

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Butyrin P.G., Verkholtantsev F.G., Verkholtantsev A.V., Shulakov D.Y. Digital Seismic Logger "Ermak-5". Experience of Development and Implementation // Seismic Instruments. – 2019. – Vol. 55, № 2. – P. 117–128. DOI: 10.3103/S0747923919020051.
2. Шулаков Д. Ю., Бутырин П. Г., Верхоланцев А. В. Сейсмологический мониторинг Верхнекамского месторождения: задачи, проблемы, решения // Горн. журн. – 2018. – № 6. – С. 25-29. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.05
3. Дягилев Р.А., Богдан С.И., Барбиков Д.В. Влияние подземной разработки калийного месторождения на активность секущих тектонических нарушений // Развитие систем сейсмологического и геофизического мониторинга природных и техногенных процессов на территории Северной Евразии: материалы Междунар. конф., посвященной 50-летию открытия Центральной геофизической обсерватории в г. Обнинске / отв. ред. А.А. Маловичко; ФИЦ ЕГС РАН. – Обнинск, 2017. – С. 30.
4. Butyrin P., Shulakov D., Verkholtantsev P., Verkholtantsev A., Kichigin M. Seismic recorder "Ermak-5" as the part of the system of seismological monitoring of Verkhnekamskoe potash deposit // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM: 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM 2018, Bulgaria, 2-8 July. – Albena, 2018. – V. 18, № 1.1. – P. 963-970. DOI: 10.5593/sgem2018/1.1/S05.120

**РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА
И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА**

УДК 622.416

DOI: 10.7242/echo.2019.1.16

**РАБОТА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
В РУДНИКАХ**

Н.И. АЛЫМЕНКО

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассмотрена работа машин с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) на разных рудниках и в разные годы. Для снижения концентрации вредных компонентов в отработавших газах предложен и испытан нейтрализатор эжекторного типа. В результате испытаний эжекторного нейтрализатора на технологическом автотранспорте получено снижение концентрации вредных веществ в отработавших газах. Установлено, что температура отработавших газов недостаточна для эффективной работы каталитического нейтрализатора. При движении отработавших газов по горной выработке концентрация вредных компонентов в них снижается. Было предложено рассчитывать количество воздуха по фактору «выхлопные газы ДВС», исходя из фактической их концентрации.

Ключевые слова: горная выработка, двигатель внутреннего сгорания (ДВС), отработавшие газы, выхлопы ДВС, эжекторный нейтрализатор, каталитический нейтрализатор.

Введение

Множество разнообразных способов решения задач по снижению токсичности отработавших газов можно разделить на ряд групп, объединенных общими признаками.

К первой группе отнесем наиболее перспективные, связанные с качеством используемого топлива.

Ко второй отнесем меры, предпринимаемые перед выбросом уже из выпускной системы автомобиля, т.е. перед выбросом в атмосферу.

В третью группу мер следует выделить конструктивные усовершенствования, которыми могут снабжаться автомобили на стадии производства.

При очевидной эффективности усовершенствований, они не могут быть использованы на уже выпущенных автомобилях без их модернизации. Способом, альтернативным приведенным выше, может стать создание нейтрализатора отработавших газов ДВС эффективно действующего, простого по конструкции, не требующего частой замены. Устройством, удовлетворяющим этим признакам, является эжекторный нейтрализатор [11].

В Единых правилах безопасности разных лет определено: в выработки, где работают машины с ДВС, должен подаваться свежий воздух в количестве, обеспечивающем снижение концентрации вредных продуктов выхлопа до санитарных норм на 1 л.с. номинальной мощности дизельных и бензиновых двигателей [3, 12].

Стандарты ЕВРО

Вопрос расчета необходимого количества воздуха по фактору ДВС актуален, поскольку при постоянном увеличении количества машин с ДВС, используемых в технологическом процессе добычи полезных ископаемых подземным способом, возникают вопросы, связанные с проветриванием не только отдельных выработок, но и рудников (шахт). Качество выпускаемых ДВС улучшается и приняты соответствующие стандарты ЕВРО и Постановление правительства РФ от 12 октября 2005 года N 609 об утверждении специального технического регламента «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ» [9]. Законодательно установлено, какие стандарты и когда вступают в силу. Поэтому считаем целесообразным при проектных расчетах для автотракторной техники применять стандарты ЕВРО, которые показаны на рис. 1.

