Science, society, progress

Proceedings of articles the III International scientific conference
Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow, 2018, October 20-21

Science, society, progress

Proceedings of articles the III International scientific conference

Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow, 2018, October 20-21

Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Kirov, 2018

UDC 001
BBK 72
N 76

Scientific editor

Gaponova Sofija Aleksandrovna, Doctor of Psychology, Professor of the Department of Psychology and Rehabilitation Technologies, Federal Research Clinical Center for Resuscitation and Rehabilitation, Russia, Moscow

Reviewers

Suhomlinova Marina Anatol'evna, PHD, Associate Professor, Department of English Philology, Southern Federal University

Zajachuk Tat'jana Vladimirovna, PHD, Associate Professor, Volga State Academy of Physical Culture, Sports and Tourism

Beljalova Mer'em Ametovna, PHD,Professor, Krasnodar Municipal Medical Institute of Higher Nursing Education

N 76 Science, society, progress: Proceedings of articles the III International scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow, 2018, October 20-21 [Electronic resource] / Editors M.A.Suhomlinova, T.V.Zajachuk, M.A.Beljalova. – Electron. txt. d. (1 file 4.2 MB). – Czech Republic, Karlovy Vary: Skleněný Můstek – Russia, Kirov: MCNIP, 2018. - ISBN 978-80-7534-191-4 + ISBN 978-5-00090-139-7.

Proceedings includes materials of the III International scientific conference «Science, society, progress», held in Czech Republic, Karlovy Vary-Russia, Moscow, 2018, October 20-21. The main objective of the conference - the development community of scholars and practitioners in various fields of science. Conference was attended by scientists and experts from Azerbaijan, Belarus, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Russia, Tajikistan, Ukraine.

ISBN 978-80-7534-191-4 (Skleněný Můstek, Karlovy Vary, Czech Republic)
ISBN 978-5-00090-139-7 (MCNIP LLC, Kirov, Russian Federation)

Articles are published in author's edition. Editorial opinion may not coincide with the views of the authors
Reproduction of any materials collection is carried out to resolve the editorial board

© Skleněný Můstek, 2018
© MCNIP LLC, 2018

Table of Contents

Section 1. Physics and Mathematics 9

Опрышко О.В. Расчёт газодинамических параметров трехмерных стационарных потоков 10

Section 2. Technology 18

Белозеров В.В., Колесников С.В. Модель автоматизированной системы пожаровзрывобезопасной и экологически чистой добычи угля в шахтах 19

Зотов В.М., Хавронина В.Н., Шишкина Е.В. Развитие деформаций в автомобильном колесе на твёрдой поверхности под действием крутильного момента 32

Кузьмин В.С. Испытания новых узлов сопряжения стеновых панелей серии КПД 97-2015 44

Лизунова Д.Д., Веретехина С.В. Программирование оптимизационной задачи по определению наименьшего расстояния от точек по поверхности параллелепипеда 51

Михайлов В.С., Пахмурин О.Р., Хамгушкеев М.С. Методика расчета несущих конструкций железобетонных зданий с учетом последовательности возведения и истории приложения нагрузки 71

Передельский Г.И., Филиппский И.А. Управляемый ключ на двух операционных усилителях 84

Персиянова А.А., Ткаченко Н.А. Термодинамический анализ состояния укладываемой асфальтобетонной смеси 92

Першина И.Л. Роль средовых факторов в формировании архитектурной геоники 98

Хамитова Я.В., Подрядова Т.Е., Рамазанова А.А., Хивинцева И.Ю. Анализ интеллектуальных транспортных систем, применяемых во время перевозки опасных грузов 104

Section 3. Economics 108

Карпикова М.О. Анализ и управление экологическими рисками как ключевые факторы экологической безопасности 109

Карпикова М.О. Имидж современного предприятия как фактор организационного развития 119

Ораметов Э.Д. Проблема и направление совершенствование транспортировки товаров через таможенные органы на основе логистического подхода в Республике Беларусь 126

Сорокина И.В., Плотникова И.А. Совершенствование системы ценообразования в строительстве 138

Филиппова Т.Я. Система закупок для государственных и муниципальных нужд и способы размещения заказов на поставку железобетонных изделий в условиях конкурентной среды 144

Чабанюк О.В. Факторный анализ инновационной деятельности предприятий малого бизнеса 158

Section 4. Philology 167

Сухомлинова М.А. Особенности лексического оформления текстов современного англоязычного академического эссе 168

Шихалиева С. Х., Курбанова С.М. Национальный корпус языка: критерии описания глагольной паронимии 180

Section 5. Legal Studies 184

Блохина О.А. Соглашение о разделе имущества супругов: проблемы теории и практики 185

Петров А.В., Горбатова М.К. О критериях ценностей правовой культуры 190

Section 6. Pedagogy 200

Асянова С.Р. Взаимодействие сотрудников полиции с участниками дорожного движения как форма определения уровня сформированности культуры безопасного поведения граждан на дорогах 201

Байтимирова А.Ф. Исследовательская деятельность школьников при профильном изучении курса физики 209

Белялова М.А. Воспитание человека культуры средствами этнопедагогики (на примере традиций крымскотарского народа)..... 217

Бурцева Е.Д. Программа управления процессом по выявлению и поддержке одаренных и талантливых учащихся общеобразовательной школы в условиях профилизации 225

Дивеева Г.В. Профессиональное становление молодого педагога в условиях образовательного пространства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры 237

Заячук Т.В. Методика формирования артистизма при подготовке женской тройки в спортивной акробатике на этапе совершенствования спортивного мастерства 243

Мартиросова Т.А., Малышева О.А. Формирование физического воспитания студентов в вузе 249

Нурушова А.Б. К вопросу о формировании функциональной грамотности в начальном общем образовании Российской Федерации и Республики Казахстан 255

Садыкова Т. Профессионально-педагогическая компетентность современного работника дошкольного образования 267

Section 7. Medicine 276

Альменова Л.Т., Бейсебаева У.Т., Колоскова Е.А., Хабижанов А.Б., Бердешева М.У. Клинико-демографические особенности течения псориаза у лиц казахской популяции 277

Хорева Е.А., Хорева О.В. Диабетическая полинейропатия, как осложнение сахарного диабета 290

Чумаев М.Ш., Пименова А.А., Синькеев С.В. Вопросы ортопедической стоматологии. Ортопедическое лечение пациентов с деформациями зубных рядов и прикуса у взрослых 300

Section 8. Art Criticism 306

Иванюк Е.А. Эволюция художественного метода скульптора М.К. Аникушина от ученичества к мастерству 307

Никитина Д.А., Баталина-Корнева Е.В. Анализ хоровых сцен в опере Д. Батина «Малахитовая шкатулка» 319

Пахтусова А.А. Этнографический туризм как способ сохранения и возрождения этнокультурного наследия..... 328

Section 9. Psychology 336

Гапонова С.А., Деветьярова И.Н. Развитие компетенции саморегуляции у подростков с девиантным поведением во внешкольной деятельности 337

Кузнецов Н.Д., Куценко Ю.Е. Стратегический менеджмент в игровых видах спорта на примере хоккея..... 346

Ловков С.Г. Динамика личностных смыслов студентов ВУЗа в процессе обучения 351

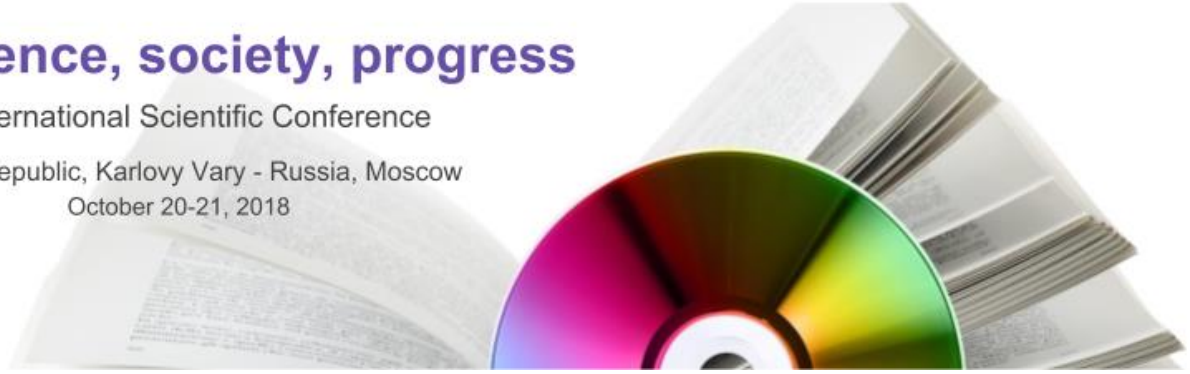
Усатов И.А. Исследование стрессоустойчивости сотрудников компании 357

Шутова Н.В., Баранкина А.Е. Особенности альтруистических установок личности представителей помогающих профессий (на примере сотрудников «Скорой медицинской помощи»)..... 368

Яхьяева А.Х. Когнитивные стили деятельности студентов в процессе обучения 375

Section 10. Earth Sciences 380

Евдокимов С.И. Динамика показателей конкурентоспособности Северо - Западного экономического района в периоды с 2001 г. по 2007 г. и с 2007 г. по 2017 г. 381



SECTION 1. PHYSICS AND MATHEMATICS

Science, society, progress
III International Scientific Conference
Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow
October 20-21, 2018

РАСЧЁТ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХМЕРНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ПОТОКОВ

ОПРЫШКО О.В.

