

УДК 622.868.883

с.н.с. Ашихмин В. Д.
 (МакНИИ, Украина, e-mail: dmitrievich.valerij@yandex.ru),
 инженер Чикунов А. В.
 (ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько», Украина)
 инженер Мустяца Т. Н.
 (ГП «Снежноеантрацит», Украина)
 инженер Оверчук И. А.
 (ГП «Ровенькиантрацит», Украина)

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК С УЧЕТОМ ИЗНОСА ГИБКИХ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Проведена оцінка воздухопроницаємості гнучких вентиляційних трубопроводів при їх «старенні» і износе в процесі довготривалої експлуатації в шахтних умовах і пропонується спосіб урахування заміни воздухопроницаємості гнучких шахтних вентиляційних трубопроводів при їх «старенні» і износе.

Продовжено метод аеродинамічного розрахунку гнучкого вентиляційного трубопроводу з урахуванням «старення» і износу вентиляційних труб при довготривалій їх експлуатації.

Ключевые слова: *проветривания подготовительных выработок, гибкий вентиляционный трубопровод, воздухопроницаемость, утечка воздуха в трубопроводе, срок эксплуатации.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Основными аэродинамическими характеристиками вентиляционных трубопроводов, оказывающими существенное влияние на эффективность их применения, являются воздухопроницаемость и аэродинамическое сопротивление.

На основании проведенных исследований состояние проветривания подготовительных выработок на шахтах установлено, что аэродинамическое сопротивление трубопроводов в 1,5 – 2 раза, а воздухопроницаемость в 2 – 3 раза больше нормативных значений [1, 2].

На пути от вентилятора к забою тупиковой выработки в зависимости от воздухопроницаемости трубопровода теряется большая или меньшая часть воздуха. В ряде случаев утечки значительно превышают нормативные [2] и до забоя при длине выработки порядка 1000 м доходит только 10 – 20 % подаваемого в трубопровод воздуха.

Надежное проветривание подготовительных выработок с помощью гибких вентиляционных трубопроводов может быть обеспечено только в том случае, если будут учтены все факторы, влияющие на утечки воздуха в трубопроводе, для чего необходимо уточнять нормативный коэффициент утечек воздуха и затем с помощью него вводить соответствующие поправки и разрабатывать методы расчета, позволяющие учесть факторы определяющие эффективность вентиляционной системы местного проветривания.

В настоящее время для расчета гибких вентиляционных трубопроводов разработано большое число методик, которые в зависимости от принятого закона сопротивления путей утечек воздуха можно выделить в две группы [1]. В первую группу можно отнести уравнения с учетом турбу-

© Ашихмин В. Д., 2017

© Чикунов А. В., 2017

© Мустяца Т. Н., 2017

© Оверчук И. А., 2017

лентного режима движения воздуха, во вторую группу – уравнения с учетом ламинарного движения воздуха. Однако на практике возможны не только ламинарный и турбулентный, но и промежуточные режимы.

Принято считать, воздухопроницаемость гибких вентиляционных трубопроводов определяется качеством сборки вентиляционного става и является величиной постоянной, не зависящей от срока службы труб. В то же время в процессе эксплуатации трубопроводы под действием агрессивной окружающей среды и различного рода механических воздействий изнашиваются, в результате чего воздухопроницаемость их увеличивается. Это явление при расчетах проветривания тупиковых выработок не учитывалось.

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является оценка изменения воздухопроницаемости и способ учета воздухопроницаемости гибких шахтных вентиляционных трубопроводов при износе в процессе длительной эксплуатации в шахтных условиях.

Изложение материала и его результаты. При решении поставленной задачи приняты следующие допущения: вентиляционные трубопроводы собираются из труб из одного того же материала с одинаковой тщательностью, или звенья из различного материала равномерно распределены по длине вентиляционных трубопроводов; на всех шахтах вентиляционные трубопроводы со временем изнашиваются одинаково; между сроком эксплуатации вентиляционного трубопровода и его длиной существует линейная связь.

