



Безопасность
в техносфере
rintd.ru

Система управления
эвакуацией людей
eesystem.ru



ISBN 978-5-4344-0523-2



9 785434 405232

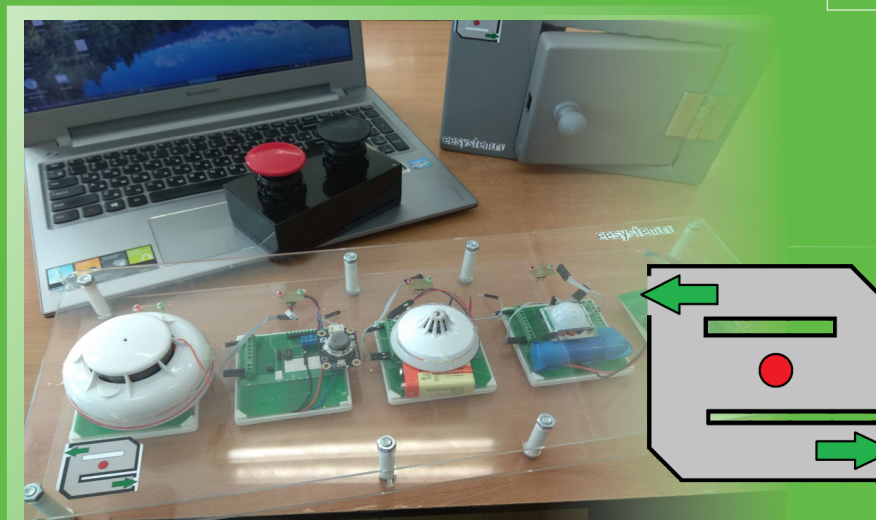
Безопасность в техносфере 12

Удмуртское региональное отделение
Общероссийской общественной организации
«Российское научное общество анализа риска»

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

Безопасность в техносфере

12



Ижевск 2018

Удмуртское региональное отделение
Общероссийской общественной организации
«Российское научное общество анализа риска»

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Сборник статей

Выпуск 12



Ижевск
2018

УДК 614.84, 681.51, 004.031.4, 004.492

ББК 68.9я431

Б40

Научный редактор:

доктор технических наук, профессор В. М. Колодкин

Председатель организационного комитета:

руководитель Российского научного общества анализа риска,
кандидат психологических наук М. И. Фалеев

Б40 Безопасность в техносфере : сборник статей / науч. ред. В. М. Колодкин. — Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2018. — 164 с.

ISBN 978-5-4344-0523-2

Данный сборник, в основном, соответствует материалам, представленным на XII Международной конференции «Безопасность в техносфере». Главная тема Конференции — Цифровые системы обеспечения безопасности.

Рассмотрены вопросы интеграции цифровых подсистем, таких как подсистема автоматического контроля количества людей в помещениях здания, подсистема автоматического мониторинга среды в горящем здании и т.д., в интегрированную систему автоматического формирования указаний людям путей эвакуации из горящего здания в режиме реального времени.

В статьях раскрываются принципы организации системы, вопросы создания математического, алгоритмического и программного обеспечения. Содержание статей дает системное представление о современных проблемах безопасности в техносфере и способах их решения.

УДК 614.84, 681.51, 004.031.4, 004.492

ББК 68.9я431

ISBN 978-5-4344-0523-2

© УРО ООО «Российское научное общество анализа риска», 2018

© ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

I Цифровые системы обеспечения безопасности	5
<i>В.М. Колоджин, Б.В. Чирков, Д.Е. Ушаков</i>	
Повышение эффективности системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре в здании . . .	6
<i>Б.В. Чирков</i>	
Методы совершенствования и алгоритмы управления эвакуацией из здания	19
<i>А.М. Сивков</i>	
Протокол последовательной передачи данных	45
<i>Д.Е. Ушаков, Б.В. Чирков</i>	
Исследование ограничений расстановки беспроводных узлов на базе микроконтроллера ATmega128RFA1	48
<i>А.М. Сивков, А.Н. Семакина</i>	
Об электрической схеме подключения сенсора инфракрасных лучей	53
<i>А.М. Сивков, Д.А. Пухова</i>	
О влиянии солнечного света на инфракрасный сенсор .	56
<i>С.В. Шархун, Н.Ф. Сирина</i>	
Результаты разработки, реализации и внедрения программного комплекса «СОУЭ-ПК» на инфраструктурных объектах ОАО «РЖД»	58
II Техносферная безопасность	67
<i>М.Э. Галиуллин</i>	
Картографическая подсистема веб-сервиса оценки риска на техногенных объектах	68
<i>А.В. Радикова, В.О. Анашин</i>	
Анализ и оценка аварийного риска с точки зрения системного анализа	83
<i>В.О. Анашин, А.В. Радикова</i>	
Ранжирование территорий по уровню коллективного риска при авариях на техногенных объектах на примере автозаправочных станций	88
<i>А.В. Романенко, Г.М. Чигвинцев, С.В. Широков, Д.В. Варламов, С.Ю. Загуменов</i>	
Проект противопожарного комплекса для повышения безопасности людей и эффективности применения средств индивидуальной защиты и средств пожаротушения	96