РОССИЯ, НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ "МИФИ", СНЕЖИНСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Аннотация. В работе представлен расчет газодинамических параметров для восходящих закрученных потоков воздуха, типа торнадо и тропического циклона по данным натурных наблюдений из шкалы Фудзиты. Для системы уравнений газовой динамики рассматривается одна конкретная характеристическая задача Коши с начальными данными на горизонтальной плоскости $z=0$, являющейся контактной характеристикой кратности два. Газодинамические параметры находятся с использованием метода Рунге-Кутта.

Ключевые слова: система уравнений газовой динамики, характеристическая задача Коши, восходящие закрученные потоки воздуха, тропический циклон.

Введение

Исследованиями торнадо занимались и продолжают заниматься многие ученые. В работах [1 – 4], объясняются причины формирования, существования и естественного разрушения течения вихрей, а также присутствует обоснованный ответ на вопрос: откуда идет постоянный приток энергии. Баутиным С. П. была предложена [1] и обоснована (см. например [2, 3]) ранее не встречающаяся схема возникновения природных вихрей, для существования которых необходим постоянный приток энергии – сила инерции, вызванная вращением Земли вокруг своей оси – сила Кориолиса [1–4].

Целью данной работы является представление газодинамических параметров восходящего закрученного потока воздуха (ВЗП) на примере тропического циклона, возникающего и функционирующего в условиях действия сил тяжести и Кориолиса.

1. Постановка характеристической задачи Коши

Для системы уравнений газовой динамики (1.1) рассматривается одна задача Коши с начальными данными на горизонтальной плоскости $z=0$. Система уравнений газовой динамики при учете действия силы Кориолиса и силы тяжести в цилиндрической системе координат имеет следующий вид [1 – 4]:

$$\begin{cases} c_t + uc_r + \frac{v}{r}c_\varphi + wc_z + \frac{(\gamma-1)}{2}c\left(u_r + \frac{u}{r} + \frac{u_\varphi}{r} + w_z\right) = 0, \\ u_t + uu_r + \frac{v}{r}u_\varphi - \frac{v^2}{r} + wu_z + \frac{2}{(\gamma-1)}cc_r = av - bw\cos\varphi, \\ v_t + uv_r + \frac{uv}{r} + \frac{v}{r}v_\varphi + wv_z + \frac{2}{(\gamma-1)}\frac{c}{r}c_\varphi = -au + bw\sin\varphi, \\ w_t + uw_r + \frac{u}{r}w_\varphi + ww_z + \frac{2}{(\gamma-1)}cc_z = bu\cos\varphi - bv\sin\varphi - g. \end{cases} \quad (1.1)$$

где r – полярный радиус, φ – полярный угол в плоскости xOy; $c=\rho^{(\gamma-1)/2}$ – скорость звука газа; ρ – плотность; u,v,w – радиальная, окружная и вертикальная составляющие вектора скорости газа соответственно; $a=2\Omega\sin(\psi)$; $b=2\Omega\cos(\psi)$; $g=\text{const}>0$ ускорение свободного падения; γ – показатель адиабаты газа; Ω – модуль вектора скорости вращения Земли вокруг своей оси; ψ – широта точки, в которой находится центр полярной системы координат. Для системы (1.1) ставятся следующие начальные данные

(1.2), последнее из начальных условий (1.2) обеспечивает условие непротекания газа через плоскость $z=0$ [4,5].

$$\begin{aligned} &c(t,r,\varphi,z)\big|_{z=0}=c_0(t,r,\varphi),\\ &u(t,r,\varphi,z)\big|_{z=0}=u_0(t,r,\varphi),\\ &v(t,r,\varphi,z)\big|_{z=0}=v_0(t,r,\varphi),\\ &w(t,r,\varphi,z)\big|_{z=0}=0. \end{aligned} \tag{1.2}$$

2. Расчеты основных газодинамических параметров

Решение характеристической задачи Коши представлено, в виде бесконечного сходящегося рядя [2 – 4]:

$$\mathrm{U}(t,r,\varphi,z)=\sum_{k=0}^{\infty}\mathrm{U}_k(t,r,\varphi)\frac{z^k}{k!},\qquad \mathrm{U}_k(t,r,\varphi)=\frac{\partial^k\mathrm{U}(t,r,\varphi,z)}{\partial z^k}\Big|_{z=0}, \tag{1.3}$$

где вектор U имеет в качестве координат функции c,u,v,w. В настоящей работе рассматривается стационарное течение, когда $\partial/\partial t=0$, и зависящее от пространственных координат r,φ,z. Из бесконечного ряда учитывается конечное число слагаемых:

$$\begin{cases} c=c_0+c_1z+c_2\dfrac{z^2}{2}+c_3\dfrac{z^3}{6}+c_4\dfrac{z^4}{24},\\ v=v_0+v_1z+v_2\dfrac{z^2}{2}+v_3\dfrac{z^3}{6},\\ u=u_0+u_1z+u_2\dfrac{z^2}{2}+u_3\dfrac{z^3}{6},\\ w=w_0+w_1z+w_2\dfrac{z^2}{2}+w_3\dfrac{z^3}{6}+w_4\dfrac{z^4}{24}. \end{cases} \tag{1.4}$$

при этом, $w_0=0$ и дополнительно полагается, что $w_1=0$.

Для нахождения газодинамических параметров: *c* – скорости звука газа, *v* – окружной и *u* – радиальной скорости ветра восходящего потока будем учитывать первые два слагаемых для нахождения каждого параметра из (2.2), с учетом нулевого и первого индекса.

С помощью метода Рунге-Кутта численно определяются значения параметров: c_0, u_0, v_0 при решении задачи Коши (2.3) [1 – 4].

$$\begin{cases} c_0' = -\dfrac{(\gamma-1)}{2} c_0 \dfrac{\left[u_0^2 + \dfrac{a^2\left(r_{in}^4 - r^4\right)}{4r^2}\right]}{r\left(u_0^2 - c_0^2\right)}, \\ u_0' = u_0 \dfrac{\left[u_0^2 + \dfrac{a^2\left(r_{in}^4 - r^4\right)}{4r^2}\right]}{r\left(u_0^2 - c_0^2\right)}, \\ c_0(r)\big|_{r=r_{in}} = 1, \\ u_0(r)\big|_{r=r_{in}} = u_{in}. \end{cases} \tag{1.5}$$

$$v_0 = \frac{a\left(r_{in}^2 - r^2\right)}{2r}, \; v_0\left(r_{in}\right) = 0, \; a = 2\Omega \sin\psi$$

Параметры с первыми индексами можно определить из (2.4) и более подробно описаны [1 – 4].

$$\begin{aligned} c_1(r,\varphi) &= c_{10}(r) + c_{11}(r)\cos(\varphi) + c_{12}(r)\sin(\varphi), \\ u_1(r,\varphi) &= u_{10}(r) + u_{11}(r)\cos(\varphi) + u_{12}(r)\sin(\varphi), \\ v_1(r,\varphi) &= v_{10}(r) + v_{11}(r)\cos(\varphi) + v_{12}(r)\sin(\varphi). \end{aligned} \tag{1.6}$$

Для нахождения *w* – вертикальной скорости ветра будем учитывать только третье слагаемое из 4-го равенства (2.2), которое в свою очередь выражается по следующей формуле:

$$w_2(r,\varphi) = w_{20}(r) + w_{21}(r)\cos(\varphi) + w_{22}(r)\sin(\varphi). \qquad (1.7)$$

Способ определения параметров со вторыми индексами подробно представлен в [2 – 4].