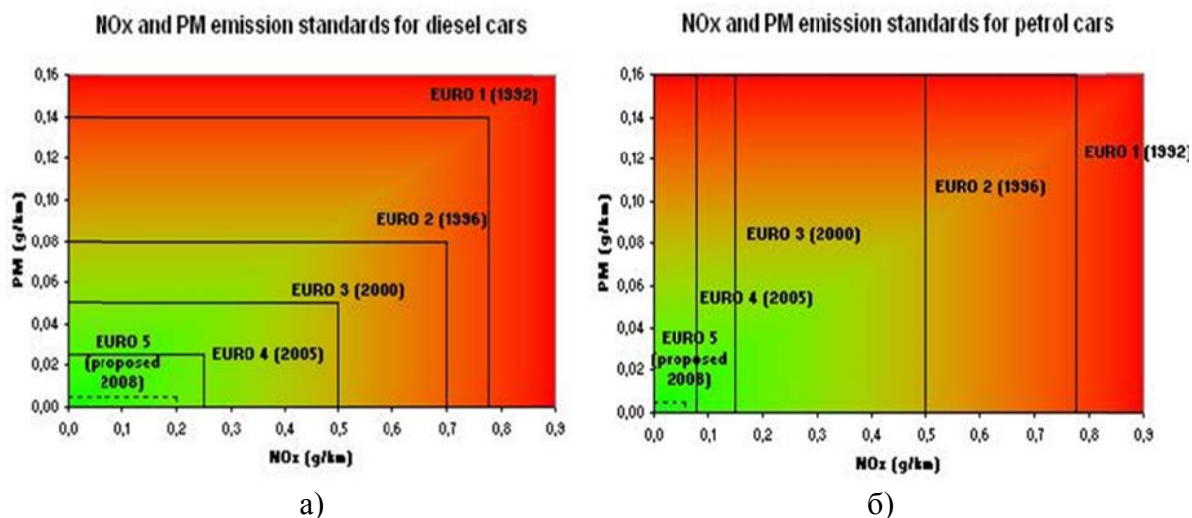


Рис. 1. Нормативы токсичности отработавших газов машин: а) с дизельными ДВС, б) с бензиновыми ДВС

Воздух в действующих выработках рудников, согласно Правилам безопасности, не должен содержать ядовитых газов (паров) больше предельно-допустимой концентрации (ПДК): окиси углерода (СО) 0,0017% по объему (20 мг/м³), окислов азота (оксиды азота) в пересчете на (NO₂) 0,00026% по объему (5 мг/м³), акролеина (С₃Н₄О) 0,000009% по объему (0,2 мг/м³) [3].

Рассмотрен анализ проб отработавших газов автотракторной техники на различных рудниках: ПАО «Уралкалий», РУП «ПО «Беларуськалий», «Дукат» ЗАО «Серебро

Магадана», «Многовершинный» ЗАО «Многовершинное», «Каральвеем» ОАО «Рудник Каральвеем», «Купол» ЗАО «Чукотская горно-геологическая компания», «Асачинский» ЗАО «Тревожное зарево» (при проектных работах) и шахте ОАО «Кнауф Гипс Новомосковский» с целью определения необходимого количества воздуха для разбавления вредных компонентов в выхлопных газах до санитарных норм при использовании технологического автотранспорта с ДВС в подземных условиях [2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 13].

Для погрузчика «Либхер» (шахты ОАО «Кнауф Гипс Новомосковский» – ДВС – Deutz F8L413PW) при расчете необходимого количества воздуха по фактору ДВС используют величину 0,99 м³/мин на 1 л.с. номинальной мощности ДВС.

На руднике «Дукат» ЗАО «Серебро Магадана» необходимое количество воздуха на машины с ДВС приведены на рис. 2.

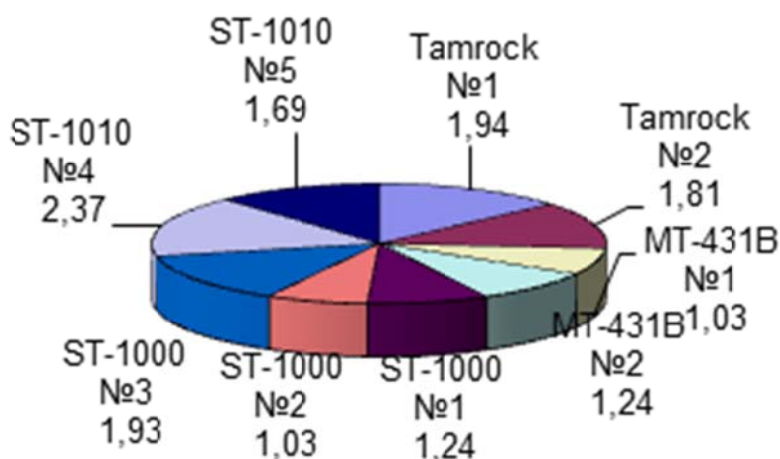


Рис. 2. Потребность в свежем воздухе м³/мин на 1 л.с. подземного технологического транспорта с ДВС рудника «Дукат»