Поскольку на шахтах используются гибкие трубы разного диаметра, в качестве характеристики принимаем коэффициент их воздухопроницаемости k_1 приведенный к 1 м^2 поверхности трубопровода. С коэффициентом воздухопроницаемости k , отнесенным к единице длины вентиляционного трубопровода, он связан зависимостью:

$$k_1 = \frac{k}{\pi d_{mp}}, \quad (1)$$

где d_{mp} – диаметр трубопровода, м.

Утечки воздуха в неплотном вентиляционном трубопроводе:

$$\frac{dQ}{dl} = k \cdot p^n, \quad (2)$$

где Q – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$; l – переменная координата длины трубопровода, м; p – избыточное давление, Па; n – показатель степени, характеризующий режим утечек воздуха.

Как видно из уравнения (2), экспериментального определения значений k и n нужно знать величину утечек при всевозможных значениях избыточного давления. Практически необходимо иметь зависимости следующего вида:

$$\frac{dQ}{dl} = f'(l) \text{ и } p = q(l). \quad (3)$$

Для их получения в вентиляционных трубопроводах, находящихся в различных условиях эксплуатации измерялись расход и избыточное давление воздуха по всей длине вентиляционного трубопровода. Ввиду того, что максимальные потери воздуха и давления происходят в начале вентиляционного трубопровода, а также для исключения возможной ошибки замеров, связанной с изменением формы его поперечного сечения при пониженном избыточном давлении, и влияния стыков вентиляционного трубопровода, замеры производились по середине звеньев труб через 50 – 100 м на расстоянии 200 – 800 м от вентилятора местного проветривания. В местах замеров определялось истинное значение диаметра вентиляционного трубопровода. Полученные значения Q и p сглаживались аппроксимацией их зависимостями (3), что позволило уменьшить влияния возможных ошибок отдельных замеров. Подставив в дифференциальное

уравнение (2) вместо dQ/dl значение производной, взятой от аппроксимирующей функции $Q = fl$, и заменив его эмпирическим выражением $q(l)l$, получим следующую зависимость:

$$f'(l) = k[q(l)]^{\frac{1}{n}}. \quad (4)$$

Прологарифмировав выражение (4) и построив графики в координатах $\ln f'(l)$ и $\ln q(l)$ или аналитически, найдём тангенс наклона логарифмической прямой к оси $\ln q(l)$, обратная величина которого и определит режим утечек воздуха в вентиляционном трубопроводе, т.е. n . По найденному значению n из выражения (4) находим k .

Проведенные на шахтах опытные результаты по 30 гибким вентиляционным трубопроводам общей протяжностью более 4000 м и экспериментальные данные ряда исследователей позволили установить связь $n = 9,8$; $k = 0,1639$ при корреляционном отношении $\eta = 0,88$. С изменением k_1 колеблется и показатель n от значений, соответствующих ламинарному режиму, до близких к турбулентному режиму утечек воздуха.

Показатель степени, характеризующий режим воздуха n не является постоянной величиной, а зависит от воздухопроницаемости вентиляционного трубопровода. В процессе длительной эксплуатации под воздействием окружающей агрессивной среды и вследствие механических повреждений состояние вентиляционного става, характеризуемое коэффициентом воздухопроницаемости k , изменяется.

Обработка полученных экспериментальных данных позволила выявить связь между сроком службы трубопровода t и коэффициентом воздухопроницаемости k_1 при корреляционном отношении $\eta = 0,88$:

$$k_1 = 10^{-5} [4,37 - 4,29 \exp(-0,00217t)]. \quad (5)$$

По вышеприведенным зависимостям построены графики, характеризующие изменение воздухопроницаемости гибких вентиляционных трубопроводов различного диаметра (рис. 1) и режима утечек воздуха (рис. 2) при длительной их эксплуатации в шахтах. Коэффициент k и показатель n с ростом срока службы t гибкого вентиляционного трубопровода существенно увеличиваются.

