

УДК [622.831.325.3+622.451]:681.518.5

**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,

**Новиков Л.А.**, магистр  
(ИГТМ НАН Украины)

**Яценко И.А.**, канд. техн. наук  
(Минэнергоуголь Украины)

**Жалилов А.Ш.**, магистр  
(ГП «Селидовуголь»)

**Дудник М.Н.**, магистр  
(ИГТМ НАН Украины)

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ  
ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ  
И ДЕГАЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. науч. співр.,

**Новиков Л.А.**, магістр  
(ИГТМ НАН Украины)

**Яценко І.О.**, канд. техн. наук  
(Міненерговугілля України)

**Жалілов О.Ш.**, магістр  
(ГП «Селидовуголь»)

**Дудник М.Н.**, магістр  
(ИГТМ НАН України)

**РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ  
ПАРАМЕТРІВ ШАХТНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ І ДЕГАЗАЦІЙНИХ  
СИСТЕМ**

**Bunko T.V.**, D.Sc.(Tech), Senior Researcher,

**Novikov L.A.**, Master of Science  
(IGTM NAS of Ukraine)

**Jashchenko I.A.**, Ph.D (Tech)  
(Minenergougol of Ukraine)

**Zhalilov A.Sh.**, M.S (Tech)  
(SE «Selidovugol»)

**Dudnik M.N.**, M.S (Tech)  
(IGTM NAS of Ukraine)

**DEVELOPMENT OF METHODS AND HARDWARE FOR  
IDENTIFICATION OF PARAMETERS FOR THE MINE VENTILATION  
AND DECONTAMINATION SYSTEMS**

**Аннотация.** Рассмотрены отдельные вопросы совместного функционирования вентиляционной и дегазационной систем угольной шахты. Предложен новый подход к оптимизации вентиляционного режима путем управления вентиляторами главного проветри-

вания с целью преобразования многовентиляторной вентиляционной системы в систему, в которой организовано секционное или близкое к секционному проветривание. Охарактеризованы результаты исследований дегазационной системы шахты с целью учета обводненности дегазационных трубопроводов. Показано, что повышение точности расчетов системы «вентиляторы главного проветривания - шахтная вентиляционная сеть» может быть достигнуто учетом неквадратичного закона аэродинамического сопротивления утечек и выработанных пространств. Предложены методы измерения аэродинамических параметров элементов этой системы с использованием разработанных приборов нового технического уровня, и приведена их краткая характеристика.

**Ключевые слова:** система «вентиляторы главного проветривания – шахтная вентиляционная сеть», идентификация, дегазационный трубопровод, средства измерений, закон аэродинамического сопротивления.

Функционирование угольной шахты включает в себя основные и вспомогательные технологические процессы. Основными являются процессы проходки горных выработок, выемки угля и транспортировки его к местам складирования, вспомогательными – все остальные, обеспечивающие эффективное функционирование основных технологических процессов.

Среди вспомогательных технологических процессов важное место принадлежит рудничной вентиляции, предназначенной для обеспечения свежим воздухом основных, дополнительных потребителей, подачи его во вспомогательные выработки и отвода загрязненного воздуха на поверхность. В аварийных условиях задачей вентиляции является создание оптимальных условий эвакуации работающих в шахте людей и ликвидации аварии с минимальными затратами и в кратчайшие сроки. На шахтах со значительной метанообильностью организуется система дегазации, дополняющая систему вентиляции в части решения вопросов безопасности, экономичности и экологичности горного производства. Только совместное функционирование двух этих систем обеспечивает наибольшую эффективность горного производства.

Основные топологические и аэрогазодинамические параметры систем вентиляции и дегазации определяются еще на стадии проектирования, но в процессе функционирования горного производства способны претерпевать серьезные изменения. Поэтому в процессе ведения горных работ необходимо решать задачи идентификации:

а) структурной, направленной на установление топологической адекватности между реальной системой «вентиляторы главного проветривания – шахтная вентиляционная сеть» («ВГП - ШВС») (в дальнейшем будем использовать идентификатор  $U$ ) и ее математической моделью с целью уточнения ее размерности, структуры ШВС, топологической связи между ее элементами и реального прогнозирования развития системы во времени;

б) параметрической, обеспечивающей уточнение аэрогазодинамических параметров ШВС и решение задач управления ею в нормальных и аварийных режимах функционирования.

Дегазационная система (ДС) шахты имеет свою сетевую структуру и функционирует независимо от ШВС. Газодинамические параметры ее

рассчитываются методами, отличными от методов расчета вентиляционных сетей. Однако в местах установки средств дегазации она активно взаимодействует с вентиляционными потоками, изменяя общий характер воздухораспределения в системе «ВГП - ШВС». Поэтому аэродинамическое состояние ДС также требует периодической идентификации, как структурной, так и параметрической.

Осуществление идентификации системы «ВГП - ШВС» и ДС требует решения следующих задач:

- 1) совершенствование методов мониторинга аэрогазодинамических параметров систем «ВГП-ШВС» и ДС;
- 2) исследование взаимовлияния ВГП в процессе ведения горных работ;
- 3) исследование функционирования ДС с целью повышения эффективности ее использования путем снижения влияния техногенных факторов на аэродинамическое состояние ДС;
- 4) исследование особенностей проветривания выработанного пространства с учетом неквадратичного закона движения воздуха в нем;
- 5) исследование и оптимизация совместного функционирования систем «ВГП - ШВС» и ДС.

Рассмотрим состояние решения перечисленных вопросов и его совершенствования в Институте геотехнической механики НАН Украины в настоящее время.