3. Результаты расчетов и выводы

В данном пункте будут представлены результаты расчета основных газодинамических параметров: $c = c_0 + c_1 z$, $u = u_0 + u_1 z$, $v = v_0 + v_1 z$ и $w = w_2 z^2/2$ для тропического циклона при значении высоты $z = 10, 50$ и 100 м. Основные характеристики тропического циклона средней интенсивности взяты из шкалы Фудзиты [6] и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные из шкалы фудзиты

Класс торнадо	радиус стока r_0, м	$\lvert \vec{V} \rvert$ скорость ветра, м/с
Тропический циклон	3650	53.49

В таблице 1: r_0 – радиус стока торнадо и $\lvert \vec{V} \rvert$ – вектор скорости ветра, который состоит из двух компонент: окружной и радиальной $\lvert \vec{V} \rvert = \sqrt{u^2 + v^2}$. Расчет газодинамических параметров реализован с помощью численного метода Рунге-Кутта четвертого порядка точности. Для расчетов использовалась пространственная сетка, в области $r \in [r_0, r_{in}]$, где: r_{in} – внешний радиус торнадо, с шагом $h = (r_{in} - r_0)/n$, где $n = 10^6$ – число интервалов.

На рисунках 1 – 4 представлены поверхности газодинамических параметров *c*, *u*, *v*, *w* в декартовых координатах *xOy* с траекторией движения частиц.

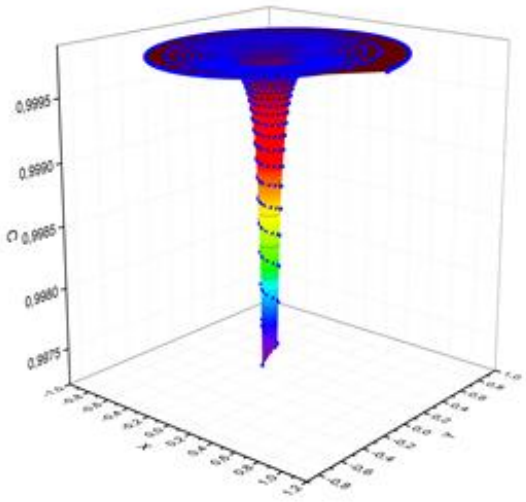


Рисунок 1 Скорость звука газа, тропический циклон

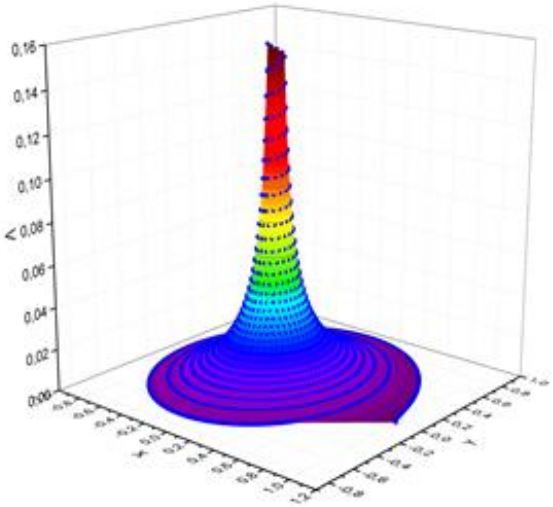


Рисунок 2 Окружная скорость ветра, тропический циклон

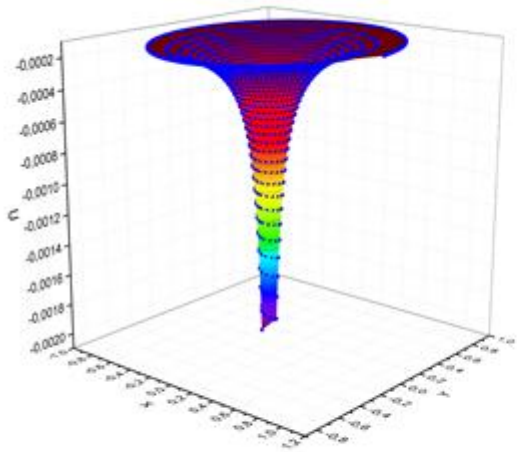


Рисунок 3 Радиальная скорость ветра, тропический циклон

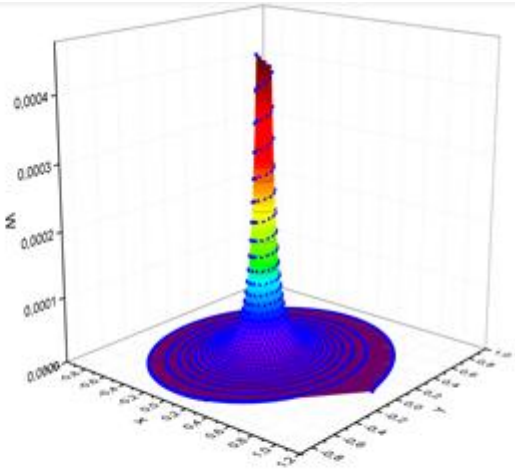


Рисунок 4 Вертикальная скорость ветра, тропический циклон

Значение скорости звука газа c (рис 1.) убывает при приближении к радиусу r_0, значит, убывают значения плотности и давления газа. Величина c меняется от размерного значения 333 до 332.1 м/с, что соответствует изменению в 1%. При значении высоты $z = 50$ м, $c = 331.86$ м/с, при $z = 100$

м, $c = 331.57$ м/с. Таким образом, в центре ВЗП находится область пониженного давления газа.

Радиальная составляющая вектора скорости газа u (рис. 2) имеет отрицательный знак, т.е. газ движется к центру стока. Основные изменения радиальной компоненты происходят вблизи радиуса стока r_0. Радиальная скорость ветра возрастает от 0.033 до 0.67 м/с. При значении $z = 50$ м, $u = 0.68$ м/с, при $z = 100$ м, $u = 0.67$ м/с. Наличие области пониженного давления ускоряет стремление (падение) газа в центр ВЗП.

Окружная составляющая вектора скорости газа v (рис. 3) возрастает до безразмерного значения 0.16, что соответствует величине 52.94 м/с. Положительное значение окружной компоненты говорит о том, что закрутка газа направлена против часовой стрелки. Частица газа при движении к центру успевает совершить около 35 полных оборотов вокруг стока торнадо. При значении $z = 50$ м, $v = 52.94$ м/с, при $z = 100$ м, $v = 52.93$ м/с.

На рис. 4 представлена поверхность вертикальной скорости ветра *w.* Она возрастает до безразмерного значения 0.0004, что соответствует размерной величине 0,15 м/с. Воздушная масса в придонной части тропического циклона средней интенсивности до высоты 50 – 100 м движется практически горизонтально. При значении $z = 50$ м, $w = 3.76$ м/с, при $z = 100$ м, $w = 15.06$ м/с. С увеличением высоты, увеличивается вертикальная составляющая вектора скорости торнадо при том, что окружная и радиальная компоненты остаются практически неизменны.

Таким образом, были проведены научное исследование и анализ газодинамических параметров восходящих закрученных потоков типа торнадо и тропического циклона, значения которых необходимы для расчета кинетической энергии ВЗП [7].

Список литературы:

1. Баутин С.П. Торнадо и сила Кориолиса. Новосибирск: Наука, 2008. 96 с.
2. Баутин С.П., Обухов А.Г. Математическое моделирование разрушительных атмосферных вихрей. Новосибирск: Наука, 2012. 152 с.
3. Баутин С.П., Крутова И.Ю., Обухов А.Г., Баутин К.В. Разрушительные атмосферные вихри: теоремы, расчеты, эксперименты. Новосибирск: Наука, 2013. 216 с.
4. Баутин С.П., Дерябин С.Л., Крутова И.Ю., Обухов А.Г. Разрушительные атмосферные вихри и вращение Земли вокруг своей оси. Екатеринбург: УрГУПС, 2017. 355 с.
5. Баутин С.П. Характеристическая задача Коши и её приложения в газовой динамике. Новосибирск: Наука, 2009. 368 с.
6. Tatom F.B., Witton S.J. The transfer of energy from tornado into the ground Seismological // Research Letter. 2001. V.~72. №.~1. Pp.~12.
7. Крутова И.Ю., Опрышко О.В. Расчет кинетической энергии течений в придонной части торнадо и тропического циклона. //Препринт. Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ. 2018. 45 с.