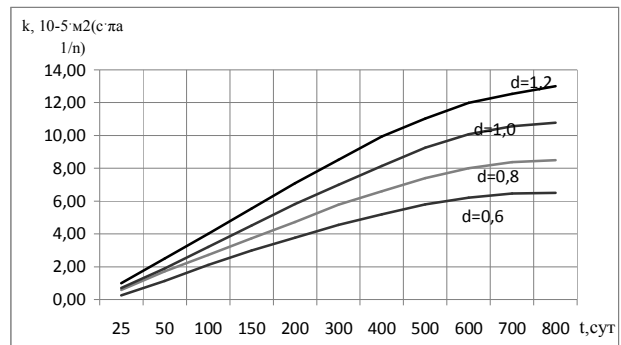


Рисунок 1 – Графики изменения коэффициента k воздухопроницаемости трубопроводов различного диаметра $d_{мр}$ в зависимости от длительности эксплуатации t

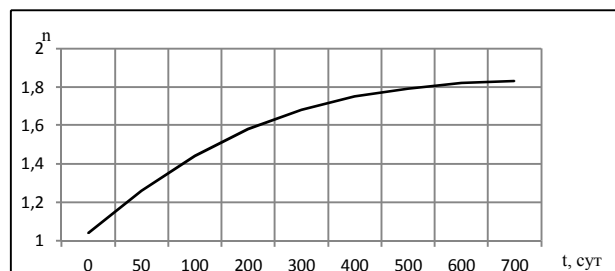


Рисунок 2 – График изменения показателя режима утечек воздуха n в зависимости от срока службы гибких вентиляционных трубопроводов t

Так, для гибкого вентиляционного трубопровода диаметром $d_{мр} = 600$ мм при длительности его эксплуатации $t = 20$ дней значение коэффициента воздухопроницаемости – $k = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/(\text{Па}^{0,83})$ и $n = 1,2$, а при длительности его эксплуатации $t = 200$ дней значение коэффици-

ента $k = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 / (\text{Па}^{0,625})$ и $n = 1,6$. Так за 180 дней значения коэффициента k увеличивалось в 5 раз, хотя качество сборки вентиляционного трубопровода не изменилось.

На основе графика рисунка 2 можно определить примерную область использования существующих методик аэродинамического расчета неплотных вентиляционных трубопроводов. При соблюдении требований, предъявляемых к монтажу воздухопроводов, методики, полученные в предположении ламинарного режима утечек, могут быть рекомендованы для приближенных аэродинамических расчетов при сроке службы вентиляционного става не более 30 дней ($n \leq 1,2$), т.е. для расчетов проветривания подготовительных выработок, проводимых скоростными способами, или при полной замене старого износившегося вентиляционного трубопровода новым. Методики, полученные в предположении турбулентных утечек, могут использоваться для приближенных расчетов при сроке эксплуатации труб не менее 1,5 года ($n \geq 1,8$).

Таким образом, аэродинамические параметры в результате «старения» и износа вентиляционных трубопроводов изменяются, а следовательно это необходимо учитывать при расчетах. Практика эксплуатации гибких вентиляционных трубопроводов на шахтах показывает, что существует длина L трубопровода, начиная с которой при заданной воздухопроницаемости труб уже невозможно путем увеличения напора и расхода у вентилятора обеспечить подачу заданного количества воздуха Q_3 в забой тупиковой выработки.

