

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ГРАВИТАЦИОННОГО ЖЕЛОБА НА РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ПЕРЕГРУЖАЕМОЙ МАССЫ

Н.А.Медеубаев, к.т.н., доцент кафедры РА и ОТ. Карагандинский Государственный Технический Университет. Республика Казахстан. nurken1960@mail.ru

М.Ж.Какенова, м.т.н., ст.преподаватель кафедры РА и ОТ. Карагандинский Государственный Технический Университет. Республика Казахстан. meruertkakenova@mail.ru

С.Р.Ирангаип, магистрант кафедры РА и ОТ. Карагандинский Государственный Технический Университет. Республика Казахстан. s.s.r.96_96@mail.ru

А.Н.Сарсембаева, магистрант кафедры РА и ОТ. Карагандинский Государственный Технический Университет. Республика Казахстан. aiko1@mail.ru

Аннотация: Снижение содержания пыли в рудничной атмосфере до предельно допустимых концентраций представляет нередко технически трудную задачу. Сложность ее определяется прежде всего тем, что наиболее вредная мельчайшая пыль очень плохо поддается улавливанию. Образование такой пыли происходит весьма интенсивно. Поэтому любые инженерно-технические мероприятия предназначенные для очистки рудничной атмосферы от пыли, должны обладать весьма высоким коэффициентом улавливания пылевых частиц. При этом устройства, предназначенные для улавливания пыли, должны быть весьма компактными и отвечать требованиям длительной эксплуатации в стесненных условиях подземных выработок.

Ключевые слова: рудничная атмосфера, пыль, аэрозоль, желоб, перегрузочное устройство, сыпучий материал, турбулентность, транспортировка, фильтрация, гравитация.

INFLUENCE OF FORM OF A GRAVITY TROUGH TO THE MOVING OVERLOAD MASS MODE.

N.A.Medeubaev, candidate of technical sciences, professor of department of mine aerology and labor protection. Karaganda State Technical University. Republic of Kazakhstan. nurken1960@mail.ru

M.Zh. Kakenova, master of technical sciences, senior lecturer of department of mine aerology and labor protection. Karaganda State Technical University. Republic of Kazakhstan. meruertkakenova@mail.ru

S.R. Irangaip, undergraduate of department of mine aerology and labor protection. Karaganda State Technical University. Republic of Kazakhstan. s.s.r.96_96@mail.ru

A.N. Sarsembaeva, undergraduate of mine aerology and labor protection. Karaganda State Technical University. Republic of Kazakhstan. aiko1@mail.ru

Annotation: reduction of dust content in mine atmosphere until the ultimate allowable concentration represents a technically difficult task. It's complexity is determined primarily by the harmful minute dust which is very difficult to catch. Formation of this dust happening very intensively. Because of that any engineering and technical activities assigned for cleaning of mine atmosphere from dust must have high coefficient of dust trapping. The device for catching dust must be compact and reply for the request of continuous exploitation in cramped underground working conditions.

Key words: mine atmosphere, dust, aerosol, though, reloading device, loose material, turbulence, transportation, filtration, gravitation.

Интенсивность пылевыведения зависит в основном от влажности и скорости перемещения сыпучей массы (или скорости движения воздуха к ее поверхности), а также от угла наклона гравитационного желоба и пути перемещения материала в нем. При увеличении влажности материала сыпучей массы до 4,0...5,6% интенсивность пылевыведения из нее при перегрузках уменьшается в 20 раз или пылевыведение вовсе ненаблюдается.

Из результатов исследования следует, что при увеличении скорости перемещения сыпучей массы, интенсивность выделения пыли из нее возрастает. При этом наблюдается критические скорости величиной от 2,0 до 10,0 – 12,0 м/с. Первая критическая скорость (от 2,0 до 4,3 м/с) обеспечивает срыв с поверхности слоя материала частиц пыли, находящихся на поверхности. При второй критической скорости (от 4,3 до 10,0 – 12,0 м/с) наблюдается массовое выветривание пыли из сыпучего материала.