SECTION 2.

TECHNOLOGY

Science, society, progress
III International Scientific Conference
Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow
October 20-21, 2018

Модель автоматизированной системы пожаровзрывобезопасной и экологически чистой добычи угля в шахтах

Белозеров В.В., Колесников С.В.

Россия, Донской государственный технический университет

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы диагностики и подавления пожаровзрывоопасности угольных шахт и обеспечения экологически безопасной добычи угля. Исследованы крупнейшие аварии, произошедшие на угольных шахтах России. Проанализированы принципы локализации взрывов автоматическими системами и средствами индивидуальной защиты. Синтезирована модель автоматизированной системы, которая, во-первых, реализует альтернативный способ вентиляции шахты – самоприток, во-вторых, создает и поддерживает «пожарозвзрывобезопасную атмосферу» в каждом штреке, удаляя для переработки на поверхности по отдельным трубопроводам, кислород–парамагнетик и остальные шахтные газы-диамагнетики, оставляя и регулируя градиент концентрации азота в штреке таким образом, чтобы взрывы и пожары стали невозможными. При этом шахтеры оснащаются СИЗОДЗ, которые работают на принципе термомагнитной сепарации окружающего воздуха и обеспечивают 20% содержание кислорода, при его концентрации в штреке не менее 5%.

Ключевые слова: взрыв, угольная шахта, авария, средства индивидуальной защиты горняков, локализация взрыва, метан, угольная пыль, термомагнитная сепарации воздуха.

Abstract. In this article methods of diagnostics and suppression of fire-and-explosion hazard of coal mines and ensuring ecologically safe coal mining are considered. The largest accidents which have happened on coal mines of Russia are investigated. The principles of localization of explosions are analyses by automatic systems and individual protection equipment. The model of the automated system which, firstly, realizes an alternative way of ventilation of the mine is synthesized – self-inflow, secondly, creates and supports " the fire safety and explosion-proof atmosphere" in each drift, deleting for processing on a surface on separate pipelines, oxygen paramagnetic and other mine gases-diamagnetics, leaving and regulating a gradient of concentration of nitrogen in a drift so that explosions and the fires became impossible. At the same time miners are equipped with individual protection equipment of respiratory organs and sight (SIPEROS), which work at the principle of thermomagnetic separation of air and provide 20% the content of oxygen, at its concentration in a drift not less than 5%.

Key words: explosion, coal mine, accident, means of individual protection of miners, localization of the explosion, methane, coal dust, thermomagnetic separation of air.

По добыче угля Россия занимает второе место в мире с показателем чуть более 157 млрд. тонн, из которых на долю каменного угля приходится 49.1 млрд. тонн или 31.2%. Добыча угля ведется в 25 субъектах Российской Федерации: Кузнецкий бассейн — 52%; Канско-Ачинский — 12%; Печорский — 5%; Восточный Донецкий — 3%; Южно-Якутский — 3% от общей добычи [7].

Горнодобывающая промышленность является одной из наиболее загрязняющих воздушный бассейн отраслей. Так, например, в 1999 году предприятиями угольной промышленности было выброшено в атмосферу 620,8 тыс. т вредных веществ, в том числе 443,5 тыс. т метана, в 2004 г. объем выброшенного в атмосферу метана возрос до 660,7 тыс. тонн [11].

В тоже время в европейских странах такие «бесполезные» газы, как конверторный, коксовый, ферросплавный, шахтный метан и газ мусорных свалок давно стали обычным топливом, на котором уже десятками лет

вырабатываются электроэнергия, пар и горячая вода, что делает актуальным разработку способов и систем в этой области [14].

Общепринятым в мировой практике горного дела является метод предупреждения взрывов метана в шахтах, путем интенсивной вентиляции [12], который предусматривает постоянную подачу в горные выработки свежего воздуха для снижения концентрации выделяющегося метана до значений, меньших нижнего предела взрываемости (менее 5 %).

Недостатком этого метода являются, во-первых, высокие единовременные и эксплуатационные затраты на его осуществление, во-вторых, невозможность дальнейшего использование этого горючего газа (например, для получения тепла, электроэнергии), т.к. подаваемый в шахту воздух разбавляет метан, и в-третьих, низкая эффективность, т.к. при существующих ограничениях по скорости движения воздуха в горных выработках, в шахтах образуются и взрываются скопления метана (например, при высокой интенсивности поступления метана, при суфлярных выделениях, при выбросах угля и сопутствующих газов), что подтверждает нижеприведенный анализ крупнейших аварий на них.

«**Тайжина**» (Осинники, Кемеровская обл.) 10 апреля 2004 год.

К аварии привела совокупность факторов: из-за обрушения породы был поврежден силовой кабель, в условиях сильной загазованности возникла искра, которая и вызвала взрыв, от чего погибли 47 горняков. Применяемая на газовых шахтах система газовой защиты – стационарная аппаратура АМТ-3 и «Метан» физически и морально устарела. Системы орошения отечественных выемочных и проходческих комбайнов не обеспечивают эффективное пылеподавление и защиту от воспламенения метановоздушной смеси в результате фрикционного искрения при выемке угля [1].

«**Юбилейная**» (Новокузнецк, Кемеровская обл.) 24 мая 2007 год.

Причина: короткое замыкание, возникшее из-за соединения кабелеукладчика с комбайном гибкой тягой, которая не соответствовала заводскому исполнению. Расследовавшая аварию комиссия установила, что датчики, оповещающие о повышении концентрации метана, оказались неработоспособными. Последствия - 39 погибших. На шахте применялась сланцевая пылевзрывозащита, и, наряду с со сланцевыми заслонами были установлены системы взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ. Системы АСВП-ЛВ №05-117 и №05-131 защищали сопряжение Восточного конвейерного бремсберга с Путевым уклоном пл.16, а система АСВП-ЛВ №06-313 защищала сопряжение Путевого уклона пл.16 с конвейерным штреком 16-15. Взрыв МВС и угольной пыли за системами АСВП-ЛВ был локализован, а за ними не погиб ни один человек, все 39 погибших находились в сети горных выработок, которые защищались сланцевыми заслонами [1].

«**Ульяновская**» (Усковская», Новокузнецк, Кемеровская обл.) 19 марта 2007 г.

Причина: Скопление газа произошло из-за того, что рабочие по указанию руководства отключили газозащитное оборудование. Причиной взрыва стала искра, которая возникла при повреждении комбайнового кабеля. Последствия - 110 погибших. На шахте применялась сланцевая пылевзрывозащита, и, наряду с более чем 15-ю сланцевыми заслонами были установлены системы взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ. Следует обратить внимание на тот факт, что системы АСВП-ЛВ были установлены таким образом, что защищали только от взрыва, который мог выйти только из очистного забоя [2].

«**Распадская**» (Междуреченск, Кемеровская обл.) 8-9 мая 2010 год.

Причина: произошли два взрыва метана. В момент первого взрыва под землей находились 359 шахтеров, 276 были выведены на поверхность. Для проведения спасательных работ в шахту было направлено 9 отделений горноспасателей - всего 54 человека. В это время произошел второй, более мощный взрыв, разрушивший наземные сооружения шахты. Последствия: 91 погибший, порядка 100 получили ранения. Тела 11 погибших так и не были найдены. Восстановить добычу угля на шахте в полном объеме удалось только в конце 2014 года.

Взрывозащита шахты осуществлялась автоматической системой типа АСВП-ЛВ с пассивными заслонами, которые зачастую взрыв не локализуют, и взрывная волна распространяется по протяженной сети горных выработок, в связи с чем, все работавшие в шахте в момент аварии люди погибли, а взрыв вышел на поверхность, разрушив копер [7,15].

«**Северная**» (Воркута, Республика Коми) 25 февраля 2016 год.

