© М.В. Хиврин, С.С. Кубрин,
А.Г. Собеневский, 2012

УДК 614.841.345

М.В. Хиврин, С.С. Кубрин, А.Г. Собеневский

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ МЕТАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ДЕГАЗАЦИОННОМ ТРУБОПРОВОДЕ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Проведен сравнительный анализ существующих станций контроля параметров дегазации, разработана автоматизированная система контроля параметров метано-воздушной смеси в дегазационном трубопроводе шахты
Ключевые слова: метано-воздушная смесь, дегазации шахты, трубопровод, контроль параметров дегазации.

Параметры метано-воздушной смеси (МВС) в участковых и магистральном газопроводах регламентируются «Методическими рекомендациями о порядке дегазации угольных шахт» РД-15-09-2006 (приложение № 20, п. 17):

– разрежение у устья скважины от 0 до 33 кПа (в участковых и магистральных газопроводах от 0 до 53 кПа)
– относительная влажность газовой смеси до 100 % (возможно присутствие капельной влаги);
– содержание метана в смеси от 0 до 100 % об.;
– скорость потока газовой смеси в трубопроводе от 0,5 до 20 м/с;
– температура газовой смеси от -5 до +35 °С;
– газовая смесь – взрывоопасная и агрессивная.

Контроль параметров каптируемой смеси осуществляется вдоль трубопроводов в нескольких точках и, в первую очередь, на дегазационных скважинах, в участковых газопроводах, и у вакуум-насосных станций (ВНС) с помощью специальных устройств (станций) контроля, встроенных в газопровод.

Типовая схема трубопроводов дегазации шахты представлена на рис.1.

Контроль содержания метана в газовой смеси, извлекаемой вакуум-насосными станциями, должен быть непрерывным, и при содержании метана менее 25 % и кислорода более 6 % станция контроля параметров метановоздушной смеси (СКМВС) должна выдавать команду на включение аварийной сигнализации и прекращение подачи газа потребителю.

Кроме контроля параметров МВС, у дегазационных скважин должно быть предусмотрено наличие водоотделителей, т. к. из скважин может поступать вода.

Согласно [1] эксплуатация технических средств дегазационной системы расположенных в горных выработках, осуществляется при следующих условиях:

– барометрическое давление 84 – 120 кПа;
– относительная влажность 98 % (при $T_{окр.}$ = 35 °С);
– скорость воздушного потока в выработках до 8 м/с;
– запыленность среды, окружающей подземные устройства дегазационной системы до 10 мг/м^3.