При увеличении угла наклона желоба и пути перемещения материала в нем в соответствии с результатами исследований, пылевыведение из перегружаемой сыпучей массы резко возрастает более чем в 20-25 раз.

Конфигурация гравитационного желоба определяет формирование движущейся сыпучей массы. Это расширяет возможности управления процессом перегрузки с целью уменьшения пылевыведения из перегружаемых материалов и снижения их эжектирующей способности. Движение измельченных материалов в гравитационном желобе характеризуется следующими режимами:

- связным режимом, когда частицы массы движутся компактно в один ряд несколько условных «слоев» и расстояния между центрами тяжести частиц r не превышает размера их среднего диаметра d_{cp}

$$r = d_{cp} , \quad (1)$$

где d_{cp} – переходным – когда частицы движущегося материала расположены ниже, чем в один слой и средние расстояния между их центрами тяжести выше d_{cp} , но меньше чем $3d_{cp}$

$$d_{cp} < r < 3d_{cp} , \quad (2)$$

частицы несвязным – при движении сыпучего материала в один слой и среднее расстояния между центрами тяжести частиц больше их трех средних параметров

$$r < 3d_{cp} , \quad (3)$$

Анализируем условия, влияющие на формирование потоков перегружаемых сыпучих материалов в прямом прямоугольном желобе, рисунок 1(а); гравитационном желобе с плоским зауживающимся, в направлении транспортирования материала, днищем, рисунок

1(б); в прямом желобе овальной формы, рисунок 1(в); в желобе о зауживающемся, в направлении транспортировки материала, овальным днищем, рисунок 1 (г).