<i>Д.М. Варламова</i>	
Обзор существующих методов по оценке экономической эффективности систем пожарной безопасности	108
<i>И.М. Янников, В.С. Кужлин, В.И. Молчанов, А.Е. Любаков</i>	
О некоторых аспектах применения спринклерных установок пожаротушения на производстве	115
<i>А.С. Соловьева, М.В. Телегина</i>	
Поддержка принятия решений по обеспечению безопасности химически опасных объектов	121
<i>Ф.В. Недопекин, Н.С. Шестакин, А.В. Несова</i>	
Анализ потенциала поглощения диоксида углерода на перспективных участках его хранения в Донбассе	126
<i>И.М. Янников, М.В. Шабардин, М.В. Телегина</i>	
Экологическое картографирование реабилитируемых территорий	133
<i>А.Ю. Лучина</i>	
Двухскоростная модель движения газожидкостной смеси в аэротенках с пневматической системой аэрации	138
<i>И.М. Янников, И.Н. Вологжанин, Р.Г. Бадамшина</i>	
Проблематика автоматизации прогнозирования паводков и наводнений	143
<i>Д.М. Костин</i>	
Автоматизированная система персонализированного учета нарушений требований охраны труда	148
<i>В.В. Бодряга, Ф.В. Недопекин, В.В. Белоусов</i>	
Экологическая проблема утилизации графитной спели при переливах чугуна	154

Раздел II

Техносферная безопасность

УДК 669.162

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ГРАФИТНОЙ СПЕЛИ ПРИ ПЕРЕЛИВАХ ЧУГУНА

В.В. Бодряга, Ф.В. Недопекин, В.В. Белоусов

Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина

e-mail: *f.nedopekin@gmail.com*

Рассматривается экологическая проблема утилизации графитной пыли на металлургических предприятиях. Исследованы свойства графитсодержащей пыли и проведен анализ существующих технологий обогащения графитовой пыли. Уловленная циклонами пыль при применении пылеподавления азотом содержит более 30 % углерода и становится товарным продуктом для графитовой промышленности.

Ключевые слова: циклон, графитовая спель, электронный микроскоп, чугун.

Введение

Доменное производство является одним из крупных загрязнителей атмосферы. Значительное количество выбросов выделяется при выпуске чугуна из доменной печи. Выброс состоит из двух основных компонентов – крупнодисперсной графитсодержащей пыли (ГСП) и мелкодисперсного бурого дыма [1–4]. Традиционным методом снижения выбросов бурого дыма является отвод выбросов от мест образования при помощи дымососа, улавливание отведённых выбросов в фильтрах и сброс очищенного газа в атмосферу [2]. Недостатком традиционного метода являются значительные капитальные и эксплуатационные затраты [5].

Кроме бурого дыма, другим заметным компонентом выбросов при переливах чугуна является крупнодисперсная графитсодержащая пыль (ГСП). Графит является ценным компонентом, который широко применяется в промышленности. В настоящее время графит либо добывают из графитовой руды, либо получают при пиролизе каменного угля.

Между тем, ресурсы графитового сырья в чёрной металлургии Украины таковы, что при сборе и утилизации всех графитсодержащих отходов можно полностью обеспечить потребности не только Украины, но и России. В связи с этим практический интерес

представляет вопрос о свойствах ГСП, методах её обогащения и утилизации, а также о влиянии подачи азота на количество и химический состав ГСП.

В зависимости от вида технологической операции и конкретных условий перелива металла количество и химический состав ГСП изменяются в широких пределах. Пыль, выделяющаяся при переливах чугуна, состоит в основном, из двух компонентов: крупнодисперсной графитной спели и мелкодисперсного бурого дыма. Соотношение этих компонентов зависит от типа технологической операции и конкретных условий её протекания, но в среднем содержание графитной спели составляет 25-35 % при заливке и 20-35 % при сливе чугуна, а остальную часть выбросов составляет бурый дым [6-8].