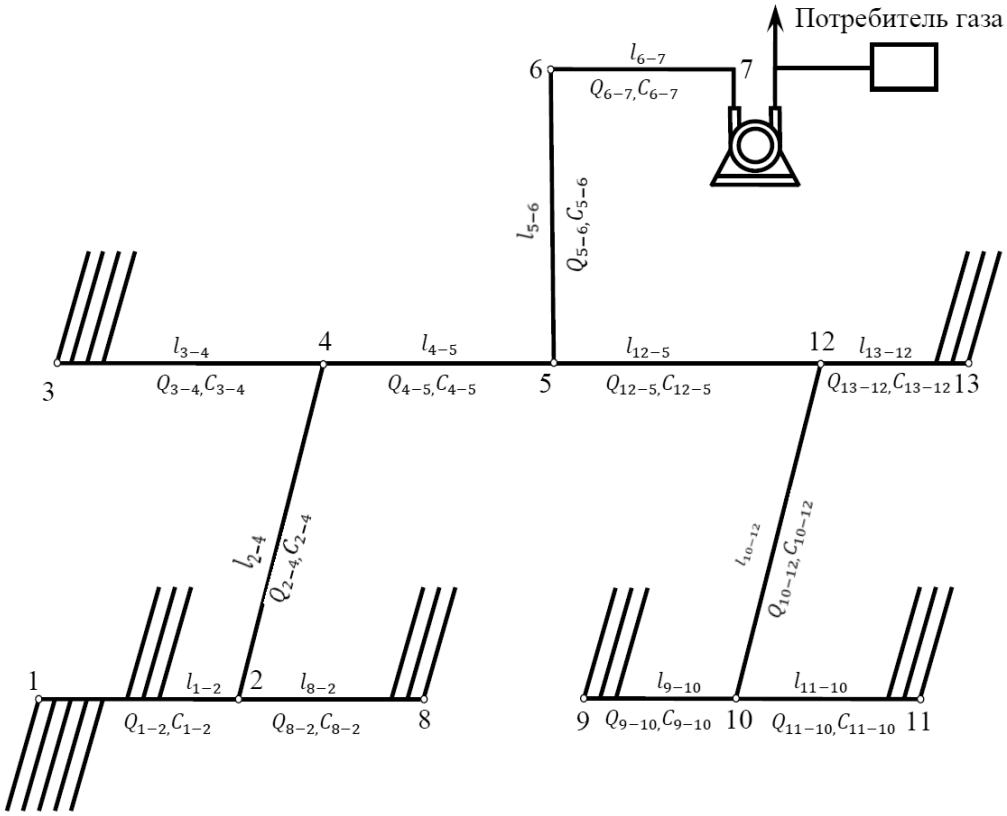

Рис.1. Схема трубопровода и скважин дегазации шахты

Устройства, находящиеся на поверхности в помещении стационарной вакуум-насосной станции, должны быть рассчитаны на эксплуатацию в условиях:

- барометрическое давление 84 - 107 кПа;
- $T_{окр.}$ от 10 до 35 °С;
- относительная влажность окружающей среды 80 % (при $T_{окр.}$ = 25 °С);
- содержание метана в атмосфере зданий ВНС до 1 %.

Таким образом, в связи со сложными условиями работы СКМВС, к датчикам и устройствам станции предъявляются высокие требования в части обеспечения надежности и безопасности.

Кроме того, датчики СКМВС соединяются с внутренним пространством трубопровода, должны сохранять герметичность внутреннего пространства трубы и обеспечивать необходимую надежность работы в условиях высокой влажности агрессивной МВС. При этом должна обеспечиваться безопасность в соответствии с Правилами безопасности [2].

Надежность работы, точность измерения параметров и безопасность, обеспечиваемая датчиками СКМВС определяется, в значительной степени, параметрами первичных преобразователей, применяемых в этих датчиках.

Отечественные производители предлагают для применения в дегазационных системах ряд датчиков с уровнем и видом взрывозащиты РО $И_а$ и степенью за-

щиты от воздействия внешней среды IP 54, например, барометр электронный БЭПР-ТВ-1-1 для измерения перепада давления на замерных станциях газопроводов, анемометр АПР-2 для определения скорости воздушного потока, расходомер-счетчик газа вихревой ИРВИС ПЗ-30 для измерения расхода неагрессивных горючих и инертных газов. Текущий объемный расход газа может определяться приборами БЭПР-ТВ-1-1 и ИРВИС ПЗ-30 путем приведения объема МВС к нормальным условиям по ГОСТ 2939-63 «Газы. Условия для определения объема» и последующими вычислениями по результатам измерения температуры и давления другими датчиками.

Ряд зарубежных фирм предлагают станции контроля параметров дегазации.

Фирма «WOELKE INDUSTRIEELEKTRONIK GMBH» [3] предлагает комплект аппаратуры для измерения основных физических параметров МВС в дегазационном трубопроводе и выдачи предупредительных сигналов при выходе концентрации метана за установленные граничные значения. Блок датчика метана на базе термокондуктометрического измерительного преобразователя имеет следующие характеристики:

диапазон измерений 0 до 100,0 % CH_4 (объемн.)
разрешение 0, 1 % CH_4
точность измерения 1, 5 % CH_4
время релаксации $t_{90} \leq 14$ с
обновление показаний индикатора 0, 5 с
время готовности - 1 минута
максимально допустимая концентрация 100 % CH_4
напряжение питания 9…16 В
ток потребления
(в зависимости от вида вых. сигн.) 72…105 мА,
температура окружающей среды 20 °С…+ 60 °С
влажность относит., без конденсации 0…99 %
степень защиты корпуса IP 65, а газового входа IP 52
материал корпуса медный сплав
прочность на удар 20 Дж
вес 4 кг

Датчик имеет компенсацию изменений температуры, влажности и давления в трубопроводе.