Движение потока переменной массы по гибкому вентиляционному трубопроводу можно описать уравнением:

$$\frac{dp}{dl} = rQ^2 - \varphi \frac{p}{S^2} \cdot Q \frac{dQ}{dl}, \quad (6)$$

где p – избыточное давление, Па; l – переменная координата длины венти-

ляционного трубопровода, м; r – удельное аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода, $\text{Па} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^7$; φ – коэффициент учитывающий потери скоростного напора с утечками воздуха, Q – расход воздуха, $\text{м}^3 / \text{с}$; S – площадь поперечного сечения гибкого вентиляционного трубопровода, м^2 .

$$\varphi = 1 + \frac{9,33 \cdot d_{mp}^5 \cdot r}{\rho}, \quad (7)$$

где d_{mp} – диаметр гибкого вентиляционного трубопровода, м.

Из графиков (рис.3,4) построенным по вышеприведенным уравнениям (2) и (6), видно, что значительно увеличить длину гибкого вентиляционного трубопровода за счет повышения напора (депрессии) вентилятора местного проветривания и его производительности, при подаче в призабойное пространство расчетного количества воздуха малоэффективно, а в большинстве случаев не представляется возможным. Таким образом, можно определить, что эффективность применения мощных вентиляторных установок приведет к неоправданно большому расходу электроэнергии.

Избежать такого недостатка существующих гибких вентиляционных трубопроводов можно путем сокращения их срока службы, а именно применения более скоростного проведения подготовительных выработок. Однако проведенные исследования на шахтах Донецкого и Западно-Донбасского угольных регионов показывают, что выигрыш в расстоянии, например, при работе группы вентиляторов местного проветривания, создающих депрессию 350 даПа, и изменение скорости подвигания подготовительного забоя с 50 до 500 м/мес и более, для надежного собранного из новых труб (длиной звена 20 м) вентиляционного трубопровода в зависимости от количества воздуха необходимого для проветривания подготовительной выработки находится в пределах 30–150 м. Если с увеличением скорости проведения

подготовительной выработки повысить и депрессию создаваемую вентилятором местного проветривания в 2 раза, то длина подачи необходимого количества воздуха в подготовительный забой может увеличиться на 250 – 350 м. Из выше изложенного следует, что начиная с некоторой длины подготовительной выработки (длины гибкого вентиляционного трубо-

провода) обеспечить забой необходимым расходом воздуха (Q_3) путем повышения депрессии, создаваемой вентилятором местного проветривания без применения специальных мероприятий по улучшению аэродинамических параметров эксплуатационного гибкого вентиляционного трубопровода не представляется возможным.

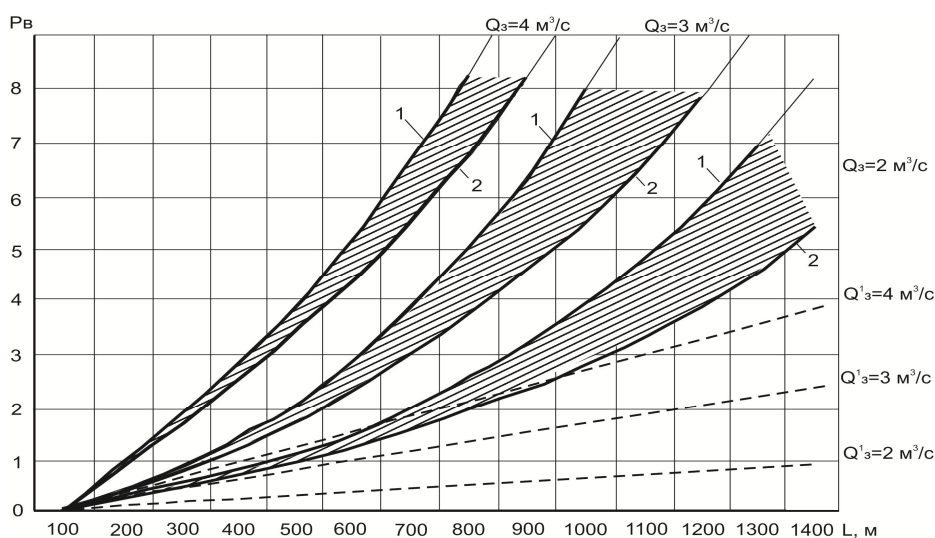


Рисунок 3 – График изменения напора (депрессии) у вентилятора в зависимости от длины вентиляционного трубопровода и расхода воздуха в забое подготовительной выработки: 1 – при скорости проведения 100 м/мес; 2 – при скорости проведения 500 м/мес; Q'_3 – расход воздуха в забое подготовительной выработки при проветривании с использованием комбинированных трубопроводов