Графитная спель с содержанием углерода более 20 % является ценным сырьём для графитовых заводов, на которых из неё изготавливают высокотемпературные сухие смазки для авиационно-космической техники. При этом, чем выше содержание углерода, тем выше цена графитсодержащих отходов. Однако пыль сильно загрязнена металлом и в большинстве случаев идёт в отвал. Целью данной статьи является проблема изучения свойств ГСП и разработка методов её обогащения по углероду с целью последующей утилизации.

Исследование свойств графитовой пыли

В связи с этим практический интерес представляет вопрос о свойствах ГСП, методах её обогащения и утилизации.

Значительная часть исследований проводилась в миксерном отделении конвертерного цеха металлургического комбината «Азов-сталь». Исследовались свойства пыли, отобранной из бункеров циклонов ЦН-15 аспирационной системы миксеров № 1 и № 2 конвертерного цеха.

Исследование ГСП под микроскопом показало, что пыль неоднородна по своему составу и содержит два вида частиц, отличающихся по своим свойствам и происхождению. Это пластины графитной спели и застывшие, частично окисленные, брызги металла. Видно, что брызги металла имеют сферическую форму, большинство брызг располагаются отдельно от плоских частиц графита, но часть брызг вкраплена в структуру пластин графитовой спели. Фотография пыли, уловленной циклонами,

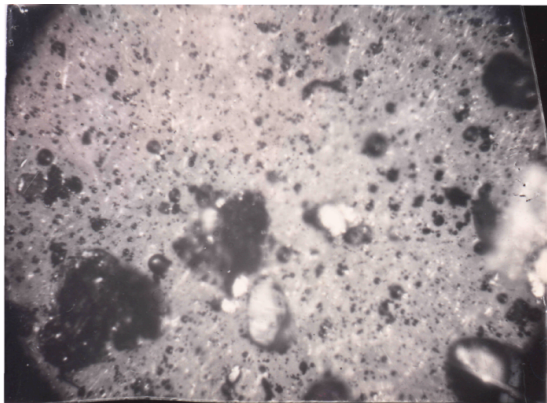


Рисунок 1 — Вид под микроскопом графитсодержащей пыли из бункеров циклонов ЦН-15 системы аспирации миксерного отделения ККЦ меткомбината «Азовсталь», увеличение в 18.5 раз.

выполнена через объектив оптического микроскопа в проходящем свете (рисунок 1).

Ситовый состав ГСП приведен в таблице 1. Пыль исследовалась также путём магнитной сепарации. Брызги чугуна в лабораторных условиях отделялись от графита при помощи магнита.

Из таблицы 1 видно, что магнитная фракция пыли составляет более 70 % по массе, а графитная спель лишь около 30 % общего количества ГСП.

При этом металлические брызги сосредоточены в мелких фракциях, преимущественно менее 50 мкм, а во фракциях более 180 мкм практически отсутствуют. Среднемедианный размер брызг металла составил 72 мкм. Пластины графитной спели, напротив, сосредоточены в крупных фракциях и полностью отсутствуют во фракциях менее 63 мкм. Среднемедианный плоскостной размер пластин графита составил около 300 мкм. Среднемедианный диаметр всей пыли, уловленной циклонами, составил 135 мкм.

Наличие значительного количества металла в ГСП делает эту пыль менее ценной для графитовых заводов, которые установили дифференцированные цены на ГСП в зависимости от содержания углерода и затрудняет её утилизацию.

Таблица 1 — Ситовый состав ГСП из бункеров циклонов ЦН-15 миксерного отделения ККЦ металлургического комбината «Азовсталь»

Фракция, мм	Доля фракции, % по массе	Содержание магнитной части (чугун), % к общему количеству пыли	Содержание немагнитной части (графит), % к общему количеству пыли
1.6-2.5	0,08	-	0,08
1.0-1.6	0,3	-	0,3
0.4-1.0	4,0	0,1	3,9
0.315-0.4	3,7	0,16	3,54
0.18-0.315	9,4	0,5	8,9
0.125-0.18	9,9	2,7	7,2
0.1-0.125	7,6	4,5	3,1
0.071-0.1	17,8	15,5	2,3
0.063-0.071	5,6	5,52	0,08
0.05-0.063	10,8	10,8	-
-0.05	30,82	30,82	-
Всего	100 %	70,6 %	29,4 %

В таблице 2 приведен химический состав пыли из бункеров циклонов ЦН-15 миксерного отделения ККЦ меткомбината «Азовсталь». Содержание углерода в ГСП составляет всего 11 %. Основную массу ГСП составляет окисленное железо.