В комплект аппаратуры входит также блок обработки и управления и блок датчика скорости воздушного потока со встроенными сенсорами для измерения температуры и перепада давления на расходомерной диафрагме, вмонтированной в трубопровод, а также измерения абсолютного давления. С блоком датчиков связан блок обработки и индикации, формирующий информацию о скорости, расходе, давлении и температуре МВС.

Фирма «WOELKE INDUSTRIEELEKTRONIK GMBH» также предлагает датчики метана и углекислого газа с инфракрасными сенсорами и датчики кислорода и монооксида углерода с электрохимическими сенсорами.

Аналогичные устройства для контроля параметров дегазации предлагает компания «TROLEX LIMITED», причем, в датчике метана используется также инфракрасный сенсор [4].

ФГУП «Гипроуглеавтоматизация» разработана автоматизированная система контроля параметров МВС в дегазационном трубопроводе шахты. Станция

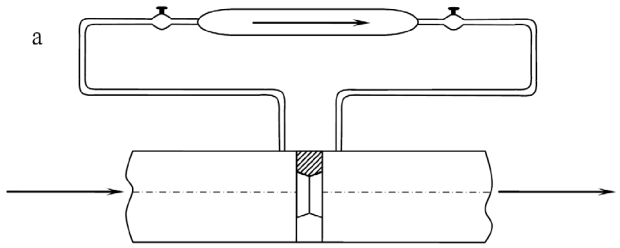

Рис. 2. Схема подключения станции контроля параметров газовоздушной смеси к трубопроводу со встроенной диафрагмой

контроля параметров МВС, входящая в состав системы, разработана и изготовлена ООО «Аэротест».

Автоматизированная система обеспечивает технологический контроль и измерение следующих параметров МВС:

CH_4 (концентрация метана) (0…100) % об.;

CO (концентрация оксида углерода) 0…200 ppm;

O_2 (содержание кислорода) (0…25) % об.;

P'_1 (абсолютное давление МВС) (400…1200) мм. рт. ст.;

Pp (дифференциальное давление) (0…200) мм. вод. ст.;

Q — расчётный расход ($м^3$/мин) МВС в дегазационном трубопроводе

$Q_м$ — расчетный расход метана ($м^3$/мин);

t° (температура МВС) -5 + 50 °С;

Схема отбора проб газовоздушной смеси для определения восьми параметров МВС показана на рис. 2.

Расход Q, $м^3$/мин, смеси отсасываемых газов на замерном устройстве с диафрагмой рассчитывается по формуле

$$Q = 0{,}209 \cdot 10^{-3} \varepsilon a_3 \alpha_p d_0^2 \sqrt{\frac{h_Д}{\gamma'}} \qquad (1)$$

где ε, a_3, α_p - коэффициенты, определяемые по номограммам (рис. 3, 4 и 5 соответственно); d_0 - диаметр отверстия диафрагмы, мм; $h_Д$ - перепад давлений на диафрагме, мм вод. ст.; γ'- объемная масса газа в рабочем состоянии при фактической концентрации метана, кг/$м^3$.

На приведенных выше номограммах приняты следующие обозначения:

P'_1 - давление газа в газопроводе, то есть разность между атмосферным давлением у места установки диафрагмы и разрежением в газопроводе перед диафрагмой, мм рт. ст.; α_p - коэффициент расхода, определяемый в зависимости от отношения d_0^2 к квадрату внутреннего диаметра трубопровода d^2 (величина $m'=d_0^2/d^2$).

Выражение $0{,}209 \cdot 10^{-3} \varepsilon a \alpha d_0^2$ называется коэффициентом K диафрагмы. Так, например, при d_0 = 25 мм и d =100 мм коэффициент K = 0,65, при d_0 = 50 мм и d = 150 мм K = 2,62, а при d_0 = 65 мм и d = 200 мм K = 4,4.

