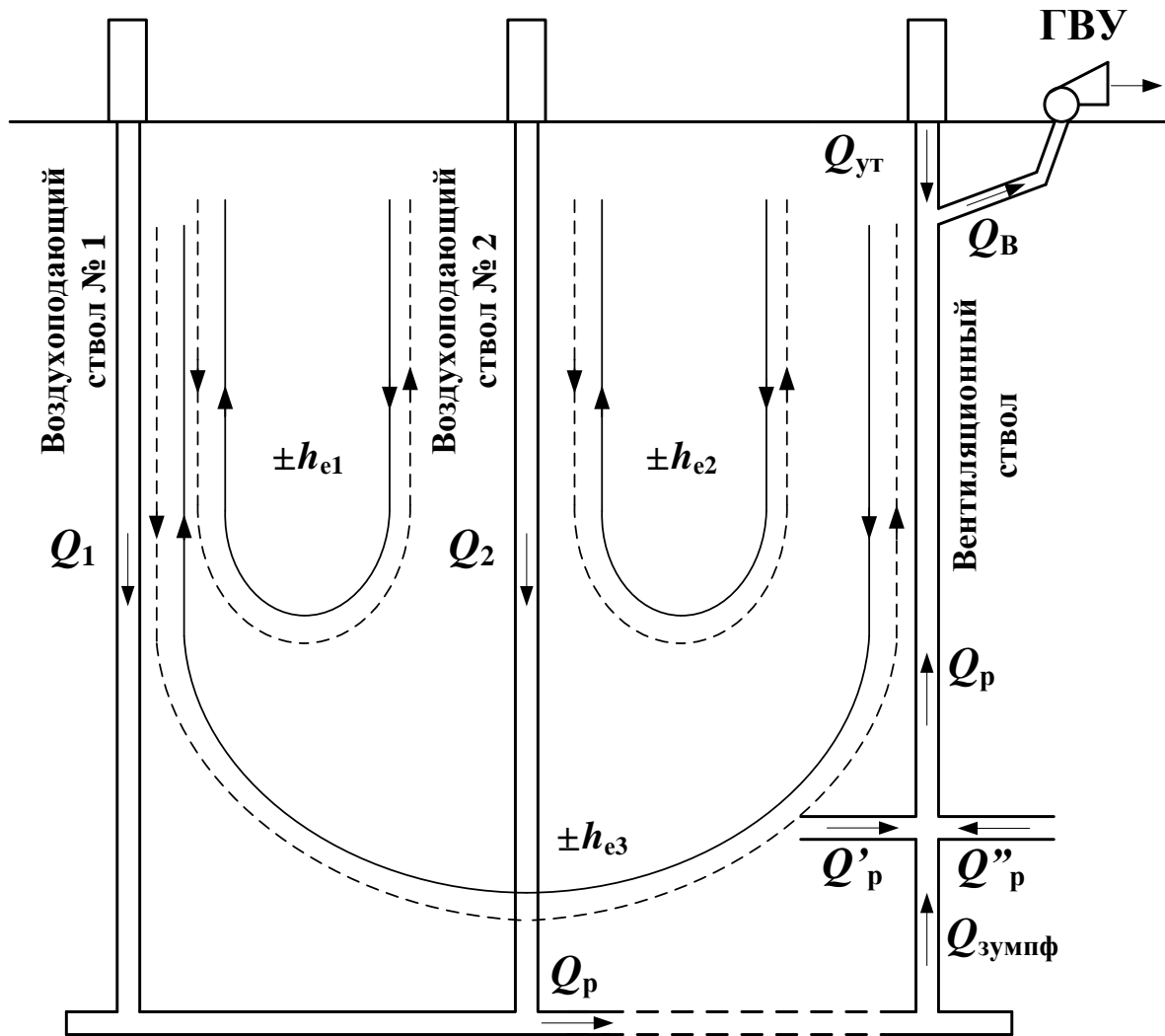
Например, в калийных рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) исходящий воздух всесезонно и всепогодно имеет температуру 7-10 °С, а температура воздуха, поступающего в воздухоподающие стволы, составляет порядка 15–20 °С [6, 8 и др.]. В этом случае между стволами возникают отрицательные тепловые депрессии, препятствующие проветриванию рудника.