Анализ результатов эксперимента по исследованию свойств ГСП

Исследованиями в промышленных условиях установлено, что при применении пылеподавления азотом концентрация крупнодисперсной графитсодержащей фракции в выбросах изменяется незначительно. Так, в миксерном отделении конвертерного цеха комбината «Азовсталь» концентрация ГСП перед циклонами при подаче азота снижалась на 10-15 %, что сопоставимо с погрешностью измерения (при снижении концентрации бурого дыма на 85 %).

Подача в ковш газообразного азота приводит к изменению химического состава графитсодержащей пыли. В таблице 2 приведены средние значения содержания различных компонентов в пыли, отобранной из бункеров циклонов ЦН-15 в миксерном отделении

Таблица 2 — Химический состав графитсодержащей пыли, уловленной циклонами ЦН-15, при сливе чугуна из миксера в ковш в миксерном отделении ККЦ меткомбината «Азовсталь»

Содержание компонентов, % по массе	$Fe_{мет}$	FeO	Fe_2O_3	CaO	SiO_2	C	Другие компоненты
При сливах без пылеподавления	3.3	8.4	73	1.7	2.2	11	0.4
При подаче азота с расходом 8500 м ³ /ч	5.0	10.2	53.1	2.0	2.1	27.5	0.1
При подаче азота и отделении брызг металла магнитом	8.58	0.8	4.51	Анализ не проводился	15.5	57.7	12.91

конвертерного цеха комбината «Азовсталь» при систематической работе установки пылеподавления азотом.

Как видно из таблицы 2 применение пылеподавления азотом приводит к значительному повышению содержания углерода в ГСП за счёт снижения доли оксидов железа. Графитовые заводы охотно принимают на переработку ГСП с содержанием углерода в пыли не ниже 20 %. Графитсодержащие отходы, содержащие от 5 % до 19 % углерода, считаются некондиционными и принимаются по существенно сниженным ценам. Отходы, содержащие менее 5 % углерода, не принимаются вообще. Таким образом, улавливаемая циклонами графитсодержащая пыль, при подаче азота становится товарным продуктом, пригодным для утилизации.

Таким образом, при подаче азота произошло изменение состава ГСП. Снизилось количество мелких металлических частиц и возросла доля графитной спели. При этом общее количество ГСП изменилось незначительно, вероятно, в результате эффекта аэродинамической завесы, препятствующей выносу из ковша мелких фракций пыли.

Одновременно при подаче азота уменьшился среднемедианный размер частиц графита с 500 мкм до 175 мкм, что можно объяснить

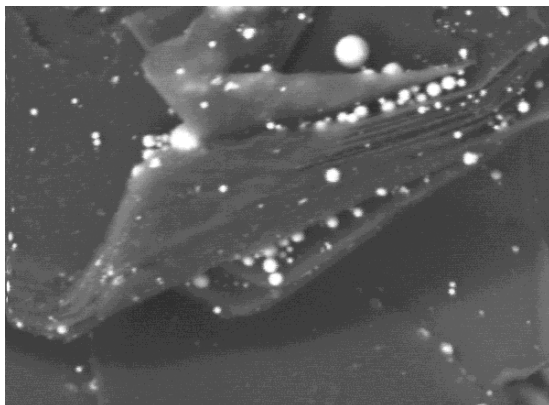


Рисунок 2 — Вид с ребра частички графитной спели. РЭМ. Контраст в отражённых электронах. Фракция 140-345 мкм. Увеличение: $\times 1500$ раз. Горизонтальный размер снимка соответствует размеру 90 мкм.

механическим разрушением крупных и относительно непрочных пластин под воздействием струй газа.

На рисунке 2 показана частичка спели, снятая с ребра. Видно, что частичка состоит из нескольких слоёв кристаллического графита, между которыми имеются вкрапления металла. Толщина отдельных слоёв графита составляет 0.6-0.8 мкм, общая толщина пластины, состоящей из нескольких слоёв, составила 14.8 мкм, край пластины расщеплён.