Зависимость (1) можно представить в виде

$$Q = K \sqrt{\frac{h_Д}{\gamma'}} \qquad (2)$$

Величина γ' определяется по формуле

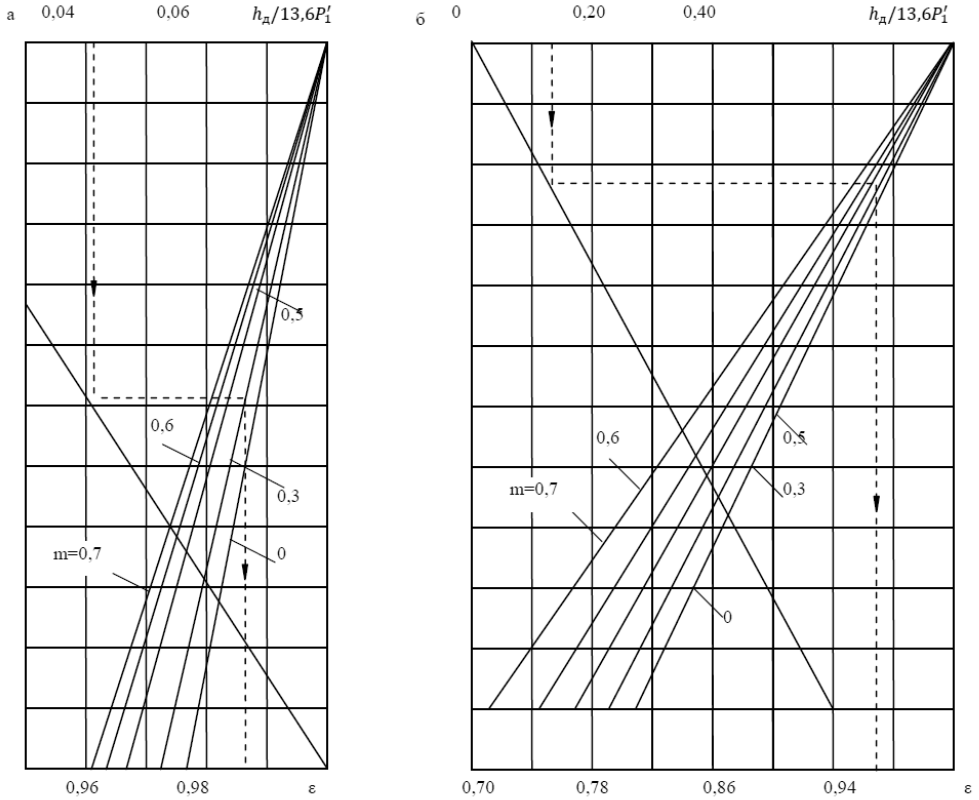

Рис. 3. Определение коэффициента ε при малых (а) и при больших (б) значениях $h_д/13{,}6P'_1$