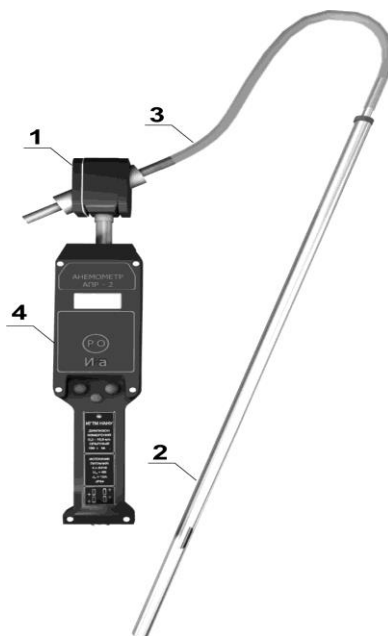
1. Основным средством мониторинга аэродинамических параметров ШВС являются периодически проводимые на шахтах воздушно-депресссионные съемки (ВДС), которые, с соблюдением требований [1-3], позволяют получить точную картину аэродинамического состояния практически всех (доступных для проведения замеров) элементов ШВС на момент проведения съемки. ВДС, ввиду большой трудоемкости, проводятся на шахтах нечасто, а высокая динамика развития ШВС требует проведения промежуточных частичных ВДС силами шахты по мере необходимости. Поскольку получение данных о промежуточных состояниях ШВС в период между ВДС вменяется в обязанность горным мастерам участка вентиляции и техники безопасности, необходимые сведения включены в «Наряд-путевку горного мастера участка ВТЬ» [4]. Однако в п. III наряда отсутствуют сведения о необходимости замеров расхода воздуха и депрессии горных выработок переносными приборами контроля. Причина этого – отсутствие на шахтах микробарометров различных типов, производство которых прекращено, и недостаточное количество приборов расхода воздуха, которые, к тому же, не всегда обеспечивают выполнение требований, предъявляемых к точности и качеству проведения замеров. В связи с этим в ИГТМ НАН Украины разработан ряд приборов нового технического уровня.

Анемометр переносной рудничный АПР-2 (модификация 2013 года) применяется как основное средство измерений скорости движения и количества воздуха в горных выработках шахт и рудников, в том числе опасных по газу и пыли, газопроводах, для контроля состояния промышленной вентиляции,

систем кондиционирования и т.д. Описание его приведено в ряде литературных источников [5-7] и не требует дополнительных комментариев. В ИГТМ НАН Украины постоянно ведутся работы по модификации прибора и организации более масштабного его выпуска с целью максимального обеспечения им заинтересованных организаций Минэнергоугля Украины.

В качестве дополнительного элемента к МБЦ-1 разработан новый экспериментальный сменный взаимозаменяемый преобразователь к анемометру АПР-2, который используется для контроля эффективности систем дегазации [Мирошник, Г.А., 1982], на который получен патент Украины [9] и проводится научно-исследовательская работа по усовершенствованию методики измерений с его использованием.

Еще одним дополнительным элементом к АПР-2 является аэродинамический преобразователь разности давлений на вентиляционных сооружениях и в дегазационных трубопроводах ПРД-1 [7,8]; вид его в комплекте с измерительным блоком АПР-1 представлен на рис. 1.



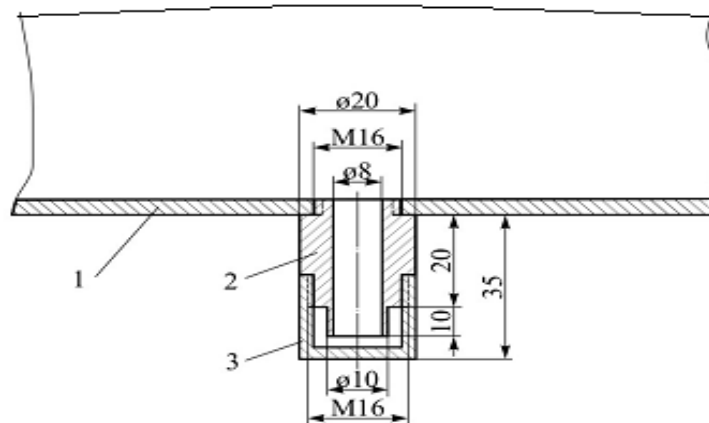
1 – первичный преобразователь, 2 – статический зонд; 3 – соединительная трубка;  
4 – измерительный блок анемометра АПР-2

Рисунок 1 – Аэродинамический преобразователь разности давлений в комплекте с измерительным блоком анемометра АПР-2

ПРД-1 прошел метрологическую аттестацию в Днепропетровском государственном центре стандартизации, метрологии и сертификации (ДГЦСМС). Данный прибор позволяет измерять давления в диапазоне от 20 до 10000 Па, что позволяет использовать его для измерения величины разрежения в устьях дегазационных скважин и в участковых дегазационных трубопроводах путем непосредственного подсоединения к дегазационному трубопроводу (рис. 2).

Более подробная характеристика ПРД-1 и методика измерения им

перепадов давления на вентиляционных сооружениях и в дегазационных трубопроводах представлена в [8].

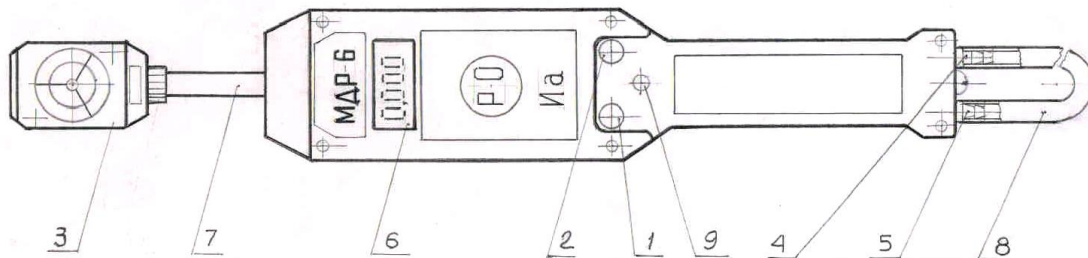


1 – дегазационный трубопровод; 2 – штуцер; 3 – защитный колпачок

Рисунок 2 – Устройство для присоединения ПРД-1 к дегазационному трубопроводу

Микроманометр дифференциальный рудничный МДР-6 (рис. 3) предназначен для высокоточных измерений перепадов (разности) давлений и определения их суммарного значения при определении депрессии протяженных объектов с помощью резиновых или полимерных шлангов, а также для измерений относительной влажности и температуры воздуха в шахтах и рудниках всех категорий взрывоопасности.