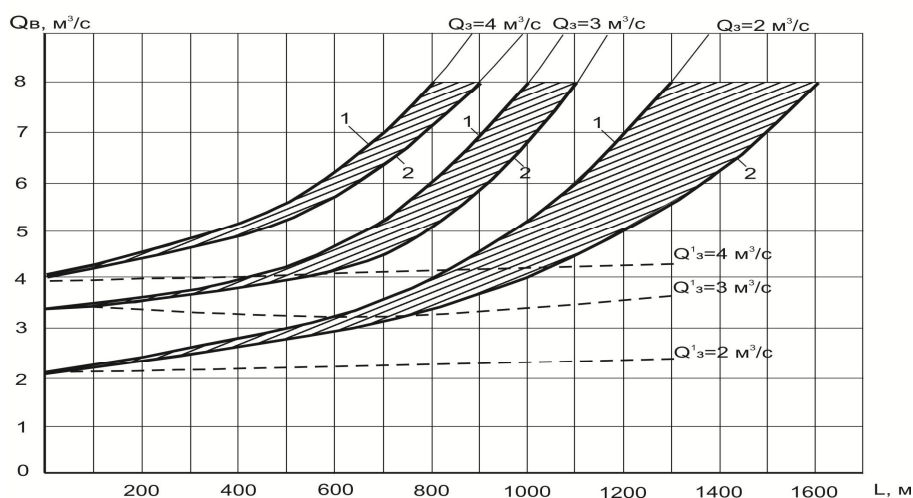


Рисунок 4 – График изменения дебита воздуха у вентилятора в зависимости от длины вентиляционного трубопровода и расхода воздуха в забое подготовительной выработки: 1 – при скорости проведения 100 м/мес; 2 – при скорости проведения 500 м/мес

Практически применяемая депрессия создаваемая вентилятором местного проветривания, работающего на гибкий вентиляционный трубопровод – 350–400 даПа.

Предельную длину (L_{np}) для гибких вентиляционных труб диаметром 600 – 1000 мм и длиной звена – 20 м, при расходе воздуха в подготовительном забое (Q_3) в пределах 1,5 – 4,5 м³/с, депрессии создаваемой вентилятором местного проветривания 350 даПа, при совокупном коэффициенте корреляции (r_k) 0,97 можно описать следующей зависимостью:

$$L_{np} = 1420 + 378 \cdot d_{mp} - 360 \cdot Q_3. \quad (8)$$

В качестве мероприятий, обеспечивающих существенное увеличение длины проветриваемых подготовительных выработок, могут быть рекомендованы рукава из синтетических пленок, в качестве уплотнения и снижения аэродинамического сопротивления, находящихся в эксплуатации гибких вентиляционных трубопроводов, что позволит при одной и той же депрессии создаваемой вентилятором местного проветривания значительно увеличить длину подачи необходимого количества воздуха в подготовительный забой (рис. 3, 4).

Следовательно, если в расчетах вентиляционных сетей протяженных подготовительных выработок не учитывать фактор «старения» и износа гибких вентиляционных труб, то это может привести к значительным ошибкам, при определении депрессии создаваемой вентилятором местного проветривания и необходимого расхода воздуха у вентилятора (особенно при применении мощных центробежных вентиляторов типа ВМЦ – 8, ВЦ – 9, ВЦ – 11, ВЦ – 13, ВЦП – 16 с улучшенными аэродинамическими характеристиками).