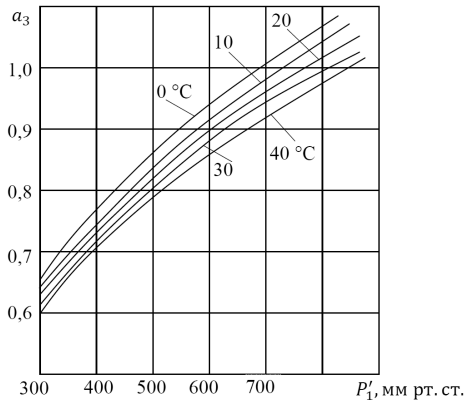

Рис. 4. Определение поправочного коэффициента $a_з$

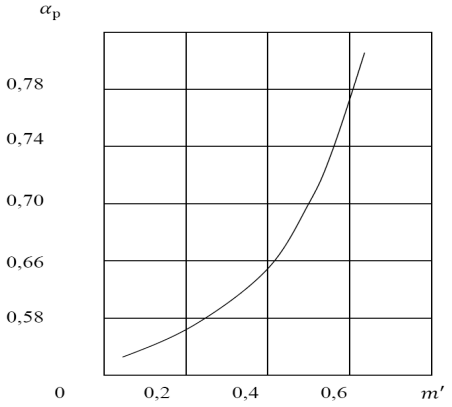

Рис. 5. Зависимость коэффициента расхода α_p от $m'=d_0^2/d^2$

$$\gamma' = \frac{273P}{760(273+t^{\circ})}\gamma_K \qquad (3)$$

где t^0 - температура газа перед диафрагмой, °С; $\gamma_н$ - объемная масса газовой смеси при фактической концентрации метана, давлении 760 мм рт. ст. и температуре 273 К.

$$\gamma_н = \frac{0{,}717C_M + 1{,}293C_B}{100} \qquad (4)$$

здесь C_M и C_B - содержание в газовой смеси соответственно метана и воздуха, %.

В штатном режиме работы сбор информации системой осуществляется автоматически с интервалом времени очередного обращения к каждому контролируемому параметру не более 60 с.

При концентрации метана в дегазационном трубопроводе ниже порогового значения 25 % или содержания кислорода выше порогового значения 6 % на рабочем месте оператора автоматически включается аварийная звуковая сигнализация с одновременной автоматической индикацией (на видеомониторе оператора) вида аварийной ситуации, и оператор принимает решение по оперативному управлению расходом в соответствии с должностной инструкцией, утвержденной главным инженером шахты.

Станция контроля параметров дегазации, обеспечивает измерение:

- дифференциального давления, кПа 0-1,96
- абсолютного давления кПа 53,2-159,6
- объемной доли метана (СН4), % об. 0-100
- объемной доли кислорода (О2), % об. 0-25
- объемной доли оксида углерода (СО), ppm 0-200
- температуры, °С - 5 - +35

Предел основной допускаемой абсолютной погрешности измерения (при нормальных условиях):

- дифференциального давления, мм.вод.ст. ±3
- абсолютного давления мм.рт.ст. ±4
- объемной доли метана (СН4), % об. ±5
- объемной доли кислорода (О2), % об. ±1
- объемной доли оксида углерода (СО), ppm:

в диапазоне 0-100 ppm ±6

в диапазоне 100-200 ppm ±10

-температуры, °С ±1

Структурная схема системы представлена на рис.6.

В состав подземной части автоматизированной системы входят:

аналоговые и дискретные датчики (станции контроля параметров) для получения информации непосредственно с объекта; источники первичного и вторичного питания во взрывозащищенном исполнении; программируемые контроллерные станции, которые должны обеспечивать:

– сбор информации от датчиков с дискретными и аналоговыми выходами;
– предварительную обработку информации;
– обмен информацией с техническими средствами верхнего уровня

В состав наземный части системы входят: компьютерный комплекс, состоящий из серверной части (2 сервера в режиме «горячего» резерва) и операторской станции (АРМ оператора), которые должны обеспечивать:

$$\gamma' = \frac{273P}{760(273+t^{\circ})}\gamma_K \qquad (3)$$

где t^0 - температура газа перед диафрагмой, °С; $\gamma_н$ - объемная масса газовой смеси при фактической концентрации метана, давлении 760 мм рт. ст. и температуре 273 К.

$$\gamma_н = \frac{0{,}717C_M + 1{,}293C_B}{100} \qquad (4)$$

здесь C_M и C_B - содержание в газовой смеси соответственно метана и воздуха, %.

В штатном режиме работы сбор информации системой осуществляется автоматически с интервалом времени очередного обращения к каждому контролируемому параметру не более 60 с.

При концентрации метана в дегазационном трубопроводе ниже порогового значения 25 % или содержания кислорода выше порогового значения 6 % на рабочем месте оператора автоматически включается аварийная звуковая сигнализация с одновременной автоматической индикацией (на видеомониторе оператора) вида аварийной ситуации, и оператор принимает решение по оперативному управлению расходом в соответствии с должностной инструкцией, утвержденной главным инженером шахты.

