

В.А.Горохова, Л.Г.Тубольцев

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ.

Рассмотрено состояние экологической безопасности кислородно–конвертерного производства Украины. Приведены данные о вредных выбросах по стадиям конвертерного производства. Показано, что разработанные и известные в настоящее время технологии конвертерного производства в определенной степени позволяют обеспечить требования экологической безопасности окружающей среды. Рассмотрены пути решения основных экологических проблем.

кислородно–конвертерное производство, экологическая безопасность, реакции окисления углерода, технологии

Современное состояние вопроса.

Кислородно–конвертерный процесс в мире является ведущим сталеплавильным переделом, его доля от общего производства стали составляет более 70%. В Украине доля производства конвертерной стали постоянно увеличивается и в 2010 году составила 52% от общей выплавки стали. При этом уровень загрузки конвертеров достигает практически 100%. Конвертерное производство Украины включает 7 цехов с 21 конвертером ёмкостью 2х350 т; 2х300 т; 2х250 т; 12х(150 – 170 т); 3х65 т (рис.1) [1].



Рис.1. Данные о состоянии использования конвертеров в Украине (на 01.01.2010).

Наличие запасов руды и кокса, широкое развитие доменного производства подтверждает, что конвертерный передел в Украине имеет хорошие перспективы для развития. Однако, конвертерное производство, как и любое другое, является источником загрязнения окружающей природной среды, хотя по сравнению с мартеновским характеризуется лучшими условиями труда и меньшим уровнем загрязнения. В процессе продувки жидкого металлического расплава газообразным кислородом выделяется

большое количество пыли и бурого дыма, [2] что приводит к ухудшению экологических показателей окружающей среды. Однако деятельность в этом направлении не является достаточно интенсивной, а разработанные мероприятия по уменьшению количества пыли в момент выхода газов из конвертера малоэффективны.

В этой связи несомненный интерес представляет оценка влияния сталеплавильного производства, в первую очередь, на загрязнение воздушно-го бассейна. Изучение природы газообразования при обезуглероживании Fe–C расплавов представляет несомненный интерес, как для теории, так и для практики выплавки стали, поскольку позволяет установить взаимосвязи между экологическими и технологическими параметрами плавки, выявить механизм пылеобразования при продувке и выявить возможность улучшения экологических показателей кислородно-конвертерного процесса за счет изменения технологических параметров плавки.

Целью настоящего исследования является оценка влияния конвертерного производства на экологические параметры и перспективы использования современных технологий для снижения антропогенного воздействия кислородно-конвертерного производства на окружающую среду.

Изложение основных материалов исследования.

Экологические аспекты промышленной безопасности кислородных конвертеров, в части пылевыделения, включают такие вопросы, как изучение механизма пылеобразования при продувке металлического расплава газообразным кислородом, разработку мероприятий по уменьшению выноса пыли из конвертера, использование рациональных методов газоочистки, использование вторичных ресурсов, в частности железосодержащих шламов.

Процессы образования пыли в конвертере. Ранее выполненные исследования показывают, что при продувке жидкого металла в конвертере газообразным кислородом образуется отходящий конвертерный газ, выход которого изменяется в зависимости от расхода кислородного дутья, состава чугуна и лома, состава шихты и извести, высоты фурмы над уровнем ванны. Конвертерный газ содержит значительное количество плавильной пыли, мелкие частицы железа и его оксидов, мелкие фракции руды, извести и других добавок, загружаемых в процессе плавки и подхватываемых при подаче потоком выходящих из конвертера газов.

Известно, что время продувки ванны кислородом условно можно разделить на три периода: 1) начальный период, во время которого происходит преимущественное окисление шлакообразующих примесей металла; 2) период интенсивного обезуглероживания (основной период), продолжающийся до некоторого критического содержания углерода в металле; 3) заключительный период, особенностью которого является уменьшение скорости выгорания углерода и резкое увеличение скорости выгорания железа. Исследования В.И.Явойского с сотрудниками показано [3], что количество выделяющейся из металлической ванны пыли меняется по