Возникающие тепловые депрессии формируют результирующую – общерудничную естественную тягу h_e , величина которой согласно [9] определяется по формуле

$$h_e = \sum_{i=1}^n \text{sign}(h_{ei}) ,$$

где n – количество сообщающихся стволов; sign – направление действия тепловой депрессии; h_{ei} – тепловые депрессии, действующие между стволами, Па (рис. 6).

Производительность ГВУ зависит от значения общерудничной естественной тяги h_e . При отрицательном значении h_e возникает противодействие проветриванию. В результате этого режим работы ГВУ необходимо переводить в область более высоких давлений, а следовательно, увеличивается количество электроэнергии, затрачиваемой на ее работу.



h_{e1} , h_{e2} и h_{e3} – тепловые депрессии, возникающие между стволами, Па; Q_1 , Q_2 , Q_p , $Q_{ут}$ – объемы воздуха проходящие соответственно по воздухоподающим (Q_1 , Q_2) и вентиляционному (Q_p) стволам, теряемые на утечки ($Q_{ут}$); Q_B – производительность вентилятора ГВУ, м³/с

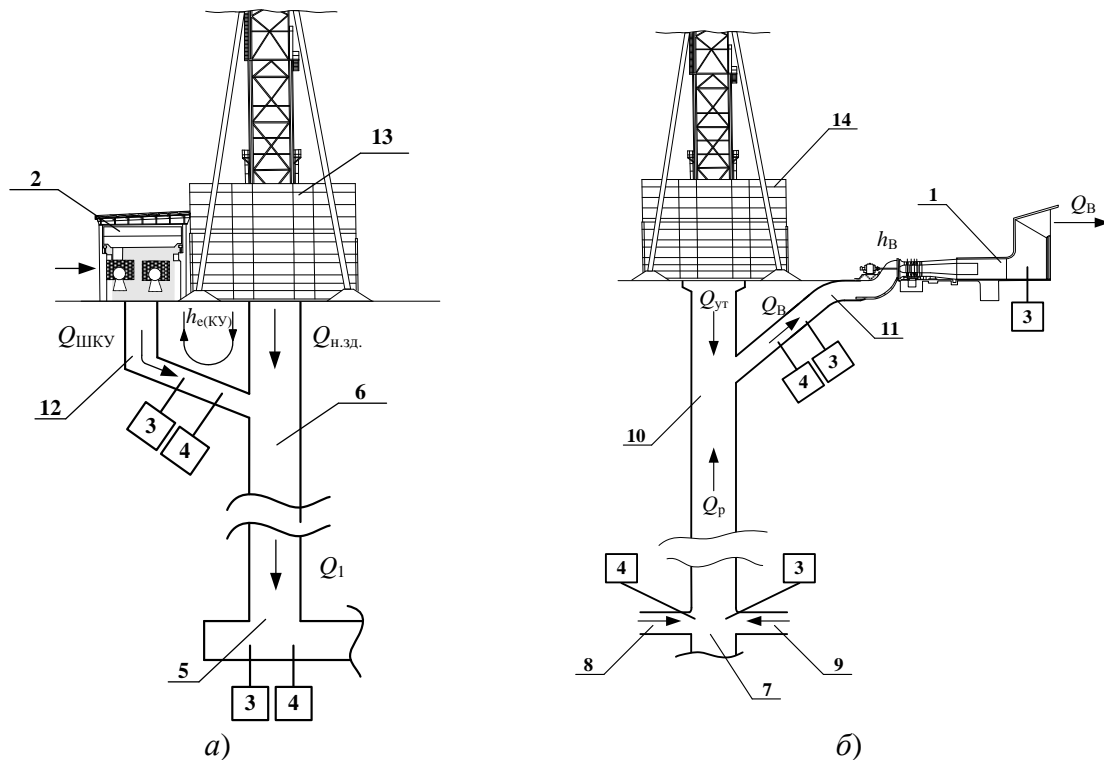
Рисунок 6 - Упрощенная схема проветривания рудника

Оба процесса – «перегрев» воздуха до температуры выше установленной правилами безопасности и вызванная этим отрицательная общерудничная естественная тяга увеличивают затраты энергоресурсов.