Станция контроля параметров дегазации, обеспечивает измерение:

- дифференциального давления, кПа	0-1,96
- абсолютного давления кПа	53,2-159,6
- объемной доли метана (СН4), % об.	0-100
- объемной доли кислорода (О2), % об.	0-25
- объемной доли оксида углерода (СО), ppm	0-200
- температуры, °С	- 5 - +35

Предел основной допускаемой абсолютной погрешности измерения (при нормальных условиях):

- дифференциального давления, мм.вод.ст.	±3
- абсолютного давления мм.рт.ст.	±4
- объемной доли метана (СН4), % об.	±5
- объемной доли кислорода (О2), % об.	±1
- объемной доли оксида углерода (СО), ppm:	
в диапазоне 0-100 ppm	±6
в диапазоне 100-200 ppm	±10
-температуры, °С	±1

Структурная схема системы представлена на рис.6.

В состав подземной части автоматизированной системы входят:

аналоговые и дискретные датчики (станции контроля параметров) для получения информации непосредственно с объекта; источники первичного и вторичного питания во взрывозащищенном исполнении; программируемые контроллерные станции, которые должны обеспечивать:

– сбор информации от датчиков с дискретными и аналоговыми выходами;
– предварительную обработку информации;
– обмен информацией с техническими средствами верхнего уровня

В состав наземный части системы входят: компьютерный комплекс, состоящий из серверной части (2 сервера в режиме «горячего» резерва) и операторской станции (АРМ оператора), которые должны обеспечивать:

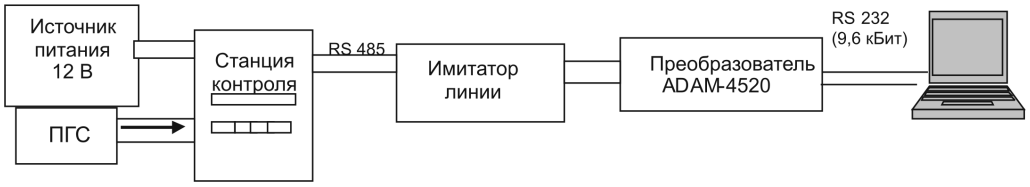

Рис. 7. Блок-схема подключения устройств для проверки датчиков концентрации газов

– визуализацию состояния параметров и объектов управления системы с использованием графических образов и анимации;

– конфигурирование средств операторского интерфейса с использованием графического редактора и библиотек типовых элементов;

– автоматическую диагностику состояния технических средств всех уровней;

– протоколирование учетных показателей работы системы;

– архивирование информации в базах данных.

Наземные устройства системы соединяются с подземными специальным телефонным кабелем ЭКСТАСЭ. Прием и передача информации осуществляется с использованием интерфейса RS485.

В штатном режиме работы сбор информации осуществляется автоматически с интервалом времени очередного обращения к каждому контролируемому параметру не более 60 с (в зависимости от количества станций).

Расход МВС на выходе из кустовых и участковых газопроводов регулируется, исходя из условия получения концентрации метана на выходе дегазационной системы не менее 25 % об.

Станция контроля параметров МВС в трубопроводе осуществляет контроль восьми параметров: концентрации метана, кислорода и монооксида углерода, абсолютного и дифференциального давления смеси, температуры, расхода МВС и метана.

Для измерения высоких концентраций метана используется кондуктометрический сенсор, в основе принципа работы которого лежит использование теплопроводности, которая у различных газов различна.

Для измерения концентрации кислорода и монооксида углерода используются электрохимические сенсоры

Исследование характеристик датчиков концентрации газов станции контроля осуществлялась на специальном стенде.

Блок-схема испытаний показана на рис. 7.

Для проверки точности измерения и наличия перекрестной чувствительности были изготовлены четырехкомпонентные поверочные газовые смеси (ПГС).