Причина: на глубине 780 м произошел внезапный выброс метана и два взрыва, повлекшие обрушение породы. Во время спасательной операции ночью 28 февраля произошел третий взрыв. В этот момент под землей находились 111 человек. В первые часы удалось вывести на поверхность 81 горняка, из них шестеро были госпитализированы. В результате третьего взрыва погибли пять горноспасателей и работник шахты, еще пять человек получили ранения. Для локализации возможных взрывов метана и угольной пыли на шахте были установлены современные взрыволокализующие заслоны на базе автоматических систем АСВП-ЛВ.1М [1,8]

Автоматическая система СЛВА была разработана на Украине и поставлялась на угольные шахты России. Она предназначена для подавления воспламенения метана для предотвращения взрыва метана и (или) угольной пыли в начальной стадии его развития в горных выработках

угольных шахт путем принудительной подачи огнетушащего порошка в зону очага воспламенения. Системы СЛВА состоят из двух или трёх, в зависимости от сечения выработки, взрывоподавляющих устройств, датчиков пламени с фотоприемником излучения, блока обработки информации, служащего для преобразования сигнала от датчиков пламени, выдачи импульса тока на электровоспламенители газогенерирующих зарядов взрывзрывоподавляющих устройств, контроля и сигнализации состояния электронной части системы и сетевого источника питания (Разрешение на изготовление и применение Госгортехнадзора России №РРС 04-7908 от 25.02.2007). К недостаткам этой системы можно отнести наличие автономного блока питания, а также то, что при работе в режиме «ожидания» на поверхность стекла датчиков осаждается слой пыли, что снижает надежность действия всей системы [8,10].

Автоматические системы взрывоподавления-локализации взрывов типа АСВП-ЛВ.1М представляют собой автономное устройство. Система полностью автономна, снаряжается огнетушащим порошком массой 25 кг и имеет емкость со сжатым воздухом высокого давления. Система не требует подачи внешнего электропитания, не имеет в составе пиротехнического заряда, компактна и легко крепится к специально установленным анкерам или к элементам крепи. Системы АСВП-ЛВ(.1М) устанавливаются в направлении распространения возможного взрыва, приемными щитами в сторону прихода ударной воздушной волны. Система АСВП-ЛВ.1М работает в ждущем режиме и приводится в действие ударной воздушной волной (УВВ), образованной в результате взрыва метано-пылевоздушной смеси. От воздействия УВВ на приёмный щит АСВП-ЛВ.1М происходит динамическое выбрасывание в пространство горной выработки огнетушащего порошка энергией сжатого воздуха, находящегося под высоким давлением в рабочей полости системы (Патент РФ на изобретение № 2342535 от 14.05.2007) [8].

ВЗЛ(У) «СТАРТ» разработана и выпускается ООО «НПП «Шахтпожсервис». Данное оборудование представляет собой автоматическую водяную завесу (АВЗ), укомплектованную дополнительными сетчатыми преградами, призванными уменьшить давление на фронте ударной воздушной волны от возможного взрыва метана или угольной пыли. Данное устройство ошибочно называют устройством локализации взрывов, т.к. согласно своим конструктивным особенностям оно относится к средствам предупреждения взрыва (Разрешение на изготовление и применение Госгортехнадзора России № РРС 04-7908 от 25.02.2011). Однако нет сведений об эксплуатации данного устройства в условиях действующей угольной шахты и его реальной эффективности [15].

Известен способ *предупреждения взрывов* метана в шахтах, включающий: изоляцию горных выработок, в которых выделяется метан, от притока свежего воздуха, заполнение их инертным газом, для снижения концентрации кислорода до взрывобезопасных значений (8 %), а затем повышение концентрации метана за счет выделения его из добываемого угля, выработанного пространства и вмещающих пород до значений, превышающих верхний предел взрываемости метана (более 15 %). Такую «инертно-метановую атмосферу» изолированных горных выработок откачивают, постоянно поддерживая небольшое избыточное давление газа по сравнению с атмосферным давлением на земной поверхности.

К недостаткам этого способа относятся: высокие и непроизводительные единовременные и эксплуатационные затраты и технологические потери (времени) при осуществлении изоляции горных выработок: на установку стен/перегородок со специальными шлюзами для доставки людей и грузов, на специальное исполнение работающих механизмов и электроаппаратуры для метановой среды, на изолирующую дыхательную аппаратуру с ограниченным ресурсом времени для работы людей, на закачку инертного газа с поверхности [13].

Известен *способ биотехнологической защиты*, в котором метан из атмосферы горных выработок потребляется метанокисляющими бактериями. Недостатками этого способа являются: высокие единовременные и эксплуатационные затраты на его осуществление и низкая эффективность использования в шахтах с высокой интенсивностью выделения метана, биотехнологические проблемы по приготовлению и использованию метанокисляющих бактерий, невозможность предотвращения загорания и взрыва от выбросов угля и других горючих газов, кроме метана (например, водорода, сероводорода и т.д.) [5].

Представляет интерес *«Безопасная угольная шахта Золотарева для отработки газоносных пожароопасных пластов»* [9], в которой предусматривается одновременное ведение горных работ в трех выемочных столбах, нарезаемых по простиранию пласта от центрального трехсекционного наклонного ствола, по которому поступает свежий воздух, до трех изолированных друг от друга фланговых наклонных стволов, по которым раздельно отводят исходящую струю от проходческих работ, от очистных работ и метановоздушную смесь из выработанного пространства, а забой располагают в нижнем выемочном столбе. Недостатком такой системы проектирования и эксплуатации угольных шахт являются огромные непроизводительные единовременные и текущие затраты (на проходку верхнего выемочного столба, с базированием на фланговый ствол, промежуточного штрека и двухсекционного штрека с разделительной, перфорированной проемами, закладочной бетонной стенкой; на проходку среднего выемочного столба, для проведения дегазационных работ по предварительному отсосу метана из угольного пласта и горного массива с размещением буровых станков и дегазационного вакуумного трубопровода на ранее пройденном двухсекционном штреке с обособленным проветриванием и т.д.), которые не могут окупиться использованием, получаемой *«исходящей воздушной струи с*

содержанием дегазационного метана не более 1%, в газопоршневой электростанции» на поверхности.

Известна установка для уменьшения взрывоопасности угольных шахт, которая содержит компрессор, воздухозаборное устройство, размещённое в непосредственной близости от угольного комбайна, систему из двух вихревых охладителей для сжижения метана, отделитель жидкого метана от воздуха, баллон или трубу для удаления сжиженного метана из шахты Недостатком данной установки является, во-первых, большая энергоемкость и высокие непроизводительные единовременные и текущие затраты взрывоопасного исполнения двух вихревых газоохладителей, работающих под высоким давлением, а также на криогенный трубопровод жидкого метана, во-вторых, «убирая только метан», установка не регулирует газовый состав и не создаёт взрывопожаробезопасную воздушную среду в забое, а в-третьих, применение её в штреках горных выработок экономически не эффективно, т.к. при малых просачиваниях метана, эксплуатация такой высокопроизводительной системы будет убыточной, а при возникновении пожара от других горючих газов или угольной пыли, данная установка и криогенный трубопровод только повысят пожарную опасность, т.к. при воздействии на них высокой температуры появляется вероятность выброса и воспламенения метана из них [18].

Наиболее близким к разработанному методу, т.е. прототипом по способу (флегматизация) и типу инертного газа (газообразный азот), является способ вентиляции шахтной атмосферы, заключающийся в том, что в шахту периодически в зависимости от превышения уровня метано- и пылевыделения подают инертный газ, для предотвращении пожаро- и взрывоопасных ситуаций, а шахтеры оснащаются индивидуальной изолирующей баллонной дыхательной аппаратурой, заправку баллонов которой атмосферным воздухом осуществляют централизованной из

специальных трубопроводов в шахте. К основным недостаткам прототипа, относятся, во-первых, высокие единовременные и эксплуатационные затраты на «поверхностное» оборудование (азотной станции, компрессорной и т.д.) и сети трубопроводов высокого давления, во-вторых, необходимость перезаправки баллонов для шахтеров, в-третьих, низкая эффективность в шахтах с высокой интенсивностью поступления метана (суфлярными выделениями, выбросами угля и горючих газов), т.к. из-за отсутствия «отсоса» и удаления выделяющихся газов, флегматизация газообразным азотом «не успевает» понизить взрывопожароопасную концентрацию до безопасного уровня, а, в-четвертых, «сброс» выделяющихся в шахте газов в атмосферу [17].

В качестве способов и средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) горняков обычно применяются фильтрующие и изолирующие противогазы [ПФСГ-98 СУПЕР, КИП-8 и др. - http://www.fc01.spb.ru/katalog/resp/izolir.html]. Однако общим недостатком их применения является ограниченность времени непрерывной работы в них, а также значительный вес и неудобство при выполнении работ, в т.ч. из-за необходимости периодической перезарядки (фильтров в ПФСГ-98, дыхательной смеси в КИП-8 и т.д.).