Отличительной особенностью микроманометра является наличие пневмокоммутатора, входящего непосредственно в измерительную схему и осуществляющего автоматическую калибровку прибора при нулевом перепаде давления при каждом измерении. На это способ и устройство получены патенты Украины [10,11]. Также отличительной особенностью микроманометра является оригинальное решение линеаризации его метрологической характеристики, которая в общем случае описывается многочленом третьей степени.



1 - кнопка включения в режиме измерений перепадов давления; 2 - кнопка включения в режиме измерений температуры воздуха и влажности; 3 - выносной датчик температуры и влажности среды; 4 и 5 – патрубki подачи давлений; 6 - цифровой индикатор; 7 – телескопическая штанга; 8 – предохранительная трубка; 9 – контрольная точка.

Рисунок 6 - Микроманометр дифференциальный рудничный МДР-6

2. На одновентиляторных шахтах такая задача ставиться, естественно, не может. В случае же работы на общую ШВС нескольких ВГП в ряде ее ветвей-выработок сказывается их взаимовлияние. Именно, определенный участок от воздухоподающего ствола в направлении вентиляционных стволов шахт может обслуживаться несколькими ВГП за счет развиваемой ими суммарной депрессии. В плане проветривания такое положение создает избыточное количество воздуха в рассматриваемых выработках, и в ряде случаев может даже привести к нарушению требований [1] к максимальной скорости движения воздуха в выработках. В плане экономичности ВГП – вентиляторы «мешают» друг другу, затрачивая дополнительную мощность на преодоление влияния вентилятора-партнера в пределах их общего фрагмента ШВС. Величина зон взаимного влияния ВГП может быть значительной; для шахты «1/3 Новогородовская» ПО «Селидовуголь» материалы по анализу взаимного влияния 4-х ее ВГП приведены в [12]. Наблюдается картина, когда один из ВГП активно воздействует сразу с двумя другими. Оптимальным решением задачи устранения взаимовлияния ВГП было бы установление в шахте секционного проветривания, когда связи секций шахты, имеющих одновентиляторное проветривание, осуществлялись бы не по вентиляционному, а по чисто технологическому принципу. Такое положение имеет место на многих шахтах Кузнецкого угольного бассейна в Российской Федерации, где решение задач секционного проветривания производится уже на стадии проектирования вентиляции. В условиях действующих шахт Украины это вряд ли осуществимо, опыта решения таких задач просто нет. Некоторое приближение к проветриванию, близкому к секционному, может быть получено минимизацией зоны  $U_1^e \cap U_2^e$  попарного взаимовлияния ВГП № 1 и № 2

$$U_1^e \cap U_2^e \rightarrow \min$$

в топологическом плане. Тем самым снижается депрессия одного из ВГП, а значит – и экономичность его работы (разумеется, если это не противоречит технологическим ограничениям и не влияет существенным образом на аэродинамическое состояние других участков ШВСБ обслуживаемых ВГП с происшедшим снижением депрессии). Иными словами, необходимо изменить множество начальных узлов  $i$  ветвей-выработок  $(i, j_k) \in U_1^e \cap U_2^e$  таким образом, чтобы все инцидентные им со стороны исходящей струи воздуха  $(i, j_k) \in \bar{U}_{вых}, \bar{U}_{вых}$  - множество таких ветвей-выработок, и  $(i, j_k) \notin U_1^e \cap U_2^e$ , но хоть одна из  $(i, j_k)$  принадлежала зоне влияния только одного ВГП. Критерий эффективности проведения указанных действий представляет собой выражение вида

$$\sum_{(i, j_k) \in \bar{U}_{вых}} Q(i, j_k) = \min \sum_{\substack{(i, j_k) \in U_n^e \\ \sum_k Q(i, j_k) \leq \sum_m Q(i, j_m)}} (i, j_m) \in U_p^e} Q(i, j_k) + \max \sum_{(i, j_m) \in U_p^e} Q(i, j_m), \quad (1)$$

где  $p$  – номер ВГП с депрессией большей, чем депрессия ВГП с номером  $n$ .

Если первое слагаемое в (1) равно нулю, и при условии, что ВГП с номером  $n$  не имеет зон взаимного влияния с ВГП с номерами, отличными от  $p$ , вентилятор  $n$  может быть переведен на секционное проветривание. Если нет -  $U_n^e \cap U_p^e \rightarrow \min$ , и экономичность работы ВГП в любом случае улучшится.

Проведением аналогичных расчетов для всех ВГП системы «ВГП-ШВС» с использованием критерия, обобщающего (1) [13], можно осуществить в ШВС если не секционное, то хотя бы приближенное к секционному проветривание; при этом эффективность совместно работающих ВГП будет максимальной из воз-можных.

3. Эффективность функционирования ДС существенно зависит от проявления техногенных факторов. В исходном состоянии топологически она проектируется как совокупность труб, сопротивление которых и, соответственно, расчет ДС производится в соответствии законами движения вещества в любых системах трубопроводного типа. В процессе эксплуатации в трубопроводы ДС попадают, кроме предназначенной для транспортировки метановоздушной смеси, различного рода примеси. При этом изменяется аэродинамическое сопротивление трубопровода, а значит – и пропускная способность его участков.