Как было указано в работе [10], повышение степени безопасности и эффективности проветривания в настоящее время возможно только при использовании информационно-аналитических технологий на базе ПЭВМ, либо микроконтроллеров. В этой связи, с целью поддержания требуемой теплопроизводительности ШКУ и регулирования режимов работы ГВУ с учетом возникающей при этом общерудничной естественной тяги, была предложена система автоматизации процесса проветривания и воздухоподготовки [11], работающая следующим образом.

В воздухоподающих (рис. 7, а) и вентиляционном (рис. 7, б) стволах размещаются датчики, определяющие значение температуры, барометрического

давления и объемного расхода воздуха в них.



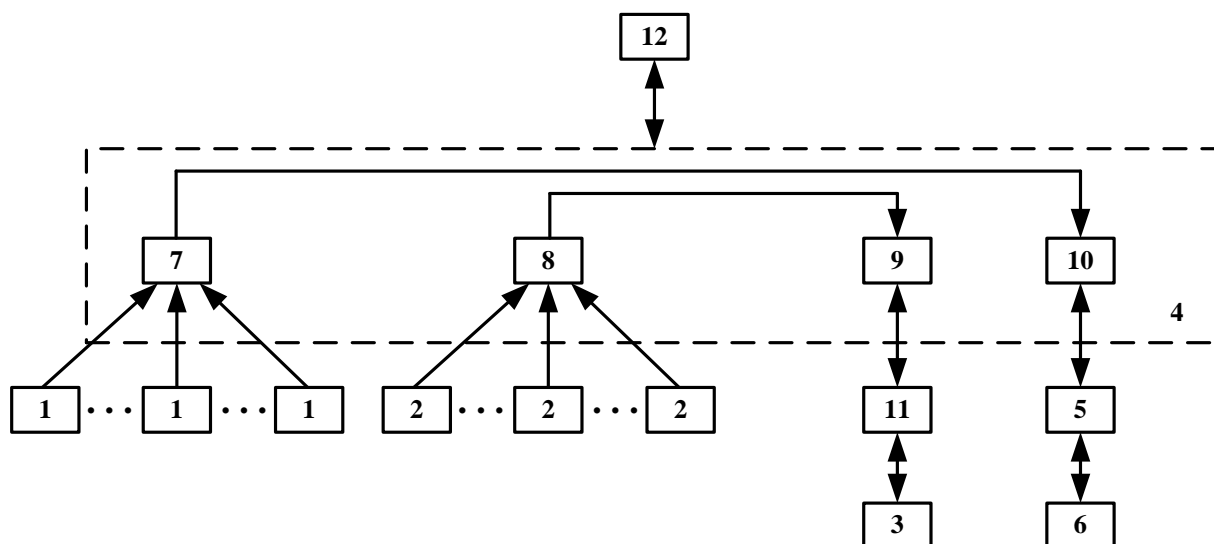
- 1 – ГВУ; 2 – ШКУ; 3 – датчики температуры, давления (или плотномеры); 4 – датчики расхода воздуха; 5 – околоствольный двор воздухоподающего ствола; 6 – воздухоподающий ствол; 7 – околоствольный двор вентиляционного ствола; 8, 9 – главные вентиляционные выработки; 10 – вентиляционный ствол; 11 – канал ГВУ; 12 – калориферный канал; 13 и 14 – надшахтные здания соответственно воздухоподающего и вентиляционного стволов
a – в воздухоподающем; *б* – в вентиляционном

Рисунок 7 - Расположение датчиков в стволах

Информация с датчиков поступает в микроконтроллерный блок (МКБ), в котором производится расчет величин тепловых депрессий, возникающих между стволами, и общерудничной естественной тяги при воздухоподготовке (рис. 8).

В зависимости от прогнозируемых значений величин тепловых депрессий и общерудничной естественной тяги определяется расчетный тепловой режим, который необходимо поддерживать в воздухоподающих стволах.

Управляющий сигнал, в зависимости от результатов расчетов, выполняемых в МКБ, с модуля вывода поступает на задающее устройство электропривода ГВУ, которое устанавливает требуемую производительность Q_B . Также с модуля вывода МКБ управляющий сигнал поступает на механизм изменения теплопроводности ШКУ. Если используются водяные калориферные установки, то механизм контролирует расход и температуру воды, поступающей и исходящей из калориферной установки. Если используются электрические установки, то контролируется электрическая мощность ШКУ.