Принимая во внимание тот факт, что угольная пыль является причиной профессиональных заболеваний шахтеров (пылевых бронхитов и ишемической болезни), одной из задач повышения безопасности горняков в шахтах, является защита их не только от метановых выбросов и других токсичных газов, но и от пылеобразования [16].

Таким образом, разработка метода и приборов обеспечения безопасности горняков и шахт, построенных, в отличие от других способов [6], на принципах термомагнитной сепарации воздуха (ТМСВ) на кислород - парамагнетик и азот с остальными атмосферными газами –

диамагнетиками, может принципиально по-новому [3] решить проблемы экологической и пожаро-взрывобезопасности шахт [4].

Как следует из блок-схемы (рис.1) модель автоматизированной системы обеспечения пожаровзрывобезопасной и экологически «чистой» добычи угля в шахтах, базирующаяся на ТМСВ - СИЗОДЗ и ТМСВ-ГРДМ, в отличие от существующих систем, призвана реализовать:

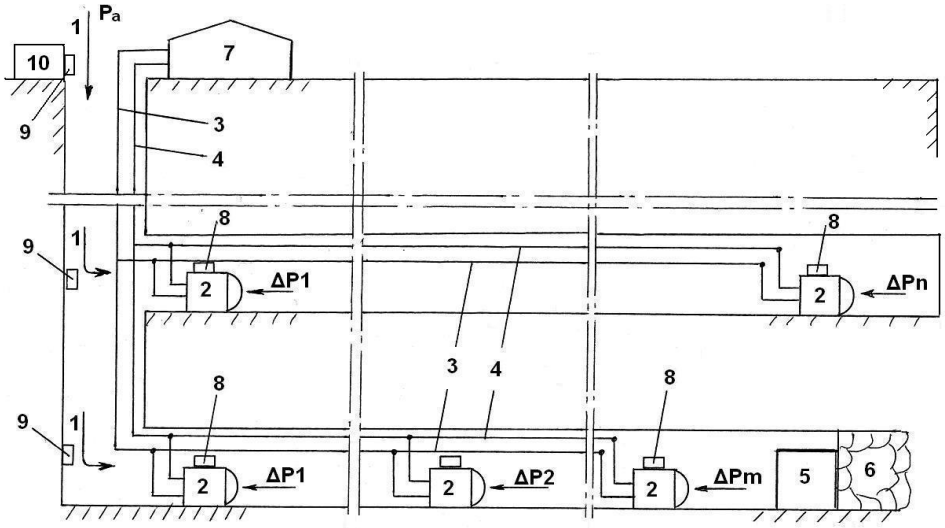


Рис.1. Блок-схема системы обеспечения безопасности угольных шахт:

1 – атмосферный воздух, 2 – термомагнитный сепаратор воздуха с блоком газоразделения диамагнетиков (ТМСВ-ГРДМ), 3 – кислородный трубопровод («парамагнитный»), 4 – трубопровод остальных газов («диамагнитный»), 5 – угольный комбайн, 6 – угольный забой, 7 – центр переработки сепарированных газов, 8 – радиомодемы, 9 – репитеры, 10 – пункт диспетчерского управления, Pa – атмосферное давление, ΔPm,n - разность давлений в зоне работы «m»-го ТМСВ-ГРДМ в «n»-м штреке

- контроль кислорода в штреках и забоях (в отличие от контроля метана),
- сепарацию кислорода из воздушной среды в штреках и забоях и вывод его на поверхность в «парамагнитном» трубопроводе (на

дальнейшую переработку или стравливание в атмосферу), для создания градиента его концентрации от 21% (на входе в штрек) до 5% в забое с помощью ряда ТМСВ-ГРДМ,

- отделение охлажденного азота от остальных диамагнетиков во 2-м каскаде (ГРДМ) и возвращение его в штреки и забои для создания градиента его концентрации от 78% (на входе в штрек) до 95% в забое с помощью ряда ТМСВ-ГРДМ, а также вывод оставшихся диамагнетиков (CH_4, Ar, H_2 и др) на поверхность в «диамагнитном» трубопроводе (на дальнейшую переработку),
- самовентиляцию шахты (самоприток атмосферного воздуха с поверхности) через центральную штольню за счет градиента давлений в штреках и забоях, в результате вывода на поверхность в «парамагнитном» и «диамагнитном» трубопроводах более 20% их воздушных компонент.

Как следует из приведенной выше модели системы, ни отечественных, ни мировых аналогов разрабатываемым методу, приборам и комплексу - не существует.

Список литературы:

1. 10 крупнейших аварий на угольных шахтах России.Досье ТАСС//БНК - 29.02.2016 - Сыктывкар: "Север-Медиа" - URL: https://www.bnkomi.ru/data/news/47794/ .
2. Акт технического расследования причин аварии, происшедшей 19.03.2007 года на филиале "Шахта Ульяновская" - Кемерово: ОАО "Южкузбазуголь", 2007. -85 с.
3. Белозеров В.В., Новакович А.А., Топольский Н.Г. Модель сепаратора воздуха для систем безопасности //Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности (СБ-2003) - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003, С. 198-199.
4. Белозеров В.В., Босый С.И, Плахотников Ю.Г, Прус Ю.В. Метод и система защиты горняков и шахт от пожаров и взрывов //Современные наукоемкие технологии.- 2010.- № 9, с.48-50.

5. Бондарь В.А. и др. Способ борьбы с метаном в угольных шахтах, Заявка на изобретение № 4240934/03, 27.08.1999, МПК6 E21F5/00, C12N11/00
6. Воронин Г. И., Чижиков Ю.В. Способ обогащения воздуха кислородом - SU № 255298, 20.02.2006, F25J 3/04.
7. Джигрин А.В., Исаев И.Р., Мясников С.В. Прогнозирование взрывов газа и пыли в угольных шахтах // Безопасность труда в промышленности.- 2010.- №4, С.38-42
8. Заключение экспертизы МакНИИ № 232.09.00.010.09 по автоматической системе взрывоподавления-локализации взрывов АСВП-ЛВ.
9. Золотарев Г.М. Патент РФ на изобретение № 2310073, 10.11.2007, МПК E21C41/18
10. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. - Донецк: Донбасс. 2012. - 392с.
11. Минерально-сырьевая база угольной промышленности России. В 2-х томах. Том 1 (состояние, динамика, развитие). - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 1999. - 648 с.
12. Охрана труда: Учебник для вузов / К.З.Ушаков, Б.Ф.Кирин, Н.В. Ножкин и др. Под ред. К.З.Ушакова. М.: Недра, 1986. - 624 с.
13. Портола В.А., Способ предупреждения взрывов метана в шахтах, Патент РФ на изобретение № 2371583, 27.10.2009, E21F5/00.
14. Пучков Л.А., Красюк Н.Н., Золотых С.С., Максименко Ю.М. Опыт и перспективы использования угольного метана /Препринт. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. - 32 с.
15. Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф., Антоньев А.В., Исаев И.Р. Параметры распространения в выработках ударных и детонационных волн, образующихся при взрыве пылеметановоздушной смеси // Взрывное дело.-2013.- № 109/66, С.229-238.
16. Филимонов С.Н., Станкевич Н.Г., Разумов В.В., Панев Н.И., Способ прогнозирования риска развития ишемической болезни сердца у шахтеров с хроническим пылевым бронхитом - Заявка на изобретение № 2002120782/15, 27.04.2004, МПК A61B10/00.
17. Халафов Ф.Р., Шахвердиев А.Х., Способ вентиляции шахтной атмосферы, Патент РФ на изобретение № 2282035, 20.08.2006, МПК E1F 1/00, E21 F5/00.
18. Шелудяков Е.П., Установка для уменьшения взрывоопасности угольных шахт, Патент РФ на изобретение № 2347910, 27.02.2009, МПК E21F5/00.