Исходя из этого, была разработана математическая модель движения турбулентного потока газозвеси в дегазационном трубопроводе [14], которая позволяет исследовать аэродинамические параметры турбулентного потока движущейся среды и объясняет закономерности образования скоплений пыли на участках ДС, и может быть адаптирована для случая, когда вместо твердых частиц рассматриваются частицы влаги (туман), в предельном случае превращающийся в воду.

Снижение эффективности работы шахтных ДС связано в значительной степени с образованием распределенных и местных отложений на внутренней поверхности трубопровода. Последнее обстоятельство приводит к увеличению потерь давления метано-воздушной смеси (МВС) на загрязненных участках газопроводной сети, изменению их расходных характеристик и возможному возникновению аварийных ситуаций [15,16]. Распределенные отложения формируются в местах изменения направления движения газового потока (сопряжения участков трубопровода, места установки запорной арматуры, и т.д.) и представляют собой скопления жидкой фазы, пыли и шлама. Жидкая фаза состоит из взвешенных частиц влаги, которые определяют влажность МВС. При высокой интенсивности притока влаги из дегазационных скважин и недостаточной эффективности устройств для ее отвода указанные скопления могут в некоторых случаях даже полностью перекрывать проходное сечение участков трубопроводов (водяные пробки), тем самым снижая эффективность дегазации и повышая вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Влияние гидродинамических особенностей движения обводненной МВС на эффективность работы шахтной ДС рассмотрено в работе [18]. Несмотря на учет таких факторов, как содержание влаги в газовом потоке (водяной пар) и конденсации, а также притечек воздуха в газопроводную сеть, закономерности движения МВС в них не в полной мере раскрыты и детализированы. В частности это относится к вопросу влияния объемной концентрации частиц влаги на величину коэффициентов гидравлического трения и местных гидравлических сопротивлений участков дегазационных трубопроводов.

Недостатком существующих функциональных зависимостей для коэффициентов гидравлических сопротивлений [17] при различных режимах течения однофазных и двухфазных сред является ограниченность применимости этих зависимостей тем или иным диапазоном чисел Рейнольдса, нестабильность структуры течения и параметров каждой из фаз в сечении трубопровода.

Продолжением исследований [18] явились полученные в ИГТМ НАН Украины результаты, изложенные в [17,19]. В частности, получено соотношение для определения потерь напора при движении по нему двухфазного потока «МВС - вода», и получена картина зависимости потерь давления на сопряженных участках де-газационного трубопровода от объемного расхода МВС при различной степени перекрытия скоплением влаги проходного их сечения. Предложено для расчета ДС использовать метод межузловых депрессий, который, правда, в несколько усложненном виде, с учетом особенностей системы «ВГП - ШВС», может быть использован и для ее расчета. Один из известных вариантов такого метода представлен в [20].

4. Поскольку ШВС состоит из ветвей-выработок  $(i,j)$  с различным законом аэродинамического сопротивления  $R(i,j)$ , расчет количества воздуха  $Q(i,j)$  в ее элементах не может свестись просто к приближенному решению смешанной системы уравнений Кирхгофа, в которой показатель степени при расходе воздуха  $n=2$  для всех элементов ШВС. Кроме того, в ряде ветвей-выработок ШВС (наклонных и вертикальных) действует естественная тяга (в аварийных условиях - тепловая депрессия)  $h_{ем}(i,j)$ , увеличивающая или уменьшающая значение  $Q(i,j)$  в них, а для вентиляционных стволов – содействуя или противодействуя (в аварийных случаях, при необходимости изменения вентиляционного режима) ВГП в осуществлении удаления отработанного воздуха из шахты.  $h(i,j), (i,j) \in U_{в.н.}$ , где  $U_{в.н.}$  - множество элементов ШВС, принадлежащих выработанному пространству шахты, также может изменяться при необходимости учета значений  $h(i,j), (i,j) \in U_{в.н.}$  при проведении вентиляционных расчетов. Кроме того,  $Q(i,j)$ , для учета температуры  $t(i,j)$  во  $\forall (i,j)$  должно заменяться на  $G(i,j)$ , где  $G(i,j)$  – массовый расход воздуха в  $(i,j)$ , а для ветвей-выработок, представляющих в модели лавы, и ветвей-выработок, прилегающих к выработанному пространству со стороны исходящей струи воздуха, к значению  $G(i,j)$  должно добавляться  $\Delta q(i,j)$  – количество метана, поступающего в вентиляционную струю при преодолении указанных участков (считается массовым или объемным в зависимости от  $t(i,j)$ ).



Тогда в наиболее общем виде обобщенная система уравнений законов Кирхгофа, описывающая движение нагретой метановоздушной смеси по  $(i,j)$  системы «ВГП - ШВС» может быть представлена в виде

$$\sum_{(j,i) \in \bar{U}_{\text{вх}}} [G(j,i) + \Delta q(j,i)] + \sum_{(i,j) \in \bar{U}_{\text{вых}}} [G(i,j) + \Delta q(i,j)] = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in \eta_p} R(i,j) [G(i,j) + \Delta q(i,j)]^S + \sum_{(i,j) \in U_v} [h(i,j) \pm h_{\text{есм}}(i,j)] = 0, \quad p = 1, \dots, n - m + 1, \quad (3)$$

где  $\bar{U}_{\text{вх}}(j,i), \bar{U}_{\text{вых}}(i,j)$  - множество ветвей, входящих в  $i$  и выходящих из него;  $n, m$  - количество ветвей-выработок и узлов ШВС;  $\eta_p$  -  $p$ -ый независимый контур ШВС;  $S$  - показатель степени закона аэродинамического сопротивления ( $n = 1$  (ламинарный) - для ветвей-выработок исходящей струи после значительного отхода лавы от разрезной печи,  $1 < n < 2$  - для участков ШВС, моделирующих выработанное пространство,  $n = 2$  (турбулентный) - для всех остальных ветвей-выработок ШВС);  $v$  - номер ВГП, входящего в контур;  $U_v$  - множество ветвей, моделирующих ВГП.