1 – датчики температуры, давления (или плотномеры); 2 – датчики расхода воздуха; 3 – ШКУ; 4 – МКБ; 5 – задающее устройство электропривода; 6 – электропривод ГВУ; 7, 8 – модули ввода МКБ; 9, 10 – модули вывода МКБ; 11 – механизм изменения теплопроизводительности ШКУ; 12 – АРМ-оператора

Рисунок 8 - Структурная схема автоматизации

После изменения параметров электропривода ГВУ и/или калориферных установок по обратным связям на входы модулей МКБ поступают сигналы о переводе механизма изменения теплопроводности калориферных установок и задающего устройства на требуемые параметры. Во всех случаях контролируется производительность ($Q_{ШКУ}$) нагнетательных вентиляторов и развиваемое ими статическое давление. Информация с МКБ также поступает на автоматизированное рабочее место (АРМ) персонала, следящего за процессом. Оператор на АРМ устанавливает требуемое для проветривания значение объема воздуха, а система автоматизации, посредством регулирования электроприводами нагнетательных вентиляторов и ГВУ, поддерживает данный режим.

Таким образом, предложенные конструкции ШКУ позволяют повысить эффективность теплообмена и снижения энергетических ресурсов на воздухоподготовку. Автоматизация процесса проветривания и воздухоподготовки способствует нормализации теплового режима в воздухоподающих стволах, в результате чего появляется возможность снизить затраты электроэнергии и природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – Серия 03. – Вып. 78. – 276 с.
2. Пат. № 133877 RU, МПК E21F1/08; F24H/3/04. Шахтная калориферная установка / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, А.М. Седуниев, В.А. Николаев, Г.З. Файнбург; заявитель и патентообладатель ЗАО «Энергосервис». – № 2013115777/03; заявл. 08.04.2013; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30.

3. «Инфракрасные стеклянные обогреватели Пион Thermo Glass»: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vamteplo.ru/catalog.18.html>. – Загл. с экрана.
4. Пат. № 142085 RU, МПК E21F1/00; E21F3/00; F24H3/04. Шахтная калориферная установка / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, А.М. Седунин, Г.Б. Лялькина, В.А. Николаев; заявитель и патентообладатель ЗАО «Энергосервис». – № 2013150970/03; заявл. 15.11.2013; опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17.
5. Трофимов В.О. Регулювання розподілу повітря у вентиляційній мережі / В.О. Трофимов, О.Л. Кавера // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – № 112. – С. 215–220.
6. Результаты исследования системы вентиляции рудника БКПРУ-2 в холодное время года / Н.И. Алыменко, А.В. Николаев, А.А. Каменских, А.П. Тронин // Вестник Пермского университета. Геология. – Пермь, 2011. – Вып. 3. – С. 89–96.
7. Пат. № 141759 RU, МПК МПК E21F1/08; E21F3/00. Шахтная калориферная установка / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, В.А. Николаев, А.М. Седунин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2013149747/03 заявл.06.11.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.
8. Алыменко Н.И. Влияние естественной тяги воздухоподающих стволов на проветривание калийных рудников / Н.И. Алыменко, А.А. Норин, В.В. Минин // Вентиляция шахт и рудников. – Ленинград: ЛПИ, 1989. – С. 54–57.
9. Николаев А.В. Расчет величины тепловых депрессий, действующих между стволами, и общерудничной естественной тяги при работе систем предварительной подготовки воздуха // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 26–35.
10. Концепция безопасного контроля и управления проветриванием угольных шахт в нормальном и аварийных режимах с использованием информационно-аналитических технологий / А.Ф. Булат, Б.В. Бокий, И.А. Ященко [и др.] // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. трудов / ИГТМ НАН Украины. – 2012. – Вып. 104. - С. 24–30.
11. Пат. № 131083 RU, МПК E21 F 1/00, F24 H 3/04. Система автоматизации главной вентиляторной установки / А.В. Николаев, Н.И. Алыменко, А.М. Седунин; заявитель и патентообладатель ЗАО «Энергосервис». – № 2013112380/03; завл. 19.03.2013; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.