ходу плавки, различно по разным периодам плавки и существенно зависит, в частности, от концентрации углерода. Величина удельных выбросов пыли, при верхней продувке, составляет 13–22 кг/т стали. Средняя концентрация пыли в газе изменяется в пределах 160–350 г/м³, в момент добавки сыпучих материалов эта величина кратковременно возрастает до 1500 г/м³ [4]. Авторами статьи проведено обобщение доступных данных (из литературных источников и экспериментальных исследований [2]) о количестве пыли в отходящих конвертерных газах (рис.2). Эти данные носят качественный характер, однако они позволяют сделать определенные выводы о характере пылевыделения в конвертере. Во-первых, полученные различными исследователями данные по измерению количества пылевых выбросов и размера частиц пыли значительно отличаются друг от друга. Именно этим обстоятельством можно объяснить разброс данных по количеству образующейся пыли, представленных на рис.2. До момента достижения концентрации углерода $C_H = 2,3\%$ экспериментальные данные отличаются на порядок, разброс составляет от 3 до 10 раз. Во-вторых, подтверждается существенная зависимость количества пылевых выбросов от содержания углерода в металле. В третьих, представленные данные свидетельствуют о необходимости более тщательного изучения природы пылеобразования в конвертере для возможности снижения экологической нагрузки.

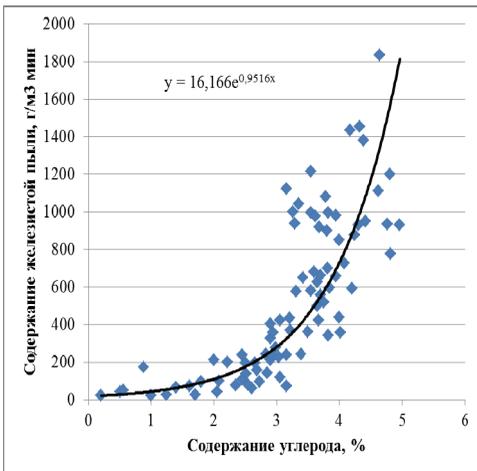


Рис.2. Зависимость содержания в отходящих газах конвертера железистой пыли («бурый» дым) от концентрации углерода в металле при продувке кислородом.

Анализ размеров пылевых частиц в конвертере (табл.1) свидетельствует о различных показателях пылевыделения по технологическим операциям и, следовательно, об особенностях пылеобразования в

различные периоды плавки. Кроме того, при продувке пылевые выбросы содержат большое количество железистой пыли, проявляющейся в виде «бурого дыма», выделение которого сопровождает процесс обезуглероживания расплава. Наибольшее количество «бурого дыма» образуется в первый период плавки [5].].

Таблица 1. Доля частиц различного размера в конвертерном газе, мкм.

Размер частиц, мкм	≥5 мкм	0,3–5 мкм	0,1–0,3 мкм	≤ 0,1 мкм
Технологическая операция:				
при загрузке металлолома, %	88	4	–	0,6
при верхней продувке, %	68	55	23	–
при выпуске стали, %	99	90	–	9

В работах по исследованию процессов пылеобразования в кислородных конвертерах до настоящего времени нет единого мнения о природе образования «бурого дыма». Одни авторы считают, что основным источником образования «бурого дыма» является испарение железа, другие – как железа, так и его окислов, третьи – магнитной окиси железа], четвертые – закиси железа (с последующей ее конденсацией) [2]. Изучение состава «бурого дыма» показывает, что выделяющиеся при продувке частицы пыли имеют непрерывный спектр размеров от миллиметров до долей микрона, при этом преобладают частицы с размером порядка 1 мкм, окрашивающие отходящие газы в бурый цвет. В то же время, наличие «бурого дыма» связывают с периодами наибольшего пылевыделения в конвертере, что требует дальнейшего изучения природы его образования.

В настоящее время наиболее распространенными являются несколько гипотез процесса пылеобразования, при выплавке стали в кислородном конвертере, в т.ч.:

- физическое испарение металла и оксидов на поверхности реакционной зоны и корольков металла;
- испарение брызг металла при разрыве корольков в струе кислорода под влиянием образующегося оксида углерода.