Science, society, progress
III International Scientific Conference
Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow
October 20-21, 2018

РАЗВИТИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В АВТОМОБИЛЬНОМ КОЛЕСЕ НА ТВЁРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КРУТИЛЬНОГО МОМЕНТА

ЗОТОВ В.М.[1], ХАВРОНИНА В.Н.[1], ШИШКИНА Е.В.[2]

[1]РОССИЯ, ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

[2]РОССИЯ, ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Аннотация. Одним из параметров, влияющих на управление и тягово-скоростные свойства колёсного транспорта, является угловая деформация в колесе, при действии на него крутильного момента. Поэтому важно знать развитие угла деформации в колесе с течением времени. Выполненные исследования показали, что процесс угловой деформации в шине автомобильного колеса на твёрдой поверхности под действием крутильного момента делится на три временных периода: на временном промежутке от 0 до t_0 угловая деформация колеса с положительным угловым ускорением нелинейно возрастает до некоторого значения α_0; на временном промежутке от t_0 до $t_1 = 2 \cdot t_0$ угловая деформация колеса с отрицательным угловым ускорением нелинейно возрастает до максимального значения $\alpha_1 = 2 \cdot \alpha_0$; при $t > t_1$ в эластичной части колеса (шине) возникают быстро затухающие колебания угла деформации относительно величины α_0, с некоторым периодом T. Значения t_0 и α_0, а так же коэффициент затухания $в$ и период T затухающих крутильных колебаний в колесе зависят от величины крутильного момента $M_{кр}$, приложенного к колесу, и от динамических характеристик колеса (момент инерции I колеса, крутильная жёсткость $C_{кр}$ шины, нормальная нагрузка P_z на ось колеса).

Ключевые слова: автомобильное колесо, угловая деформация, крутящий момент, крутильная жёсткость колеса, коэффициент затухания колебаний, математическое моделирование.

Abstract. One of the parameters affecting the control and traction-speed properties of wheeled vehicles is the angular deformation in the wheel under the action of torsion moment on it. Therefore, it is important to know the development of the deformation angle in the wheel over time. Studies have shown that the process of angular deformation in a tire of a car wheel on a firm surface under the action of torsion moment is divided into three time periods: over a 0 to t_0 period the angular deformation of the wheel with positive angular acceleration increases nonlinearly to some value α_0; over a t_0 to $t_1 = 2 \cdot t_0$ period the angular deformation of a wheel with negative angular acceleration increases nonlinearly to a maximum value $\alpha_1 = 2 \cdot \alpha_0$; at $t > t_1$ in the elastic part of the wheel (tire) quickly damped oscillations of the deformation angle occur with respect to α_0, with some period T. The values t_0 and α_0, as well as the damping coefficient $в$ and the period T of damped torsion vibrations in the wheel depend on torsion moment $M_{кр}$ applied to the wheel, and on the dynamic characteristics of the wheel (the moment of inertia of the wheel I, the torsion stiffness of the tire $C_{кр}$, the normal load P_z on the wheel axis).

Key words: automobile wheel, angular deformation, torque moment, torsional stiffness of the wheel, the coefficient of vibration damping, mathematical model.

Введение. При разгоне или торможении автомобиля в эластичной части его колёс возникают изменяющиеся во времени угловые деформации, влияющие на тягово-скоростные свойства колёсного транспорта [1, 4, 9]. Существующие стендовые и натурные исследования [1, 2, 6, 9, 13] устанавливают лишь связь между конечным значением угла деформации в эластичной части колеса и величиной крутящего момента, что снижает ценность исследования при моделировании движения колёсного транспорта в режиме реального времени.

Целью данной работы является: рассмотрение физических процессов в системе «колесо-дорога», протекающих при действии на колесо крутящего

момента и разработка на их основе математической модели угловой деформации колеса как функции времени.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели авторы воспользовались законами физики и математики [7, 11, 12], результатами экспериментов, выполненных ими на установке по определению силовых факторов, действующих на колесо транспортного средства [10], а также результатами исследований других авторов [2, 6, 13].

Рассмотрим автомобильное колесо с неподвижной осью вращения на недеформированной опорной поверхности (см. рис. 1).

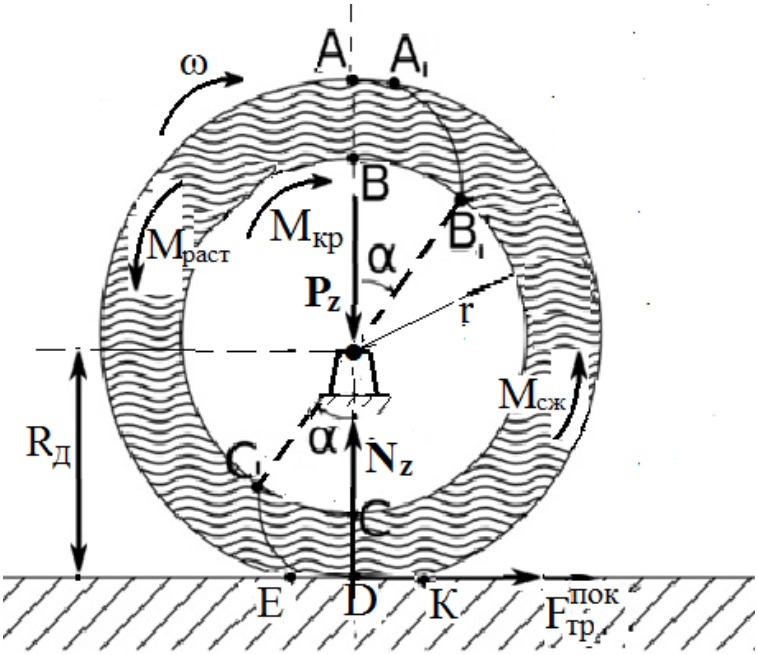


Рисунок 1. Динамика автомобильного колеса с неподвижной осью вращения на недеформированной поверхности:

$\boldsymbol{P}_z$ –нагрузка на ось колеса, нормальная к поверхности опоры; $\boldsymbol{N}_z$ – реакция опоры; $\boldsymbol{M}_{кр}$ – крутящий момент, приложенный к колесу; α – угол поворота диска колеса; $M_{сж}$ – момент упругих сил в области сжатия эластичной части колеса; $M_{раст}$ – момент упругих сил в области растяжения эластичной части колеса; $R_д$ – динамический радиус колеса; r – радиус диска колеса; ω – угловая скорость диска колеса

В некоторый момент времени на ось колеса начинает действовать постоянный по величине и направлению крутящий момент $M_{кр}$. В результате диск колеса поворачивается на угол $\alpha(t)$ и в эластичной части колеса (шине) развивается угловая деформация. При этом относительно внешнего наблюдателя реперные точки *A*, *B*, *C* смещаются в положение A_1, B_1, C_1. Будем считать, в первом приближении, что деформационные процессы, протекающие в пятне контакта *EK* колеса с поверхностью опоры, пренебрежимо малы. Тогда относительно пятна контакта *EK* в продольном сечении колеса на участке A_1B_1CDK наблюдается деформация сжатия, а на участке $A_1B_1BC_1CDEA$ – деформация растяжения. В эластичной части колеса возникает деформационный момент упругих сил $M_{упр}(t)$, противодействующий внешнему крутящему моменту $M_{кр}$:

$$M(t)=M_{кр} - M_{упр}(t) \tag{1}$$

Так как деформационные процессы в колесе зависят от угла поворота диска, то будем определять угловую деформацию автомобильного колеса через угол поворота диска $\alpha(t)$. В соответствии с законами упругой деформации и принятой терминологией [1, 3, 7, 9] момент упругих сил в колесе можно определить формулой:

$$M_{упр} = C_{кр} \cdot \alpha(t), \tag{2}$$

где $C_{кр}$ – крутильная жёсткость эластичной части колеса.

Таким образом, уравнение (1) с учётом (2) примет вид:

$$M(t) = M_{кр} - C_{кр} \cdot \alpha(t), \tag{3}$$

В соответствии со вторым законом Ньютона [7], результирующий момент $M(t)$ вращает колесо с некоторым угловым ускорением ε:

$$\varepsilon(t) = \frac{M(t)}{I},$$

где *I* – момент инерции колеса относительно оси поворота.

По определению, угловое ускорение *ε*, угловая скорость *ω* и угол поворота *α* связаны формулами [7]:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}, \quad \omega = \frac{d\alpha}{dt},$$

и уравнение (3) преобразуется к виду:

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{M_{кр} - C_{кр} \cdot \alpha(t)}{I}. \tag{4}$$

Решим дифференциальное уравнение (4) относительно переменной *α*(*t*).