REFERENCES

1. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornyh rabot i pererabotke tverdyh poleznyh iskopaemyh»* (2014), [Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Safety rules during mining and processing of solid minerals"], Serija 03, Issue 78, ЗАО «Nauchno-tehnicheskij centr issledovaniy problem promyshlennoj bezopasnosti», Moscow, RU.
2. Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Sedunin A.M., Nikolaev V.A. and Fajnburg G.Z., ЗАО «Energoservis» (2013), *Shakhtnaja kalorifernaja ustanovka* [Mine air heater installation], Moscow, RU, pat. 133877.
3. Infrared heaters Peony glass Thermo Glass» (2013), available at: <http://vamteplo.ru/catalog.18.html>. (Accessed 10 November 2013).
4. Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Sedunin A.M., Ljal'kina G.B. and Nikolaev V.A., ЗАО «Energoservis» (2013), *Shakhtnaja kalorifernaja ustanovka* [Mine air heater installation], Moscow, RU, pat. 142085.
5. Trofimov V.A. and Kavera A.L. (2013), «Regulation of air-distribution in ventillation networkks», *Geo-Tehnickal Mechanics*, no. 112, pp. 215-220.
6. Alymenko N.I., Nikolaev A.V, Kamenskih A.A. and Tronin A.P. (2011), «Results of the study of the mine ventilation system Berezники potash production control number 2 in the cold season», *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, no. 3, pp. 89–96.
7. Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Nikolaev V.A. and Sedunin A.M., State National Research Politechnical University of Perm (2013), *Shakhtnaya kalorifernaya ustanovka* [Mine air heater installation], Perm, RU, pat. 141759.
8. Alymenko N.I., Norin A.A. and Minin V.V. (1989), «Influence of natural draft ventilation air supply shaft on potash mines», *Ventiliaciya shaht i rudnikov*, LGI, Leningrad, SU, pp. 54–57.
9. Nikolaev A.V. (2014), «Calculation of the thermal depression acting between the trunks and general mine of natural draught during operation of the pre-treatment of air», *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*, no. 2, pp. 26–35.
10. Bulat A.F., Bokij B.V., Jashhenko I.A., Bun'ko T.V. and Kokoulin I.Ye (2012), «The concept of the safe monitoring and control of ventilation of coal mines in the normal and emergency modes with the introduction of information and analytical technologies», *Geo-Tehnickal Mechanics*, no. 104, pp. 24-30.
11. Nikolaev A.V., Alymenko N.I. and Sedunin A.M., ЗАО «Energoservis» (2013), *Sistema avtoma-*

tizacii glavnoy ventilyatornoy ustanovki [System of automation of the main ventilator setting], Moscow, RU, pat. 131083.

Об авторе

Николаев Александр Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры горной электромеханики, Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Профессионального Образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ФГБОУ ВПО «ПНИПУ»), Пермь, Российская Федерация, nikolaev0811@mail.ru

About the author

Nikolaev Aleksandr Viktorovich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor of the Department of Mining Electrical Engineering, State National Research Politechnical University of Perm (SNRPU), Perm, RU, nikolaev0811@mail.ru

Анотація. У статті наводиться опис різних конструкцій шахтних калориферних установок (ШКУ). У першому варіанті представлена ШКУ, що складається з електронагрівальних пластин. У другому - з пластинчастих елементів, що є ребрами трубок з теплоносієм. В обох випадках пропонується розташовувати ШКУ в калориферні каналі, обладнаному по периметру термосклом (thermo glass). Третій варіант технічного рішення передбачає розташування теплообмінників по периметру надшахтної будівлі в один ряд. Також у статті описується система автоматизації роботи ШКУ спільно з автоматичним управлінням режимами роботи головної вентиляційної установки (ГВР), що дозволяє підвищити ефективність воздухопідготовки.

Ключові слова: шахтна калориферна установка, пластинчасті елементи, калориферні канали, термоскло, головна вентиляторна установка.

Abstract. The article describes various designs of the mine air-heating installations (MAHI). In the first embodiment, the represented MAHI consists of electro-heating plates, and in the second embodiment - of the plate elements which are ribs of the tubes with heat-transfer agent. In both cases, it is proposed to locate the MAHI in the hot-air channel equipped with thermoglass along the perimeter. In the third embodiment, the heat exchangers are located in one row along the perimeter of the pit head. The article also describes a system for automation of the MAHI operation jointly with automatic control of the main ventilation installation (MVI) operation. The system allows to improve effectiveness of air preparation.

Keywords: mine air heater installation, plate elements, hot-air channel, thermoglass, main ventilation installation.

Статья поступила в редакцию 5.03.2015

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