Таблица 1

Снижение количества воздуха на 1 л.с. (1 кВт)
номинальной мощности ДВС согласно стандарту ЕВРО

ЕВРО-1 $Q_{1лс} = 4,0 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 1, 25$ ($Q_{1кВт} = 5,44 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 1, 25$)
ЕВРО-2 $Q_{1лс} = 3,5 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 1, 43$ ($Q_{1кВт} = 4,76 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 1, 43$)
ЕВРО-3 $Q_{1лс} = 3,0 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 1, 67$ ($Q_{1кВт} = 4,07 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 1, 67$)
ЕВРО-4 $Q_{1лс} = 2,5 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 2, 00$ ($Q_{1кВт} = 3,40 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 2, 00$)
ЕВРО-5 $Q_{1лс} = 2,0 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 2, 50$ ($Q_{1кВт} = 2,72 \text{ м}^3/\text{мин}$, $K = 2, 50$)

Эжекторный нейтрализатор ДВС:

Способы решения задач по снижению токсичности отработавших газов ДВС, как говорилось выше, могут быть разные. Был испытан нейтрализатор отработавших газов ДВС эффективно действующий, простой по конструкции, не требующий частой замены. Устройством, удовлетворяющим этим признакам, является эжекторный нейтрализатор (рис. 3 и 4). Подобный принцип используется и в вентиляторных эжекторных установках для рудников [1].

В качестве примера на рис. 6 показано сокращение содержания вредных компонентов в выбросах ДВС погрузчика ST-3.5R при работе эжекторного нейтрализатора.