Для частных случаев система уравнений имеет вид (не загромождая публикацию лишними формулами):

1) если  $\forall (i,j), t(i,j) = 20^\circ \text{C}$ , или другой температуре, при которой  $G(i,j) = Q(i,j)$ , - в формулах (2) и (3)  $G(i,j)$  заменится на  $Q(i,j)$ ; так же поступают и с депрессией ВГП, моделируемого в  $(i,j)$ , -  $t(i,j)$  не учитывается;

2) если при тех же условиях движение воздуха во всех ветвях-выработках ШВС подчиняется турбулентному закону -  $S = 2$ ;

3) если при тех же условиях  $\forall \Delta q(i,j) = 0$  - из всех квадратных скобок следует убрать слагаемые  $\Delta q(i,j)$ ;

4) если условие п. 1) не выполняется - при выполнении условий 2) и 3) решается система уравнений (2)-(3) с соответствующими изменениями;

5) если в  $\eta_p$  входит только один ВГП (как чаще всего и бывает) - необходимо в соответствующем уравнении подсистемы (3) во втором слагаемом в квадратных скобках убрать знак суммирования. Если контур не содержит ВГП вообще - убрать слагаемое полностью.

В простейшем случае система уравнений (2)-(3) преобразуется в систему (4)-(5)

$$\sum_{i \in U(i,j)} Q(i,j) = 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in \eta_p} R(i,j) Q^2(i,j) + h_v(i,j) = 0, \quad p = 1, \dots, n - m + 1, \quad (5)$$

хорошо известную технологам Минэнергоугля Украины и сотрудникам отраслевых и академических институтов. Решение ее в разных вариантах получено в ИГТМ НАН Украины, НИИГД, ДонНТУ, ряде других организаций ближнего и дальнего зарубежья, реализовано в виде программного обеспечения и активно используется.

Предпринимались попытки решения и более общего решения системы, трансформируя ее в аналогичные подсистемы подключением условий 5), 4), 3), 2), 1) (в порядке сложности). Условие 5) реализуется просто – контуров с несколькими ВГП не бывает практически (последняя сумма в (3) включена просто в порядке общности). Пренебрежь условием 3) несложно как для общего условия 4), так и для общего условия 1). В ДПИ разработан метод расчета воздухораспределения в ШВС [Павловский, В.А., 1972] с учетом различных  $t(i,j)$  во  $\forall (i,j)$  путем введения в уравнения системы (2)-(3) специальных коэффициентов, учитывающих стационарный и нестационарный теплообмен в горных выработках. Однако расчет этих коэффициентов, особенно для условий нестационарного теплообмена, весьма сложен, а достоверность полученных результатов сомнительна.

Попытка решения задачи для расчета воздухораспределения моделирования тепловых депрессий с одновременным моделированием распространения газовых примесей была предпринята в работах [21,22]. Однако она не была доведена до уровня инженерных методик и в практических условиях не используется.

Наиболее общим является подход, предложенный специалистами ИГТМ НАН Украины [Кокоулин, И.Е., 1991] для расчета аварийных вентиляционных режимов. Он, правда, не предполагал учета газового фактора, а оперировал количеством и концентрацией пожарных газов, распространяющихся от очага экзогенного пожара по ходу исходящей струи по ветвям-выработкам ШВС. Т.е. была предпринята попытка решения системы уравнений (2)-(3) с учетом выполнения условия 2). Практического использования предложенная методика не получила ввиду невозможности получения информации о поведении системы «ВГП-ШВС» в ходе протекания пожара. По нашему мнению, направлением ближайших исследований должно быть решение задачи с учетом  $S \neq 2$  и  $\forall \Delta q(i,j)=0$ ; введение в дальнейшие расчеты газового фактора не представит особых сложностей.

5. В рамках решения этой задачи рядом исследователей [23-26], [Кузнецов, А.С., 1989] были исследованы отдельные вопросы оптимизации совместного функционирования системы «ВГП-ШВС» и ДС шахты. Работы ИГТМ в этом направлении частично охарактеризованы в публикации [27]. Сделаны выводы о том, что существующее взаимовлияние двух этих подсистем вызывает серьезные изменения в проветривании шахты, и неучет его в вентиляционных расчетах может привести к серьезным ошибкам. В связи с этим необходимо рассмотреть вопрос о создании обособленного от участка ВТБ участка дегазации, в функции которого будет входить выполнение всех работ по расчету ДС и оптимизации их параметров, и, совместно с участками ВТБ и

ПРТБ шахты переходить к постепенному комплексированию работ по совершенствованию вентиляции и дегазации. Однако, виду значительных технологических отличий, существующих в раздельном функционировании этих систем, объединение их в единую систему весьма сложно. В работе [25] лишь констатируется, что математическая модель общей системы «ВГП-ШВС-ДС» должна включать четыре принадлежащих отдельным подсистемам составляющих, но подключение ДС к подсистеме «ВГП-ШВС» описывается лишь общими фразами. Наиболее полное описание совместного расчета системы «ВГП-ШВС-ДС» содержится в [26], однако в ней отсутствует метод топологического объединения систем вентиляции и дегазации; они рассчитываются по отдельности с учетом взаимного влияния. Вопрос необходимости построения единой системы вентиляции и дегазации и проведения ее комплексного расчета остается в настоящее время открытым и делает актуальным проведение исследований в этом направлении.