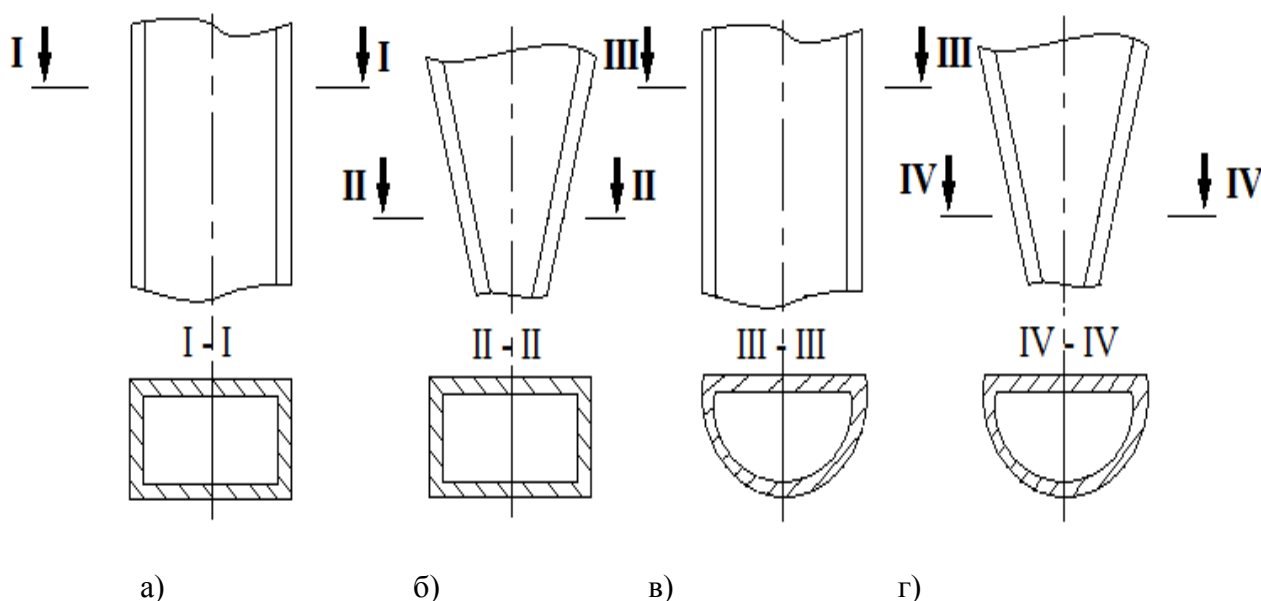


Рисунок 1 – Формы гравитационных желобов

Исследуя из этого рассмотрим движение тела на плоскости. Если плоскость вертикальна и по ней движется тело равномерно или с ускорением $\vec{a}_1$, то вес тела $P=mg$ в движении постоянный и не зависит a_1 , так как векторы $\vec{P}$ и a_1 направлены взаимноперпендикулярно.

Известно, что сила трения скольжения тела о плоскость перпендикулярно.

$$\vec{F}_{тр} = f_{тр} \cdot \vec{N}, \quad (4)$$

где $\vec{N}$ – нормальная реакция плоскости,
 $f_{тр}$ – коэффициент трения скольжения тела о плоскость.

Тогда при постоянном $\vec{P}$ будет постоянно и значение $\vec{N}$ и, вектора $\vec{F}_{тр}$ тоже постоянна. Так как вес тела равен силе действующей вектору, то при свободном падении тела сверху – вниз, направление ускорение тела $\vec{a}_1$ совпадает с направлением ускорения свободного падения $\vec{g}$ и вес падающего тела $\vec{P}$ будет меньше веса покоящегося тела, что подтверждается известным выражением.

$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}_1), \quad (5)$$

При свободном падении $\vec{a}_1 = g$ и тогда (без учета сопротивления воздуха)

$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{g}) = 0, \quad (6)$$

Соответственно и $F = 0$, т.е. наблюдается состояние невесомости.

Рассмотрим сыпучее тело массой m , движущееся по наклонной поверхности под действием гравитационной силы с ускорением $\vec{a}$.

Условия ускорения $\vec{a}$ на ось ОУ будет совпадать с направлением $\vec{P}$ и по величине равен

$$\vec{a}_1 = \vec{P} \sin(90^\circ - \alpha_1), \quad (7)$$

Тогда вес тела $\vec{P}$ равен

$$\vec{P} = m (\vec{g} - \vec{a}) = m [\vec{g} - \vec{P} \sin(90^\circ - \alpha_1)], \quad (8)$$

При изменении угла наклона плоскости от 0° до 90° значение сила трения будет изменяться от $m a_1$ до 0, при изменении ускорения $\vec{a}_1$ падение $\vec{g}$. Но с изменением значений P пропорционально будут изменяться величина реакции плоскости N и силы F и $\vec{F}_{тр}$.

Из формулы видно, что

$$f_{тр} = \vec{F}_{тр} : \vec{N}, \quad (9)$$

Тогда, при значении $\vec{N} = 0$, коэффициент трения не существует. Сила трения $\vec{F}_{тр}$ пропорциональна нормальной нагрузке $\vec{N}$ и будет изменяться от F_{max} (при $\alpha_1 = 0$), в горизонтальном желобе до $F=0$, при свободном падении тела ($\alpha_1 = 90^\circ$) в вертикальном желобе. Исходя из пропорциональности возрастания и убывания $\vec{F}_{тр}$ силы $\vec{N}$ видно, что величина коэффициента трения ($f_{тр}$) при движении тела под действием силы тяжести и при изменении угла наклона поверхности от 0° до 90° , также уменьшается от $f_{тр, max}$ до $f_{тр} = 0$.