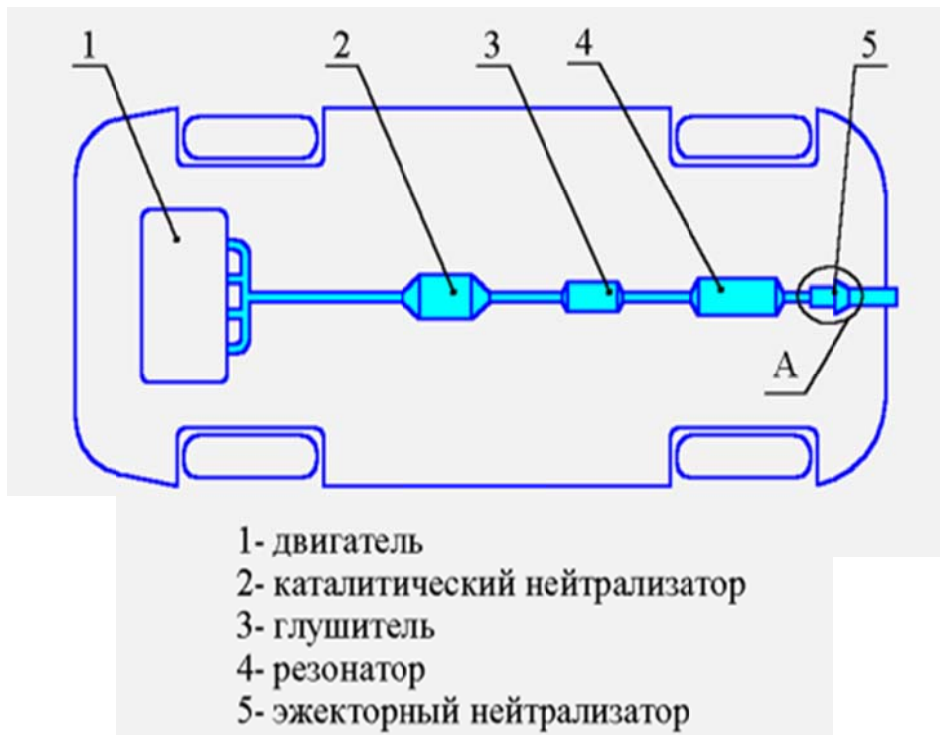


Рис. 3. Эжекторный нейтрализатор

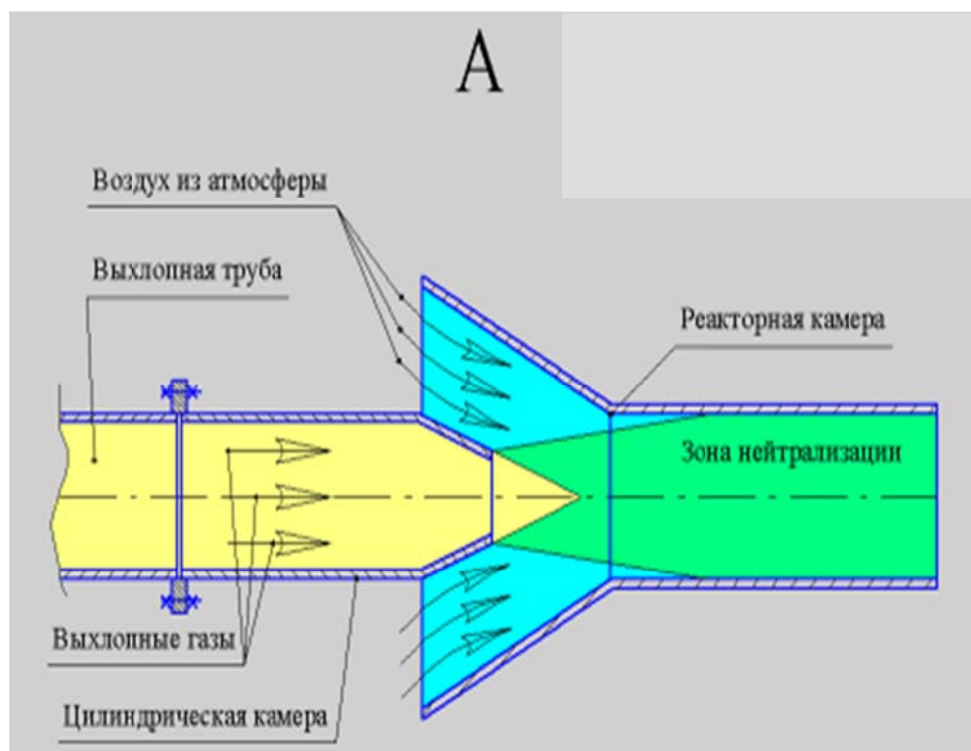


Рис. 4. Эжекторный нейтрализатор в системе схем отработавших газов ДВС



Рис. 5. Вертикальная установка эжекторного нейтрализатора выхлопных газов на погрузочно-доставочной машине МОАЗ 40484