Совместное решение пяти сформулированных частных позволит усовершенствовать методы контроля и оптимизации элементов подсистемы «ВГП-ШВС» и ДС и перейти к их совместному исследованию, что позволит усовершенствовать проветривание и дегазацию угольных шахт.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах: затв. Наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62.- Київ: 2010-2154 (Нормативний документ Мінвуглепрому України)
2. Депресійні та газові зйомки у вугільних шахтах. Методи проведення. Настанова: Затверджено директором Департаменту вугільної промисловості Міністерства палива та енергетики України 22.09.2005 р. – Київ, 2005. – 89 с.
3. Інструкція з контролю складу рудникового повітря, визначення багатогазовості та встановлення категорій шахт за метаном // Збірник інструкцій до Правил безпеки у вугільних шахтах: Керівний нормативний документ: Затв. Наказом Мінпаливенерго України від 18.11.2002 р. № 667. – Том 1. – Київ, 2003. – С. 67-113.
4. СОУ-П 10.1.00174088.018:2009 Система управління производством и охраной труда в угольной промышленности Украины (типовое руководство): Утверждено Приказом Министерства угольной промышленности Украины от 21.01.2010 г. № 7. – Киев, 2010. – 200 с.
5. Дудник, М.Н. Анемометр АПР-2 – современный прибор для контроля проветривания шахт / М.Н. Дудник, А.П. Круковский, Ю.Д. Беликов // Уголь Украины. – 2013. - № 7. – с. 26.
6. Мещеряков, А.А. Электронный анемометр АПР-2 и оснащение им шахт / А.А. Мещеряков // Уголь. – 2001. - № 6. – С. 63-65.
7. Проветривание и газовый режим шахты им. А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования / Е.Л. Звягильский, А.Ф. Булат, И.А. Ефремов [и др.]. – Донецк-Днепропетровск, 2003. – 228 с.
8. Совершенствование вентиляции и дегазации угольных шахт / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий [и др.]. – Днепропетровск, 2005. – 216 с.
9. Пат. 102727 України, МПК G01P 5/01 (2006.01), G01L 13/00.. України. Блок первинного перетворювача анемометра / Дудник М. М., Веретенник В. М., Вишницький О. І., Павлов П. В., Енгель С. А., (Україна); заявник і патентоволодар ІГТМ НАН України. – № u201506459 ; заявл. 30.06.2015; надрук. 10.11.2015, Бюл. №21. - 4 с.
10. Пат. 102288 України, МПК (2015.01) G01L 9/00, G01L 13/00. Спосіб вимірювання диференційного тиску цифровим манометром / Дудник М. М., Веретенник В. М., Вишницький О. І., Крицький В. Е., Павлов П. В., (Україна); заявник і патентоволодар ІГТМ НАН України. – № u201503612 ; заявл. 17.04.2015; надрук. 26.10.2015, Бюл. №20. - 4 с.
11. Пат. 102443 України, МПК (2015.01) G01L 9/00, G01L 13/00. Цифровий дифманометр / Дудник М. М., Веретенник В. М., Вишницький О. І., Крицький В. Е., Павлов П. В., (Україна);

заявник і патентоволодар ІГТМ НАН України. – № u201505105; заявл. 25.05.2015; надрук. 26.10.2015, Бюл. №20. - 4 с.

12. Жалилов, А.Ш. Анализ реконфигурируемой вентиляционной системы шахты «1/3 Новогородская» с использованием теории многополюсных структур / А.Ш. Жалилов // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 127. – С. 98-114.

13. Бунько, Т.В. Исследование особенностей функционирования системы «вентиляторы главного проветривания – шахтная вентиляционная сеть» на угольный шахтах / Т.В. Бунько, А.Ш. Жалилов, И.Е. Кокоулин // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2017. – Вып. 130. – С. 56-72.

14. Новиков, Л.А. Математическая модель движения турбулентного потока газовзвеси в дегазационном трубопроводе / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 76. – С. 126-131.

15. Влияние наличия влаги в дегазационном трубопроводе на его аэродинамические характеристики / Л.А. Новиков, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, Б.В. Бокий // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 44. – С. 27-37.

16. Новиков, Л.А. Определение потерь давления на загрязненных участках вакуумного дегазационного трубопровода / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. – С. 258-263.

17. Новиков, Л.А. Влияние дисперсной фазы на гидравлическое сопротивление участков дегазационных трубопроводов / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 114. – С. 154-161.

18. Малашкина, В.А. Особенности транспортирования метановоздушной смеси в подземных дегазационных трубопроводах / В.А. Малашкина, Н.А. Вострикова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. - № 8. – С. 3-12.

19. Новиков, Л.А. Газодинамика обводненных участков дегазационного трубопровода и методы расчета их параметров / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 120. – С. 234-243.

20. Шкундин, С.З. Единый подход к расчету вентиляционных и дегазационных сетей угольных шахт / С.З. Шкундин, А.Л. Иванников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГГУ, 2011. - № 6. – С. 428-436.

21. Моделирование динамики тепловых депрессий и ее влияния на проветривание горных выработок / А.В. Шалимов, Д.С. Кормщиков, Р.Р. Газизуллин, М.А. Семин // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. - № 12. – С. 41-47.

22. Красноштейн, А.Е. Моделирование нестационарных процессов распространения газовых примесей по выработкам рудника в условиях рециркуляционного проветривания / А.Е. Красноштейн, Б.П. Казаков, А.В. Шалимов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2006. - № 1. – С. 95-101.

23. Колмаков, В.А. Новое научное направление рудничной аэрологии – комплексное управление аэрогазодинамикой шахт / В.А. Колмаков // Вопросы безопасности труда: сборник научных трудов. – Кузбасс. Гос. Техн. ун-т. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2004. – Вып. 3. – С. 7-13.

24. Круглов, Ю.В. Расчет сложных вентиляционных сетей на ЭВМ / Ю.В. Круглов // Известия вузов. Горный журнал. – 2004. - № 2. – С. 46-49.

25. Палеев, Д.Ю. Сетевая задача проветривания горных выработок и выработанного пространства шахты / Д.Ю. Палеев // Вестник КузГТУ. – 2006. - № 5. – С. 341-348.

26. Емелин, П.В. Совместное решение задачи воздухораспределения в шахтной вентиляционной сети и выработанных пространствах шахт / П.В. Емелин // Труды университета / КарГТУ. – 2007. - № 3. – С. 1-5.