Известно, что при наклоне плоскости скольжения под углом α_1 видим, что угол внешнего трения α_2 движущегося материала, произвольное движение сыпучей массы по плоскости невозможно и ускорение $\vec{a} = 0$. Тогда коэффициент трения скольжения, при угле наклона плоскости до значений α_2 , близок к $f_{тр, max}$.

$$F_{тр} \rightarrow f_{тр, max}, \text{ при } \alpha_1 \rightarrow 0 \quad (10)$$

Перейдем от понятия “коэффициент трения” к понятию “угол трения” опишем в соответствии с тождеством.

$$\text{При } \alpha_1 \approx \alpha_2, \quad f_{тр} = \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (11)$$

При движении сыпучего тела по наклонной плоскости (при $\alpha_1 > \alpha_2$) ускорением $\vec{a}$, справедливо выражение $f_{тр} < \operatorname{tg} \alpha_2$. Отличие значений $f_{тр}$ и $\operatorname{tg} \alpha_2$ будет увеличиваться с ростом угла наклона желоба при

$$\begin{aligned} f_{тр} &\rightarrow 0, \quad \operatorname{tg} \alpha_2 \rightarrow \infty. \\ \operatorname{Tg} 0^\circ &= 0, f_{тр} = \max, \end{aligned} \quad (12)$$

Зная, что изменение величины $\vec{a}$ происходит по синусоиде, а значение $f_{тр}$ обратно пропорционально изменению $\vec{a}$ получаем:

- для условия движения тела в гравитационном желобе с углом наклона $\alpha_1 > \alpha_2$.

$$F_{тр} = \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1, \quad (13)$$

Рассмотрим влияние указанных форм днищ гравитационных желобов и режимы движения в них измельченных материалов. Определяющим фактором влияющим на

распределение движущихся частиц материала в желоб является их взаимодействие с плоскостью днища под действием силы тяжести.

В прямом желобе с плоским днищем определение интервалов между частицами возможно при условии, что известны следующие параметры:

- ширина днища желоба, м;
- угол наклона желоба, град;
- расход сыпучего материала в желобе, кг/с;
- среднемассовый диаметр частиц, м;
- начальная скорость движения материала в желобе, м/с;
- объемная масса материала, кг/м³;
- средний объем частиц, м³/шт.

Тогда объем перегружаемого за 1 секунду сыпучего материала определим с помощью выражения

$$W = Q_m : \rho , \quad (14)$$

Среднее количество частиц n_0 в объеме секундного расхода равна

$$n_0 = W : W_0 \quad (15)$$

Необходимую площадь S_{cn} для распределения частиц в один слой частиц определим из выражения

$$S_{cn} = V_0 \cdot B \quad (16)$$

Зная площадь, которую занимает одна частица и количество частиц общей массы, определим количество слоев N_1 , занимаемых сыпучим материалом в первую секунду движения:

$$N_1 = n_0 : S_{cn} , \quad (17)$$

При этом, если $N \geq 1$, то материал начинает движение в связанном режиме. Если $1 > N_1 > 0.11$ материал в переходном режиме. При $N_1 < 0.11$ материал движется в несвязном режиме.

Зависимость режимов движения материала при перезагрузке в желобе плоским днищем от размеров фракций перегружаемой массы со средне – статистическим диаметром частиц, d_{cp} равными $1 \cdot 10^{-3}$ м; $5 \cdot 10^{-3}$ м; $1 \cdot 10^{-2}$ м; $5 \cdot 10^{-2}$ м; $1 \cdot 10^{-1}$ м, при кратности отношения размера ширины желоба к периметру частицы j в пределах

$$10 < j < 1000, \quad (18)$$

Как видно из графиков рисунок 2, в связанном режиме, по желобу с плоским днищем может превращаться только материал с отношением размеров $50 \leq j \leq 500$ для которого область связанного режима ограничивается значением скорости движения 2,78 м / с. Для материалов с размерами частиц $j \leq 50$, условия связанного режима не создаются с начального момента движения.