ПГС1: O_2 (4,76 % ± 0,14 %); CO (0,00162 % ± 0,00016 %);

CH_4 (29,31 % ± 0,29 %); N_2 (остальное); ПГС2: O_2 (2,42 % ± 0,07 %);

CO (0,0105 % ± 0,0004 %); CH_4 (71,4 % ± 0,7 %); N_2 (остальное)

Стендовые и последующие шахтные испытания фрагментов системы контроля показали, что функционирование устройств системы соответствует заданным требованиям и алгоритмам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Методические рекомендации* о порядке дегазации угольных шахт. РД-15-09-2006, Москва, изд.ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность», 2007

2 *Правила* безопасности в угольных шахтах. ПБ05-618-03. М. 2004

3 *Информационные материалы* фирмы «WOELKEINDUSTRIEELEKTRONIK GMBH». Im Lowentail 66. D-45239 Essen, Germani, e-mail: WOELKE_Industrieelektronik@t-online.de

4 *Рекламные* проспекты кампании «TROLEX LIMITED» Newby Road Hazel Grove, Stockport, Cheshire SK7 5DY, UK, e-mail: info@trolex.com ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Хиврин Михаил Васильевич - доцент, кандидат технических наук,
Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

Кубрин Сергей Сергеевич - профессор, доктор технических наук,
Собеневский Андрей Геннадьевич - гл. специалист,
Гипроуглеавтоматизация.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Григорьев С.Н., Терешин М.В., Верещака А.С., Лазарева М.Н., Сотова Е.С., Верещака А.С. Лазарева М.Н., Овсеенко Е.С., Кущева М.Е., Носов Д.П., Овсеенко А.Н., Ягуткин Е.Г., Клауч Д.Н., Понамарев А.А., Рязанов Д.Ю., Тимирязев В.А., Кареев Ю.А., Соколова Я.В., Хостикоев М.З., Мнацаканян В.У., Гуляев Е.С., Королев П.А., Гаффанов Р.Ф., Махненко А.Н., Зиновьева И.И., Гололобов Д.В., Гололобова А.А., Косарев М.В., Волосова М.А., Антоненкова Г.В., Иванов Г.Н., Ярымов А.Н., Седых М.И.

Московский государственный технологический университет МГТУ «Станкин», Московский государственный горный университет, Российский государственный университет Нефти и газа им. И.М. Губкина, Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина, Государственный научный центр ГНЦ НПО ЦНИИТМАШ.

Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). — 2011. — № 12. — 106 с.— М.: Издательство «Горная книга».

В сборнике представлены статьи по актуальной тематике технологии машиностроения, в которых отражены прогрессивные технологии современных машиностроительных производств.

Ключевые слова: экологически чистое резание, режущий инструмент, высокопрочная композиционная керамика, ионизированная газовая среда, приспособление, элемент, поверхность, описание, планировка, расстановка оборудования, оптимизация, эвристические методы, поверхностное упрочнение, нанесение покрытий, интенсивность изнашивания, надежность.

PROGRESSIVE TECHNOLOGIES OF MACHINE-BUILDING MANUFACTURES

Grigorjev S., Tereshin M., Vereschaka A.S., Lazareva M.N., Sotova E.S., Ovseenko E.S., Kuscheva M.E., Nosov D.P., Ovseenko A.N., Yagutkin E.G., Klauch D.N., Ponomarev A., Ryazanov D.Yu., Kareev Yu.A., Timiryazev V.A., Voronenko V.P., Sokolova Ya.V., Dolgov V.A., Khostikoyev M.Z., Mnatsakanyan V.U, Gulyaev E.S, Korolev P.A., Gaffanov R.F., Mahnenko A.N., Zinovieva I.I., Gololobova A.A., Gololobov D.V., Timiryazev V.A., Kosarev M.V., Volosova M.A., Antonenkova G.V., Ivanov G.N., Jarymov A.N., Sedykh M.I.

In the collection articles on actual subjects of technology of mechanical engineering, in which otra-wives progressive technologies of modern machine-building manufactures are presented.

Key words: ecologically clean cut, cutting tool, high-strength composite ceramics, ionized gas environment.adaptation, element, the surface of the description, Facility layout problem, equipment positioning, optimization, heuristic methods, surface strengthening, application of coating, wear intensity, surety.