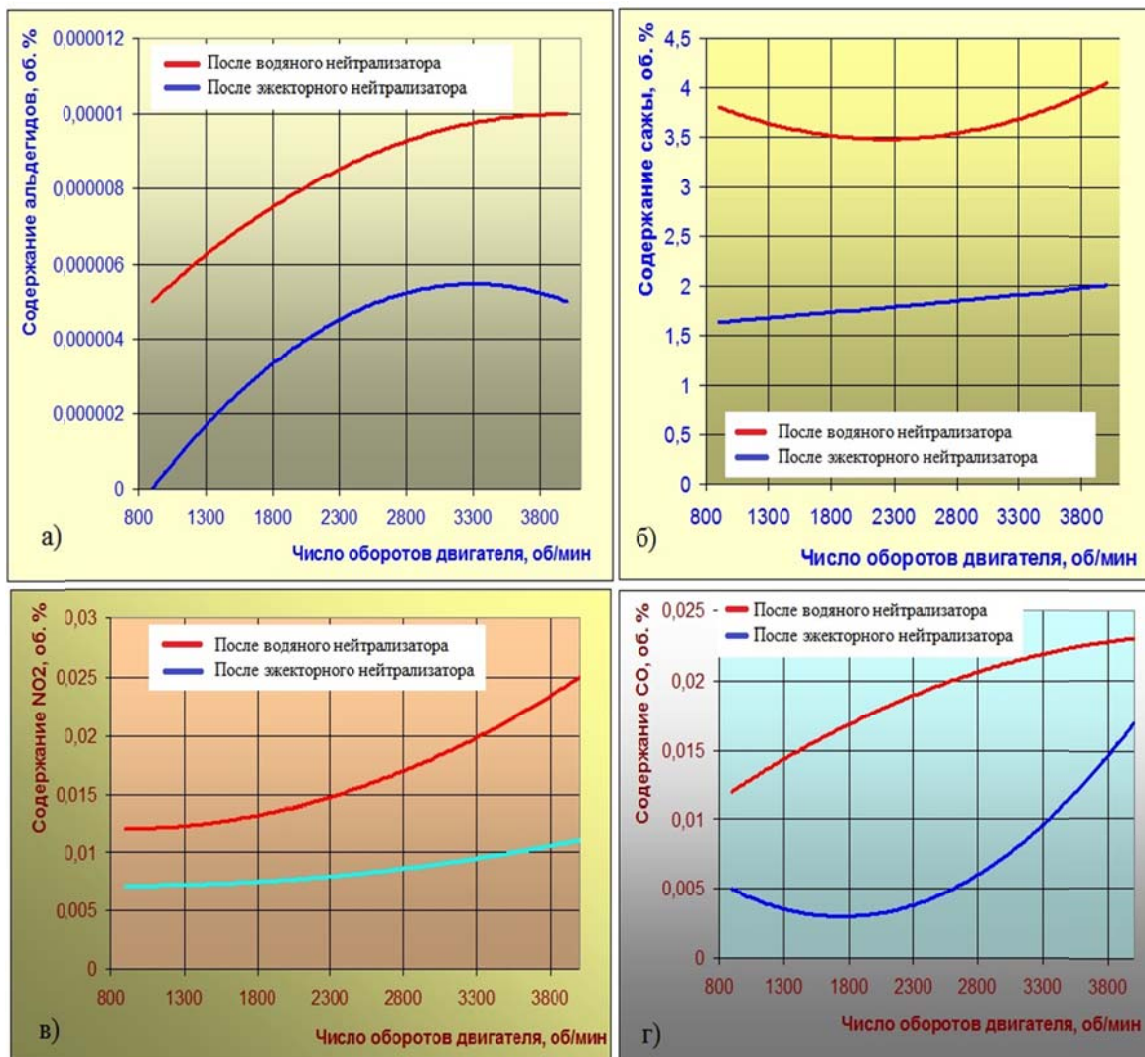


Рис. 6. Содержание вредных компонентов в выбросах ДВС погрузчика ST-3,5R при работе эжекторного нейтрализатора: а) содержание альдегидов; б) содержание сажи; в) содержание NO₂; г) содержание CO

Содержание CO и NO₂ в выхлопных газах на холостых оборотах двигателя

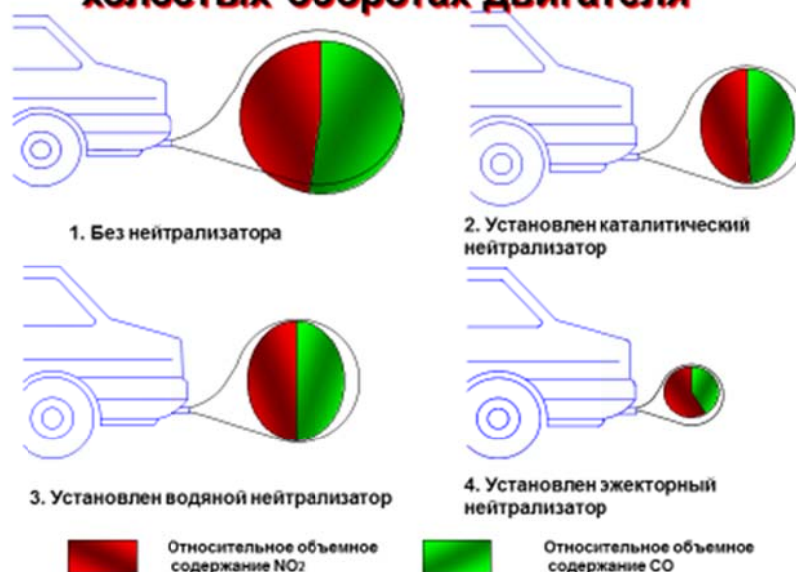


Рис. 7. Преимущества эжекторного нейтрализатора: эффективная нейтрализация отработавших газов ДВС, простота конструкции, низкая стоимость, неограниченный срок службы, применение на любых механизмах с ДВС, простота монтажа

Каталитический нейтрализатор:

работа на разных машинах; в нормальном виде может работать; в перевернутом виде не может работать; менять согласно инструкции; стоимость до 700000 руб.

Водяной нейтрализатор:

заправлен водой, токсичность, как после каталитического нейтрализатора, не заправлен водой, токсичность увеличивается в несколько раз.