Таким образом, при расчетах проветривания подготовительных выработок с уче-

том процесса «старения» и износа гибких вентиляционных трубопроводах в качестве основного необходимо принимать концепцию о необходимости обеспечения требуемого расхода воздуха в подготовительном забое в течении всего срока эксплуатации вентиляционного трубопровода путем предварительного осуществления мероприятий направленных на улучшение состояния гибких вентиляционных трубопроводов.

Сущность данной концепции, учитывающей «старение» и износ гибких вентиляционных трубопроводов в следующем. По известным формулам [2] рассчитываем необходимое количество воздуха для проветривания забоя подготовительной выработки (Q_3), а затем с учетом принятого диаметра вентиляционного трубопровода (d_{mp}) по вышеприведенной зависимости (8) предварительно определяем предельную длину проветривания (L_{np}). Если максимальная длина проектируемой подготовительной выработки ($L_{max.выр}$) не превышает величину предельной длины проветривания (L_{np}), рассчитанной по зависимости (8), то проветривание выработки можно проводить без мероприятий по снижению аэродинамического сопротивления и устранению утечек воздуха в гибком вентиляционном трубопроводе.

Максимальное время проветривания проводимой подготовительной выработки определяется из выражения:

$$t_1 = \frac{30 \cdot L_{выр}}{v_{мес}} + t_2, \quad (9)$$

где $v_{мес}$ – средняя скорость проведения подготовительной выработки, м/мес, Па; t_2 – продолжительность проветривания подготовительной выработки, с помощью вентилятора местного проветривания после ее проведения, сут.

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Таблица 2 – Расчетные значения коэффициента воздухопроницаемости и удельного аэродинамического сопротивления в зависимости от диаметра вентиляционного трубопровода

Наименование показателя	Диаметр вентиляционного трубопровода (d_{np}), мм			
	500	600	800	1000
Коэффициент воздухопроницаемости (k), $m^2/(c \cdot Pa)$	0,19	0,23	0,30	0,38
Удельное аэродинамическое сопротивление (r), $Pa \cdot c^2/m^7$	0,47	0,19	0,05	390 370 340 300

Зная максимальное время проветривания проводимой подготовительной выработки (t_1) для вентиляционных труб соответствующего диаметра (d_{np}) определяем значение коэффициента воздухопроницаемости по (k) формуле (4), и показатель режима утечек воздуха (n) по эмпирической формуле (1) или по графику (рис. 1). Затем рассчитываем ориентировочно избыточное давление в конце гибкого вентиляционного трубопровода по формуле:

$$P_3 = R \cdot Q_3^2, \quad (10)$$

где R – аэродинамическое сопротивление, $Pa \cdot c^2/m^6$.

Далее по значениям (Q_3), (P_3), (k), (n), (r), (d_{np}), и ($L_{выр}$) производим аэродинамический расчет гибкого вентиляционного трубопровода, для чего решая в конечных разностях систему дифференциальных уравнений (2) и (6), определяем необходимый дебит (Q_3) и депрессию (p_e) создаваемую вентилятором местного проветривания. Если же проектная длина выработки ($L_{выр}$) больше предельной длины проветривания, рассчитанной по выражению (8), то проветривание необходимо производить применяя комбинированные вентиляционные трубопроводы, причем применение данного трубопровода необходимо осуществлять со специальным пускорегулирующим устройством.

Далее определяем время с начала проведения подготовительной выработки (t_1), по истечении которого необходимо переходить на проветривание комбинированным вентиляционным трубопроводом, определяется из выражения:

$$t_1 = \frac{30 \cdot (L_{np} - l_1)}{v_{мес}}. \quad (11)$$

При длине трубопровода (L_{np}) значительно превышающей длину проектируемой подготовительной выработки, время перехода на проветривание комбинированным вентиляционным трубопроводом определяется выражением:

$$t_1 = \frac{30 \cdot (L_{выр} - l - l_1)}{v_{мес}}, \quad (12)$$

где l – длина вентиляционного трубопровода, проложенного вне вентиляционной выработки, м,

При $t \geq t_1$, проветривание подготовительной выработки производится с помощью комбинированного вентиляционного трубопровода.