27. Повышение эффективности проветривания шахт с высоконагруженными лавами / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий [и др.]. – Днепропетровск, 2004. – 264 с.

#### REFERENCES

1. Ministry of Coal industry of Ukraine (2010), *NRALP 10.0-1.01-10 Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh: zautverdzheno Nakazom Derzhavnogo komitetu Ukrainy z promyslovy bezpeky, okhorony pratsi ta girnychogo naglyadu 22.03.2010 № 62* [NRALP 1.01-10 Rules of safety at coal mines: ratified by Order of State Committee of Ukraine by the industrial safety, protection of labour and mining inspectorate 22.03.2010 № 62] (2010), Kiev, UA.

2. *Depresiyini ta gazovi ziomky u vugilnykh shakhtakh. Metody provedennya. Nastanova: Zatverdzheno dyrektorom Departamentu vugilnoyi promyslovosti Ministerstva palyva ta energetyky Ukrainy 22.09.2005* [Depression and gas surveys at the coal mines. Methods of conducting. Purpose: ratified by Dyrektor of the Department of coal industry of Ministry of fuel and power engineering of Ukraine 22.09.2005] (2005), Kyiv, UA.

3. *Instruktsiya z kontrolyu skladu rudnykovogo povitrya, vyznachennya bagatogazovosti ta vstanovlennya kategoriy shakht za metanom. Kerivniy normatyvniy dokument: zatv. Nakazom Minpalyvenergo Ukrainy vid 18.11.2002 № 667* [Instruction of control by the composition of mine air, definition of much-gas and installation categories of mines after methane. Management normative document: ratified by Order of Ministry of fuel and power engineering of Ukraine 18.11.2002 № 667, Vol. 1] (2003), Kyiv, UA.

4. *SOU-P 10.1.00174088.018:2009 Sistema upravleniya proizvodstvom I okhraniy truda v ugolnoy promyshlennosti Ukrainy (tipovoye rukovodstvo): uyverzhdeno Prikazom Ministerstva ugolnoy promyshlennosti Ukrainy ot 21.01.2010 № 7* [SOU-P 10.1.00174088.018:2009 Control System by production and labour protection in the coal industry of Ukraine (model guidance): ratified by Order of Ministry from 21.01.2010 № 7] (2010), Kiev, UA.

5. Dudnik, M.N., Krukovskiy, A.P. and Belikov, Ju.D. (2013), «Anemometer APR-2 is modern device for the control ventilation of mines», *Coal of Ukraine*, no. 7, p. 26.

6. Meshcheryakov, A.A. (2001), «Electronic anemometer APR-2 and equipment by him mines», *Coal*, no. 6, pp. 63-65.

7. Zvyagilskiy, Je.L., Bulat, A.F., Jefremov, I.A. [and others] (2003), *Provtrivaniye i gazoviy rezhim Shakhty imeni A.F/ Zasyadko: sostoyaniye i puti sovershenstvovaniya* [Ventilation and gas mode of A.F. Zasyadko mine: state and ways of perfection], Donetsk-Dnepropetrovsk, UA.

8. Bulat, A.F., Zvyagilskiy, Je.L., Boki, B.V. [and others] (2005), *Sovershenstvovaniye ventilatsii i degazatsii ugolnykh shakht* [Perfection of ventilation and degassings of coal mines], Dnepropetrovsk, UA.

9. Dudnyk, M.M., Veretennyk V.M., Vyshnytskyy, O.I., Pavlov, P.V. and Engel S.A., Zayavnyk i patentovolodar IGTM NAN Ukrainy (2015), *Blok pervynnogo peretvoryuvacha anemomenra* [Block of primary converter of anemometer], State Register of Patents of Ukraine, Dnepropetrovsk, UA, Pat. № 102727.

10. Dudnyk, M.M., Veretennyk, V.M., Vyshnytskyy, O. I., Krytskiy, V.Je. and Pavlov, P.V., Zayavnyk i patentovolodar IGTM NAN Ukrainy (2015), *Sposib vymiryuvannya dyfrentsiynogo tysku tsyfrovym manometrom* [Method of measuring of differential pressure by a digital manometer], State Register of Patents of Ukraine, Dnepropetrovsk, UA, Pat. № 102288.

11. Dudnyk, M.M., Veretennyk, V.M., Vyshnytskyy, O.I., Krytskiy, V.Je. and Pavlov, P.V., zayavnyk i patentovolodar IGTM NAN Ukrainy (2015), *Tsyfrovyy dyfmanometr* [Digital difmanometer], State Register of Patents of Ukraine, Dnepropetrovsk, UA, Pat. № 102443.

12. Zhalilov, A.Sh. (2016), «Analysis of the re-configured ventilation system of mine «1/3 Novogrodovskaya» with the use of theory of multipolar structures», *Geotechnical Mechanics*, no. 127, pp. 98-114.

13. Bunko, T.V., Zhaliljv, A.Sh. and Kokoulin, I.Je. (2017), «Investigation features of functioning of the system «main fans - ventilation network» on a coal mines», *Geotechnical Mechanics*, no. 130, pp. 56-72.

14. Novikov, L.A. (2008), «Mathematical model of motion of turbulent stream of the gas-slurry in a drainage pipeline», *Geotechnical Mechanics*, no. 76, pp. 126-131.

15. Novikov, L.A., Bunko, T.V., Kokoulin, I.Je. and Boki, B.V. (2003), «Influencing of presence of moisture in a decontamination pipeline on his aerodynamic characteristics», *Geotechnical Mechanics*, no. 44, pp. 27-37.

16. Novikov, L.A. (2011), «Definition losses of pressure on the muddy areas of vacuum decontamination pipeline», *Geotechnical Mechanics*, no. 92, pp. 258-263.