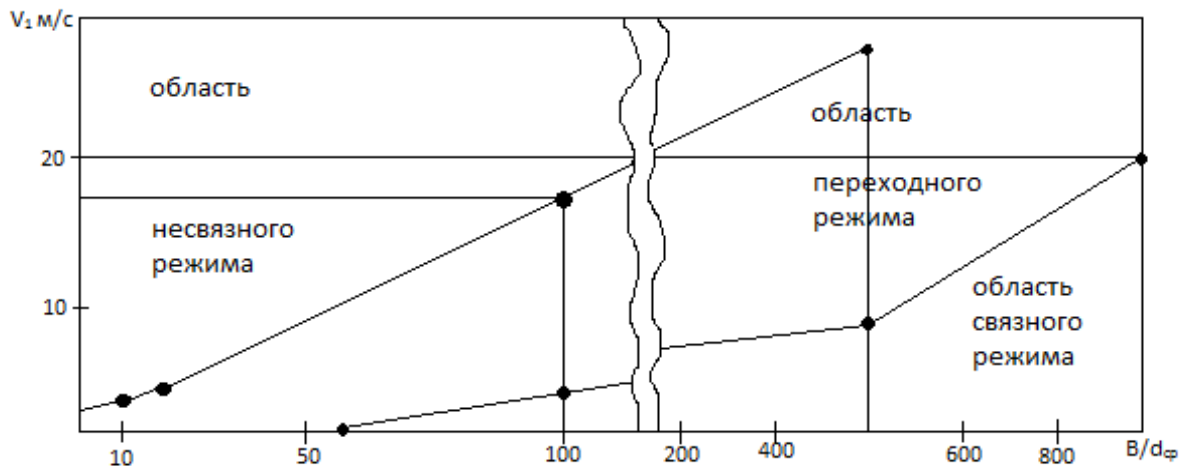


Рисунок 2- Скоростные интервалы режимов движения при расходе сыпучей массы 27,778 кг/с, при $j = 1500 \text{ кг/м}^3$

Для сыпучей массы с $500 \leq j \leq 1000$, область связанного режима также ограничена величиной скорости до 18,52 м / с. При перегрузке сыпучих материалов со средними размерами частиц в 10...1000 раз меньше ширины желоба с плоским дном и загрузке его при начальной скорости 1 м / с в 1 слой, производительность желобов, при постоянном отношении ширины желоба и среднего диаметра куса, возрастает как квадрат единичной площади желоба. При изменяющихся соотношениях V/d_{cp} и одной ширине желоба производительность обратно пропорциональна кратности отношения V/d_{cp} . Так, если кратность V/d_{cp} изменилась от 10 до 1000, то нагрузка на желоб любой ширины должна измениться в 100 раз. Только при выполнении таких условий может быть сохранен связный режим движения в прямоугольном желобе.

Если желоб нагружается в несколько слоев n , то нагрузка кратного увеличивается в n раз, предельные скорости также изменятся в n раз. Зная предельные скорости движения массы при условий искомого режима движения, можно рассчитать необходимое положение желоба с плоским дном. Из вышеописанного видно, что изучение связанного режима движения сыпучей массы в желобе с плоским дном можно достичь следующими путями:

- перезагрузкой мелких материалов;
- уменьшением скорости движения сыпучей массы в желобе;
- увеличением расхода материала по желобу в единицу времени;
- зауживанием ширины дна желоба в направлении транспортировки частиц;

Однако, увеличение расхода сыпучей массы в гравитационном желобе ограничено из-за возможного закупоривания проходного сечения (перегрузка кусков с отношением $V/d_{cp} < 10$ не рекомендуется).

С другой стороны, даже при вышеуказанных ограничениях, перекрываемым внутренним сечением желоба K_z (коэффициент загрузки), из того же соображений, недопустимо более чем на 33%. Тогда частицы с отношением $V/d_{cp} = 10$ можно транспортировать не более, чем три слоя, при $V/d_{cp} = 20$ – не более, чем в 6 слоев и т.д. Это ограничивает производительность узлов перезагрузки или приводит к увеличению расхода металла из-за вынужденного изготовления желобов мелких размеров.