Аэродинамический расчет комбинированного вентиляционного трубопровода производим аналогично расчету приведенному выше. Определяем депрессию (p_e) создаваемую вентилятором местного проветривания и расход воздуха (Q_3) у вентилятора, необходимые для обеспече-

ния нормальной вентиляции подготовительной выработки при длине, равной проектной. Принимается $n=1$, значения k и r берутся по таблице 1. Согласно полученным значениям (Q_6) и (p_6) принимается вентилятор, подающий расход воздуха в забой подготовительной выработки (Q_3).

Если применяемый до перехода на комбинированный вентиляционный трубопровод вентилятор местного провет-

ривания обеспечивает необходимые расход и депрессию, то он пригоден к эксплуатации и в дальнейшем.

ВЫВОДЫ. На основании вышеизложенного подтверждается необходимость учета "старения" и износа гибких шахтных вентиляционных трубопроводов при расчетах проветривания проводимых подготовительных выработок большой протяженности.

Библиографический список

1. *Справочник по рудничной вентиляции / под ред. проф. А.И. Ксенофоновой. – М, 1962. – 691 с.*
2. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. НПАОП 10.0-7.08.-93.К.: Минуглерпром Украины, 1994. – 311 с. – (Государственный Нормативный документ Минуглерпрома Украины).*
3. *Определение аэродинамических характеристик трубопроводов: отчет НИР // Макеевка: Донбасс, 1960. – 555с. – Киев: Наук. думка, 1990. – 168 с.*

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Антощенко Н. И., д.т.н., с.н.с. МакНИИ Кудиновым Ю. В.

Статья поступила в редакцию 05.12.2016

с.н.с. Ашихмін В. Д. (МакНДІ, Україна), **інженер Чікунов А. В.** (ПАО «Шахта ім. О.Ф. Засядька», Україна), **інженер Мустьяца Т. Н.** (ДП «Сніжнеантрацит», Україна), **інженер Оверчук І. А.** (ДП «Ровенькіантрацит», Україна)

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПРОВІТРЮВАННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК З УРАХУВАННЯМ ЗНОСУ ГНУЧКИХ ШАХТНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ТРУБОПРОВІДІВ

Проведено оцінку повітропроникності гнучких вентиляційних трубопроводів при їхньому «старінні» та зношенні в процесі тривалої експлуатації в шахтних умовах та запропоновано спосіб обліку змінення повітропроникності гнучких шахтних вентиляційних трубопроводів при їхньому «старінні» та зношенні.

Ключові слова: *провітрювання підготовчих виробок, гнучкий вентиляційний трубопровід, повітропроникність, витік повітря в трубопроводі, строк експлуатації.*

Senior researcher Ashykhmin V. D. (MaxSRI, Ukraine), **engineer Chikunov A. V.** (PSS Zasyadko coal mine, Ukraine), **engineer Mustiatsa T. N.** (SE Sniezhoeanthracite, Ukraine), **engineer Overchuk I. A.** (SE Rovenkianthacite, Ukraine)

CALCULATION FEATURES OF VENTILATION DEVELOPMENT WORKS IN VIEW OF DETERIORATION OF FLEXIBLE SHAFT LINE

Assessment of the air permeability of the flexible ventilation pipes in their "aging" and wear during continuous operation while in the mining conditions and proposed method of accounting for the replacement of air permeability of flexible mine ventilation pipeline in their "aging" and wear.

The method of calculating the aerodynamic flexible ventilation pipeline, taking into account the "aging" or wear long ventilation pipelines at their operation.

Keywords: *airing of development workings, flexible vent pipeline, air permeability, the air leaks in the pipeline lifespan.*