Результаты. Преобразуем левую часть первого уравнения (4) в соответствии с законами математики и физики:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = \frac{d\omega}{d\alpha} \cdot \omega \quad .$$

и приведём это уравнение к виду:

$$\omega \cdot d\omega = \left(\frac{M_{кр}}{I} - \frac{C_{кр} \cdot \alpha(t)}{I} \right) \cdot d\alpha, \tag{5}$$

Проинтегрируем левую и правую части дифференциального уравнения (5) по соответствующим переменным:

$$\frac{\omega^2}{2} = \frac{M_{кр}}{I} \cdot \alpha(t) - \frac{C_{кр}}{I} \cdot \frac{\alpha^2(t)}{2} + const1,$$

В начальный момент времени *t*=0 угловая скорость частиц колеса *ω*=0, угол поворота диска колеса *α*=0, поэтому для выполнения полученного равенства необходимо, чтобы *const*1=0. Тогда функция *ω*(*t*) примет вид:

$$\omega(t) = \sqrt{\frac{1}{I} \cdot (2 \cdot M_{кр} \cdot \alpha(t) - C_{кр} \cdot \alpha^2(t))}\,. \qquad (6)$$

Так как $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$, то, подставив в (6) и разделив переменные, получим:

$$\frac{d\alpha}{\sqrt{2 \cdot M_{кр} \cdot \alpha(t) - C_{кр} \cdot \alpha^2(t)}} = \sqrt{\frac{1}{I}} \cdot dt \text{ П} \qquad (7)$$

Проинтегрировав левую и правую части дифференциального уравнения (7) по соответствующим переменным [11] получим:

$$\alpha(t) = \frac{M_{кр}}{C_{кр}} \cdot \left(1 - \cos\left(\sqrt{\frac{C_{кр}}{I}} \cdot t + const2\right)\right)$$

В начальный момент времени *t*=0 угол поворота диска колеса *α*=0, поэтому для выполнения равенства необходимо, чтобы *const*2=0. Тогда функция *α*(*t*) примет вид:

$$\alpha(t) = \frac{M_{кр}}{C_{кр}} \cdot \left(1 - \cos\left(\sqrt{\frac{C_{кр}}{I}} \cdot t\right)\right), \qquad (8)$$

или с учётом тригонометрических преобразований ($1 - \cos\gamma = 2 \cdot \sin^2\frac{\gamma}{2}$):

$$\alpha(t) = \frac{2 \cdot M_{кр}}{C_{кр}} \cdot \sin^2\sqrt{\frac{C_{кр}}{4 \cdot I}} \cdot t \qquad (9)$$

Обсуждение. Определим физический смысл функции (9) и границы её применимости.

1. Угол деформации α_0 колеса, при котором крутящий момент скомпенсирован внутренним моментом упругих сил, можно определить из уравнения (3): при $M(t_0) = M_{кр} - M_{упр}(t_0) = 0$ имеем

$$\alpha_0 = \frac{M_{кр}}{C_{кр}} \tag{10}$$

Подставив выражение (10) в функцию (9), получим соответствующий этому углу момент времени t_0:

$$t_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{I}{C_{кр}}}. \tag{11}$$

2. Так как в функции (9) $\left(\sin^2 \sqrt{\frac{C_{кр}}{4 \cdot I}} \cdot t\right) \in [0;1]$, то максимальный угол α_1 деформации колеса не превышает величины:

$$\alpha_1 \le \frac{2 \cdot M_{кр}}{C_{кр}}. \tag{12}$$

Соответствующий этому углу момент времени t_1 равен:

$$t_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{I}{C_{кр}}} \tag{13}$$

3. Подставляя значение угла (12) в уравнение (3), найдём результирующий момент на колесе при $t=t_1$:

$$M(t) = M_{кр} - 2 \cdot C_{кр} \cdot \frac{M_{кр}}{C_{кр}} = -M_{кр}, \qquad (14)$$

Под действием отрицательного результирующего момента $-M_{кр}$ эластичная часть колеса раскручивается в обратном направлении. В соответствии с выражением (8) в колесе возникают колебания угла поворота диска относительно α_0, с собственной частотой колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_{кр}}{I}}. \qquad (15)$$

4. В силу гистерезисных потерь в эластичной части колеса [5] колебания угла поворота быстро затухают, и устанавливается равновесное состояние с углом деформации α_0. В соответствии с законом затухающих колебаний [7] угол поворота $\alpha(t)$ диска колеса на временном промежутке $t > t_1$ можно описать функцией вида:

$$\alpha(t) = \alpha_0 + (\alpha_2 - \alpha_0) \cdot \exp(-\beta \cdot (t - t_2)) \cdot \cos(\sqrt{\omega_o^2 - \beta^2} \cdot (t - t_2)), \qquad (16)$$

где $в$ – коэффициент затухания упругих колебаний в эластичной части колеса; (t_2; α_2) – точка фазового пространства, в которой совпадают значения функций (9) и (16), а также их первые производные.

На основании сделанных выше допущений и рассуждений, с учётом экспериментальных и теоретических данных, приведённых в работах [2, 5, 7, 9], коэффициент затухания можно определить выражением:

$$\beta = \sqrt{\frac{C_{кр}}{4 \cdot I}}. \qquad (18)$$

5. Крутящий момент $M_{кр}$ не должен превышать противодействующему ему моменту силы трения покоя $F_{тр}$ в пятне контакта *ЕК* [6, 10]:

$$M_{кр} < F_{ТР} \cdot R_Д = \mu \cdot P_z \cdot R_Д, \qquad (19)$$

где μ – коэффициент трения покоя в пятне контакта; P_z –нагрузка на ось колеса, нормальная к поверхности опоры; $R_д$ – расстояние от оси колеса до поверхности опоры (динамический радиус колеса). В противном случае возникает проскальзывание колеса в пятне контакта колеса с опорой, и предложенная математическая модель требует уточнений

6. На рисунке 2, в соответствии с уравнениями (9) и (16), представлен график развития угловой деформации шины автомобильного колеса при действии на него крутильного момента. Точка сшивки графиков уравнений определяется равенством значений функций (9), (16) и значений их первых производных в момент времени t_2, при условии $t_2>t_1$:

$$\alpha_9 = \alpha_{16}, \quad \frac{d\alpha_9}{dt} = \frac{d\alpha_{16}}{dt} \quad при \;\; t = t_2 > t_1. \tag{20}$$

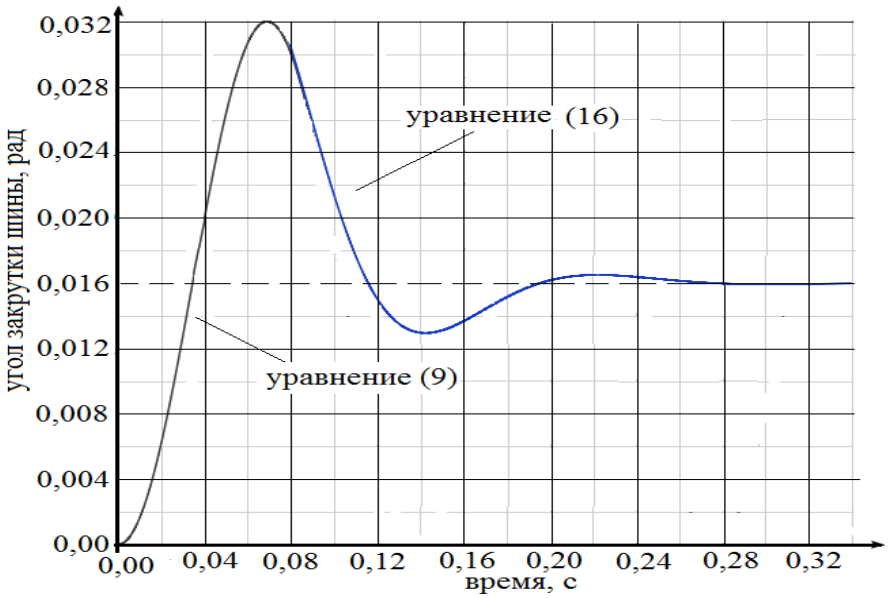


Рисунок 2. Зависимость угла деформации в шине колеса от времени при действии на колесо крутящего момента:

Начальные данные [1]: модель шины 3.50-5; $M_{кр}$ =30Н·м; P_z=800Н; $C_{кр}$=1860Н·м/рад; I=0,9кг·м^2; $R_д$=0,09м; μ=0,4; $M_{тр}^{пок}$ = 28,8Н·м.
Расчётные данные: α_0=0,0161рад; t_0=0,0346с; α_1=0,0323рад; t_1=0,0691с; ω_0 =45,461Гц; $в$=22,730с$^{-1}$; t_2≈0,0864с; α_2≈0,0275рад.; $t_{стаб}$ ≈0,28с