Отступление от вышеприведенных условий приводит к транспортировке сыпучей массы в желобах в переходном и несвязном режимах, что приводит к интенсивному пылевыведению из перегружаемых материалов и росту их эжектирующей способности и, как следствие, высокой увлажненности в атмосфере рабочих зон и промплощадок предприятий. Сохранение устойчивого связанного режима движения сыпучей массы может быть достигнуто

при перезагрузке ее в гравитационном желобе овальной формы, принципиальная схема которого представлена на рисунке 3.

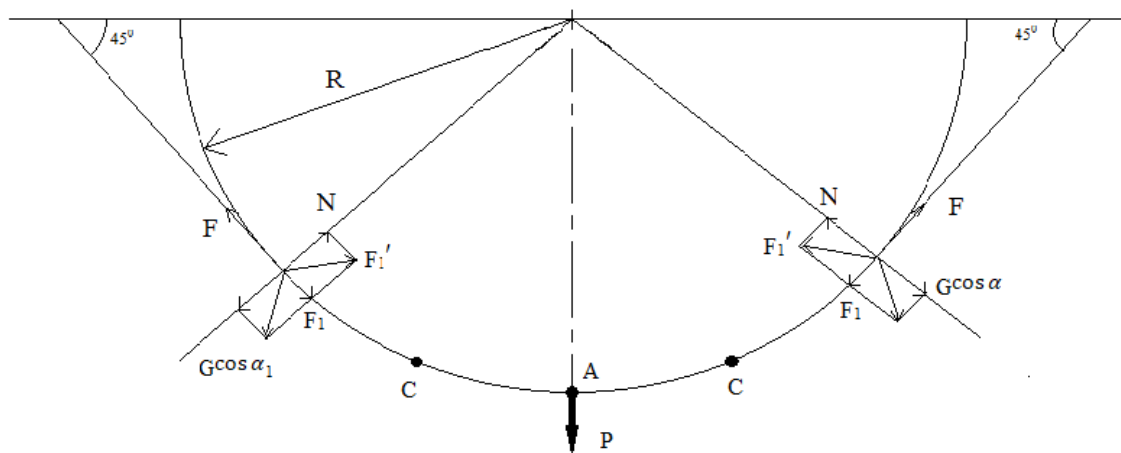


Рисунок 3 – Схема действия сил на сыпучий материал в желобе овальной формы

На рисунке 3 показано распределение сил действующих на сыпучую массу в овальном желобе, откуда видно, что сдвиг материала вниз- вбок желоба по внутренней боковой стороне, выполняется силой F_1 .

$$\vec{F} = \vec{P} \sin \alpha_1 \quad (19)$$

Но так как $\vec{P} = mg$, то

$$\vec{F}_1 = mg \sin \alpha_1, \quad (20)$$

При $\alpha_1 = 45^\circ$, $\vec{F}_1 = 0,71 mg$.

Если сыпучий материал будет расположен на уровне точки, то касательная к боковой стенке желоба в точке В представит угол 45° к горизонту, где

$$\vec{P} \cdot \sin \alpha_1 = \vec{P} \cdot \cos \alpha_1 \quad (21)$$

Как будет испытывать давление на сжатие по линиям на уровне действий сил $\vec{F}_1$. Силы $\vec{V}$ и $\vec{F}_1$ равны по абсолютным величинам. Сила $\vec{V}$ представляет вес материала в точке В и равна

$$\vec{V} = mg \cos \alpha_1 \quad (22)$$

При воздействии сыпучего материала на внутреннюю боковую стенку желоба на уровне ниже точки В – до точки А, сила $\vec{V}$ будет увеличиваются от $mg \cos \alpha_1$ до mg . Сила $\vec{F}_1$ уменьшается.

$$0 \leq \vec{F}_1 \leq mg \cos \alpha_1 \quad (23)$$

При понижении уровня загрузки сыпучей массы от точки В до А. В какой – то период времени он займет положение на уровне С, где сила $\vec{F}_p$ и $\vec{F}_1$ будут равны.