На одном из рудников Старобинского месторождения после каталитического нейтрализатора необходимое количество воздуха на 1 л.с. номинальной мощности ДВС составляло 3,0 м³/мин, а после пустого водяного нейтрализатора – 9,8 м³/мин.

В мегаполисах движется большое количество транспорта с ДВС, и при отсутствии ветра общая концентрация отработавших газов может превышать ПДК по CO, NO₂ и другим вредным компонентам. В Москве (Ленинский проспект) в безветренную погоду превышение ПДК составляет: по CO – 2,8 раза, NO₂ – 2,5 раза. Предложен эжекторный нейтрализатор с изменяющимися параметрами: устройство для регулирования нейтрализации-разбавления отработавших газов двигателей внутреннего сгорания (патент РФ № 2406837).

Выводы

- на действующих рудниках необходимо выполнять по действительной концентрации вредных компонентов и объему отработавших газов машин с ДВС;
- норматив количества воздуха на 1 л.с. (1 кВт) номинальной мощности ДВС при проектных работах необходимо определять по стандарту ЕВРО установленного на автотракторной технике ДВС, либо по данным завода изготовителя техники с ДВС;

– для расчета необходимого количества воздуха при проектировании горных работ с использованием самоходного оборудования с ДВС проектным организациям необходимо обращаться на завод изготовитель автотракторной техники с официальным запросом о марке ДВС, применяемом топливе, используемых системах очистки отработавших газов и токсичности выхлопных газов;

– необходимо соблюдать требования по эксплуатации водяного нейтрализатора;

– в мегаполисах производить периодические замеры концентрации отработавших газов ДВС на основных магистралях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алыменко Н.И., Алыменко Д.Н., Коровин А.И., Пшеничников С.В. Вентиляторные эжекторные установки для рудников // Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 73-77.
2. Петров А.И., Алыменко Н.И., Каменских А.А. Переменный режим проветривания рабочей зоны. Технико-экономическое обоснование // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 9 (118). – С. 15-19.
3. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом: ПБ 03-553-03: Утв. Госгортехнадзором России 13.05.2003 г. / Федер. горн. и пром. надзор России – М.: Пром. безопасность, 2003. – 200 с.
4. Жегалин О.И., Лупачев П.Д. Снижение токсичности автомобильных двигателей. – М.: Транспорт, 1985. – 120 с.: ил.
5. Инструкция по безопасному применению самоходного (нерельсового) оборудования в подземных рудниках: Утв. Госгортехнадзором СССР 20.06.72 г. – М.: Недра, 1973. – 34 с.
6. Малов Р.В., Ерохов В.И., Щетина В.А., Беляев В.Б. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. – М.: Транспорт, 1982. – 200 с.: ил.
7. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Фаир-Пресс, 2002. – 550 с.: ил.
8. Павлова И.В. Автомобили, экономия, экология // Есть идея! – 1996. – № 8. – С. 4.
9. Об утверждении технического регламента «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ»: Постановление правительства РФ от 12 окт. 2005 года N 609 – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901950808>.
10. Правила технической безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь – Минск, 2006. – 143 с.
11. Способ нейтрализации отработавших газов двигателя внутреннего сгорания: пат. 2197621 Рос. Федерация: МПК⁷ F 01 N 3/34 / Алыменко Н.И., Нехорошков А.В., Алыменко Д.Н., Чистяков А.Н., Минин В.В., Южанин С.Н.; заявитель и патентообладатель ОАО «Сильвинит». – № 2001104330/06; заявл. 19.02.01; опубл. 27.01.03, Бюл. № 3. –
12. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Вып. 78: утв. 11.12.2013, № 32935. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. – 276 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03).
13. Якубовский Ю.С. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. – М.: Транспорт, 1979. – 198 с.

УДК 622.253

DOI: 10.7242/ЕСНО.2019.1.17

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕДОПОРОДНОГО ОГРАЖДЕНИЯ СТРОЯЩИХСЯ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ ПОСРЕДСТВОМ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ДАРСИ-СТЕФАНА

М.А. СЕМИН

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье рассмотрена двумерная двухфазная задача Дарси-Стефана применительно к проблеме искусственного замораживания обводненного породного массива при проходке шахтных стволов. Численное решение поставленной задачи получено с использованием метода конечных разностей на регулярной неоднородной сетке. Исследована зависимость времени смыкания ледопородного ограждения от