17. Novikov, L.A. (2014), «Influence of dispersion phase on hydraulic resistance of district soda decontamination pipelines», *Geotechnical Mechanics*, no. 114, pp. 154-161.

18. Malashkina, V.A. and Vostrikova, N.A. (2003), «Peculiarities portages of methane-air mixture in the underground decontamination pipelines», *Mine information-analytical bulletin*, no. 8, pp. 3-12.

19. Novikov, J.I.A. (2015), «Gas dynamic of watering areas of decontamination pipeline and methods of calculation of their parameters», *Geotechnical Mechanics*, no. 120, pp. 234-243.

20. Shkundin, S.Z. and Ivannikov, A.L. (2011), «Unified approach to the calculation of ventilanion and decontamination networks of coal mines», *Mine information-analytical bulletin*, no. 6, pp. 428-436.

21. Shalymov, A.V., Kormshchykov, D.S., Gazizullin, R.R. and Семин, М.А. (2014), «Design of dynamics of thermal depressions and its influence on ventilation of mine workings», *Bulletin of PNIPU. Geology. Oil-gas and mine business*, no. 12, pp. 41-47.

22. Krasnoshteyn, A.Je., Kazakov, B.P. and Shalimov, A.V. (2006), «Modelling of unstationary processes of distribution of gas admixture on making of mine in the conditions of re-circulating ventilation», *Physical and Technical problems mining of useful minerals*, no.1, pp. 95-101.

23. Kolmakov, V.A. (2004), «New scientific direction of mine aerology is the complex management air and gas dynamics of mines», *Questions of safety of labour: collection of scientific labours. Kuzbass. Gos. Tekhn. un-t*, Kemerovo: KuzSTU, no. 3, pp. 7-13.

24. Kruglov, Ju.V. (2004), «Calculation of complicated ventilanion networks on computer», *News of high education institutions. Mine magazine*, no. 2, pp. 46-49.

25. Paleev, D.Ju. (2006), «Network task of ventilation of the mine making and produced spaces of mines», *Bulletin of KuzSTU*, no. 5, pp. 341-348.

26. Emelin, P.V. (2007), «Joint decision of task of air distribution in a mine ventilation network and produced spaces of mines», *Labours of university. KarGTU*, no. 3, pp. 1-5.

27. Bulat, A.F., Zvyagilskiy, Je.L., Boki, V.V. [and others] (2004), *Povysheniye effektivnosti provetrivaniya ugolnikh shakht s vysokonagruzhennymi lavami* [Increase of efficiency ventilation of mines with high freight lavas], Dnepropetrovsk, UA.

---

### Об авторах

**Бунько Татьяна Викторовна**, доктор технических наук, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, bunko2007@mail.ru

**Новиков Леонид Андреевич**, инженер, младший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, inov71@yandex.ru

**Яценко Игорь Алексеевич**, кандидат технических наук, заместитель начальника управления охраны труда, промышленной безопасности, физической и гражданской защиты Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, Киев, Украина.

**Жалилов Александр Шамильевич**, инженер, главный механик ГП «Селидовуголь», Селидово, Украина, alnat01@mail.ru

**Дудник Михаил Николаевич**, магистр, младший научный сотрудник в отделе горной термоаэродинамики и автоматизированных систем Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, dudnik1953@gmail.com

### About the authors

**Bunko Tatjana Viktorovna**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of problems of underground mines in great depths, M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, bunko2007@mail.ru

**Novikov Leonid Andreevich**, Master of Science, Junior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, inov71@yandex.ru

**Yashchenko Igor Alekseevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Deputy Chief of the Department of labour protection, industrial safety, physical and civil defence, Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine, Kiev, Ukraine.

**Zhalilov Alexandr Shamilyevich**, Master of Science, Chief mechanical engineer of the state enterprise «Selidovugol», Selidovo, Ukraine, alnat01@mail.ru

**Dudnik Michail Nikolayevich**, Master of Science, Junior Researcher in the Department of Rock Thermoaerodynamics and Automated Systems, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, dudnik1953@gmail.com

---

**Анотація.** Розглянуті окремі питання сумісного функціонування вентиляційної і дегазаційної систем вугільної шахти. Запропоновано новий підхід до оптимізації вентиляційного

режиму шляхом управління вентиляторами головного провітрювання з метою перетворення багатовентиляторної вентиляційної системи на систему, у якій організовано секційне або близьке до секційного провітрювання. Охарактеризовані результати досліджень дегазаційної системи шахти з метою врахування обводненості дегазаційних трубопроводів. Показано, що підвищення точності розрахунків системи «вентилятори головного провітрювання - шахтна вентиляційна мережа» може бути досягнуте врахуванням неквадратичного закону аеродинамічного опору витоків і вироблених просторів. Запропоновані методи вимірювання аеродинамічних параметрів елементів цієї системи з використанням розроблених приладів нового технічного рівня, і приведена їх коротка характеристика.

Ключові слова: система «вентилятори головного провітрювання – шахтна вентиляційна мережа», ідентифікація, дегазаційний трубопровід, засоби вимірювань, закон аеродинамічного опору.

**Abstract.** Some aspects of joint functioning of the ventilation and decontamination systems in coalmines are considered. A new approach is proposed for optimization of ventilation system, which assumes control of main fans and transformation of multifan ventilation system into the system with sectional or near-to-sectional ventilation. Results of researches of the mine decontamination system with taking into account water intrusion into the decontamination pipelines are presented. It is shown that calculations of the system «main fans - mine ventilation network» can be essentially more exact if to take into account nonquadratic law of aerodynamic resistance of leakages and goafs. New methods are proposed for measuring aerodynamic parameters of the system elements by newly-designed devices of the higher technical level, and their short description is presented.

**Keywords:** system «main fans - mine ventilation network», identification, decontamination pipeline, facilities of measuring, law of aerodynamic resistance.

*Статья поступила в редакцию 10.12. 2016*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.П. Минеевым*