Касательная к боковой стороне желобе в точке С будет наклонена к горизонту под

углом внешнего трения перегружаемого материала. Тогда ниже уровня точки С самотечным движение материала к наклону желоба невозможно и сохранение условий для связного режима движения может не наблюдаться. Из рисунка видно, что равнодействующая сила тела, опирающегося на плоскость наклоненную под углом 45^0 разделяется на две силы: силу реакции плоскости $\vec{N}$ и силу движущегося тела вниз по овальной плоскости $\vec{F}$.

Откуда видно, что сила $\vec{F}_1$ сжимает сыпучую массу к вертикальной оси сечения желоба и по величине равна силе $\vec{V}$. Поэтому сила поперечного сечения желоба с углами наклона его боковых сторон равными 45^0 и основанием днища овальной формы с радиусом закруглены равным или больше $d_{\max}$ будет обеспечивать устойчивый связный режим движения сыпучего материала на всем пути перемещения при перегрузке, форма такого желоба показана на схеме рисунке(3).

На рисунке (3) видно, что сыпучий материал в таком желобе, при любом наклоне его заполнения (за исключением заштрихованной части, которой можно пренебречь) в процессе перемещения будет сжиматься с силой, максимальная величина которой равна $2\vec{F}_1$. Если учесть, что $\vec{F}_1 = \vec{V}$ то сжимающее усилие, направленное к вертикальной оси желоба будет равно

$$2\vec{F}_1 = 2\vec{V} \quad (24)$$

И так в результаты выполненных исследований видно, что углы внешнего трения сыпучих материалов, перемещающихся в связном режиме по наклонному желобу зависит в основном: от крупности, влажности и вида материала и определяют условия начала его самотечности транспортирования. Устойчивый связной режим движения сыпучей массы на всем пути перегрузки может быть обеспечен лишь в желобах с плоским, зауживающим к низу или овальным днищем. Выбор конфигурации желоба зависит ленточного длины и угла наклона.

Список литературы

1. Акимбеков А.К., Дрижд Н.А., Пивень Георг Г., Медеубаев Н.А., Жолмагамбетов С.Р. Отчет по этапу 5 региональной программы «Метан» в 2003 году. «Разработать предложения по совершенствованию технологии изоляционных работ погашенных и погашаемых горных выработок с целью снижения эмиссии метана из отработанных пространств на поверхность».
2. Акимбеков А.К., Дрижд Н.А., Пивень Георг Г., Медеубаев Н.А., Жолмагамбетов С.Р. Отчет КарГТУ по пункту 9 третьего этапа региональной программы «Метан 2003»: «Провести исследования и разработать предложения по предотвращению возможного самовозгорания угля в выработанных пространствах ликвидированных шахт».
3. Голицын А.Н. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды. – Москва.: ОНИКС. 2007. – 319 с.
4. Исследование геомеханического состояния горных пород в зонах подработки и разработка рекомендаций по дегазации выработанных пространств ликвидированных угольных шахт/Отчет по теме № Гос. Регистрации 0101РК00599. – Караганда, 2001. – 375 с.
5. Медеубаев Н.А., Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р. Шаңбөлшектердің аспирациялық жүйе ауақұбырының ішіне отырып қалу себептері // Труды университета / КарГТУ. Караганда. №4(61). 2015.
6. Медеубаев Н.А., Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р. Пылеобразование при транспортировании и перегрузке горной массы // Труды Международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производство – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №7) 10-11 декабря 2015 г. Караганда, 2015.

Известия КГТУ им. И.Раззакова 47/2018

7. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Медведев И.И., Рудничная аэрология. – М: Недра, 1978. – 431 с.