Оценка распределения вкраплений показала, что они гуще расположены в местах неровностей рельефа на поверхности пластин (поры, щели, выступы на стыке кристаллов и т.д.). В то же время в местах неровностей рельефа вкрапления металла образуют скопления, вплоть до сплошного слоя, размеры скоплений могут достигать нескольких десятков мкм. Учитывая совокупность свойств можно сделать вывод, что вкрапления железа образуются на поверхности графита в результате конденсации паров железа из газовой фазы.

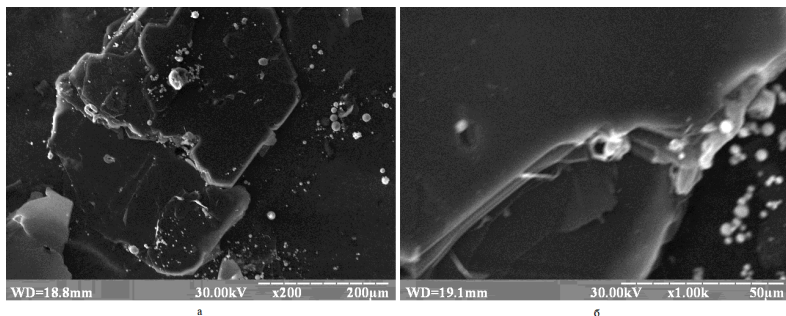


Рисунок 3 — Вид под микроскопом РЭМ-106И пылинки после второго разделения: а) увеличение в 200 раз; б) увеличение в 1000 раз.

Анализ структуры ГСП при ее расщеплении

Исследование ГСП под микроскопом проводилось с целью определения наличия в графитовой пластинке соединений железа не только на поверхности самой пластинки, но и между ее слоями, и на краях, а также в местах разлома.

Пылинку при помощи скотча расщепили несколько раз. В первом случае до второго деления, во втором – до восьмого. Затем образцы распределили на специальный углеродный скотч и поместили в микроскоп РЭМ-106И для исследования на наличие примеси железа внутри пластинки графита.

На рисунке 3а показана фотография частички графитной спели после второго деления. Из фотографии видно, большое количество вкраплений железа, которые представлены светлыми шарообразными телами.

На рисунке 3б показан снимок края частицы графита при увеличении в 1000 раз. Поскольку край пластины расщеплён, отчетливо видно наличие вкраплений железа на краях слоев пластинки. В большом количестве вкрапления железа сосредоточены в местах неровностей рельефа графитовой пластинки.

Во втором образце пылинка достигла восьмой стадии расщепления. На рисунке 4 а, б показан снимок осколка пылинки, образовавшегося при расслоении пылинки графита и находящегося от нее на небольшом расстоянии.

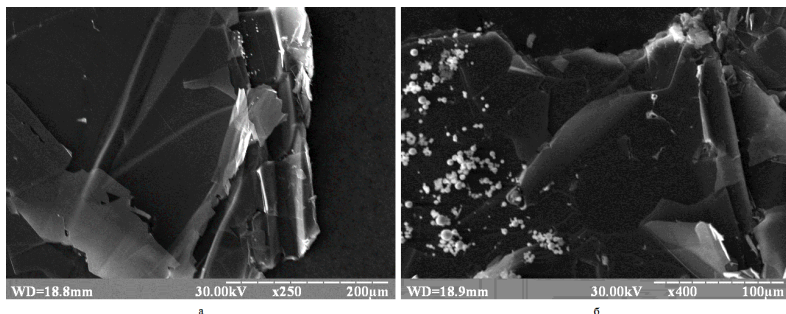


Рисунок 4 — Вид под микроскопом РЭМ-106И пылинки после восьмого разделения. а) увеличение в 250 раз; б) увеличение в 400 раз.

Видно, что на пластинке графита вкраплений железа практически не наблюдается. На основании чего можно сделать вывод, что между внутренними слоями графита вкраплений железа и его оксидов нет. Следовательно, вкрапления железа и его оксиды образуются на поверхности графита в результате конденсации их паров из газовой фазы.

Методы обогащения графитсодержащей пыли и её утилизации

Как видно из результатов исследования свойств ГСП, основной примесью к графиту являются соединения железа, которые содержатся в пыли в двух основных формах: в виде сферических брызг чугуна и в виде микроскопических вкраплений железа на поверхности графита (преимущественно в местах неровностей рельефа пластин). Поэтому и методы обогащения ГСП также можно разделить на две группы:

- 1 Отделение брызг металла.
- 2 Уменьшение количества, адсорбированного на поверхности пластин графита железа.

Отделение брызг металла можно осуществить, используя различия в свойствах графита и чугуна. Можно применить

магнитную сепарацию или отделение мелких фракций ГСП, в которых содержится основная масса брызг.

Как было показано выше, применение пылеподавления азотом приводит к повышению доли графита в ГСП и снижению количества, адсорбированного на частицах спели железа. За счёт подачи азота удаётся увеличить долю углерода в 2-3.5 раза. При этом содержание углерода в пыли тем выше, чем больше достигнутая степень пылеподавления.

Учитывая, что крупнодисперсная фракция пыли, улавливаемая циклонами ЦН-15, содержит кроме графитной спели значительное количество застывших брызг чугуна, можно дополнительно обогатить ГСП методом магнитной сепарации. В таблице 2 приведен химический состав немагнитной фракции пыли, отделённой в лабораторных условиях от ГСП, которая была уловлена циклонами в миксерном отделении конвертерного цеха меткомбината «Азовсталь» и которая содержала первоначально 27.5 % углерода (аспирационная система эксплуатировалась при систематической подаче азота на пылеподавление). При этом достигнуто повышение содержания углерода до 57.7 % (таблица 2).

Выводы

- 1 Определено, что уловленная циклонами пыль при применении пылеподавления азотом содержит более 30 % углерода и становится товарным продуктом для графитовой промышленности.
- 2 Получено, что между внутренними слоями графита вкрапленный железа и его оксидов нет. Следовательно, они образуются на поверхности графита в результате конденсации их паров из газовой фазы.
- 3 Обогащая уловленную пыль дополнительно, можно повысить процентное содержание углерода, что повысит доходы и решает проблему ее утилизации.

Список литературы

1. Недопекин Ф.В. Процессы переноса в период образования бурого дыма при переливах чугуна - Теория и практика металлургии. – 2003 - №2 (34) - С. 26-31.

2. Недопекин Ф.В. Процессы теплопереноса в брызгах чугуна, приводящих к образованию бурого дыма - Вестник Донецкого университета, сер.А. Естественные науки - №1 – 2002 - Вып. 2 - С. 270-275.
3. Недопекин Ф.В. Исследование экологической проблемы образования бурого дыма /Ф.В. Недопекин, В.А. Кравец, В.В. Бодряга и др.// - Metallurgicheskaya teplotekhnika. Сб. научн. тр. Национ. металлург. академии Украины. – Днепропетровск: Пороги, 2004. – С.221-229.
4. Кравец В. А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна/ В.А. Кравец // Монография. - Донецк: Издательство «УкрНТЭК» - 2002-186 с.
5. Алиев Г. М.-А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок. Учебник для СПТУ. - 2-е изд. - М.: Металлургия, 1980. – 368 с.
6. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве /С.Б. Старк// – М.: Металлургия, 1990. – 400 с.
7. Андоньев С.М. Пылегазовые выбросы предприятий чёрной металлургии/ С.М. Андоньев, Ю.С. Зайцев, О.В. Филиппев // - Харьков-Енакиеве: Издательство "ЕМЗ"– 1998 – 248 с.
8. В.Г. Воронов Пылеобразование в сталеплавильных агрегатах /Воронов В.Г., Новокрещенов С.А., Селиванов С.П. и др.// Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. - 1991 - №3 - С.103-105.

ECOLOGICAL RECYCLING PROBLEM OF GRAPHITE RIPE AT PIG IRON OVERFLOW

V.V. Bodryaga, F.V. Nedopekin, V.V. Bilousov
Donetsk National University, Donetsk, Ukraine
e-mail: *f.nedopekin@gmail.com*

Ecological problem of graphite dust recycling at metallurgical plants is considered. The graphite dust properties are studied. The existing of technologies enrichment of graphite dust are analyzed. Collected cyclone dust, dust control when using nitrogen contains more than 30 % of carbon and becomes marketable product for the graphite industry.

Keywords: cyclone, dag, electron microscope, pig iron.

Научное издание

Научный редактор
Колодкин Владимир Михайлович

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

Сборник статей

Выпуск 12

Компьютерный набор и верстка
Радикова Анна Владимировна

Авторская редакция

Подписано в печать 18.06.2018. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 10,12.
Гарнитура Computer Modern Roman. Бумага офсетная № 1.
Тираж 100 экз. Заказ № 18-34.

АНО «Ижевский институт компьютерных исследований»
426057, г. Ижевск, ул. К. Маркса, д. 250, кв. 55
E-mail: mail@rcd.ru Тел./факс: +7 (3412) 50-02-95