Одной из причин образования «бурого дыма» может являться наличие железистой пыли, которая образуется за счет легколетучих соединений железа и окиси углерода (карбониллов), например $\text{Fe}(\text{CO})_5$. Эту гипотезу подтверждает то, что интенсивное образование «бурого дыма» наблюдается в первый период плавки при больших концентрациях углерода (до концентрации углерода $C_n = 2,3\%$)[6]. Однако гипотеза, основанная на том, что образование «бурого дыма» происходит только в тех случаях, когда металл содержит большое количество углерода, не подтверждается экспериментальными данными, поскольку его образование наблюдается также и на заключительных этапах плавки, когда углерода в стали очень мало, но происходит интенсивное выгорание железа.

Повышенное пылеобразование в первый период плавки (при содержания углерода более 2%), вероятно, связано со структурой расплава. В пользу этого говорит тот факт, что при высоком содержании углерода (более 1,7÷2,0%) в поверхностных слоях расплава усиливается образование дефектов, облегчающих отделение и переход в газовую фазу атомов

железа или молекул его окислов. Возможность протекания графитизации расплава в первый период плавки также должно увеличивать испарение железа или его окислов. С этих позиций увеличение концентрации в чугуне графитообразующих элементов, таких как никель и кремний, способствует увеличению образования пыли. Кроме того, при содержании углерода $>2\%$ окисная пленка на поверхности реакционной зоны быстро восстанавливается углеродом расплава, а при содержании углерода менее 2% устойчивость пленки возрастает по мере уменьшения содержания углерода. Другими словами присутствие на поверхности реакционной зоны устойчивой окисной пленки способствует уменьшению процесса пылеобразования.

В этой связи можно говорить о том, что образование «бурого» дыма связано с интенсивностью дутья и с процессами интенсивного кипения ванны металла во время продувки. [6]. При увеличении интенсивности кислородной продувки пылевыделение увеличивается, что связано не только с увеличением испарения железа, а и с выносом мелких фракций сыпучих и увеличением уноса газом брызг металла. Увеличение интенсивности подачи кислорода и его рассредоточения сопровождается увеличением пылевыделения (пропорционально интенсивности кислородной продувки и количеству сопел в фурме). Для снижения пылевыделения необходимо согласование интенсивности дутья с количеством сопел в фурме – критерием этому может служить наличие определенного уровня шлака в конвертере, который служит активным фактором подавления пыли. Режим шлакообразования, который может определять процесс пылевыделения из конвертера, тесно связан с конструкцией фурмы и интенсивностью дутья. При улучшении процесса шлакообразования количество выделяемой из ванны пыли снижается, причем установлено, что меньше всего пыли выносятся в том случае, если шлак вспенивается приблизительно через 60% времени от начала продувки. Фактом непрерывного увеличения количества шлака в конвертере по ходу продувки можно, в известной мере, объяснить уменьшение пылеобразования по мере выгорания углерода.

Вероятным механизмом пылеобразования при продувке являются процессы диспергирования поверхностного слоя расплава в результате термического удара при взрыве капель и пузырей, а также при срыве окисных пленок, выброшенных из ванны металла при кипении. Согласно данной гипотезе [2] максимальные термические напряжения, возникающие в поверхностном слое металла микроскопической толщины, превышают прочность жидкого металла на разрыв вблизи плохо смачиваемых металлом микроскопических графитизированных включений. Вблизи этих включений при термическом ударе в металле появляются микроскопические трещины, рост и слияние которых приводит к образованию микроскопических капель металла, то есть к образованию пыли. Кислород,

проникая в образовавшиеся трещины, реагирует с железом и чешуйками графита, образующийся оксид углерода вызывает отрыв микроскопических частичек поверхностной пленки (чешуек) от массы металла и выброс их в газовую фазу.

Исследованиями установлено изменение концентрации плавильной пыли и ее зависимость от ряда технологических параметров: периода продувки, подачи сыпучих материалов, интенсивности дутья, конструкции фурмы, давления отходящих газов, режима шлакообразования, высоты фурмы над ванной, температуры металла и т.д. [4]. Проведенные в ИЧМ исследования на 1,5 тонном лабораторном конвертере позволили подтвердить, что интенсивность пылеобразования меняется по ходу плавки и ее условно можно разбить на три периода. [7].

Концентрация пыли в основной период продувки составляет 120÷200 г/м³ и существенно отличаются по данным различных авторов. Значительный уровень пылевыведения может наблюдаться при подаче извести через тракт сыпучих материалов, что приводит к резким кратковременным повышениям концентрации пыли в эти периоды до 350÷2400 г/м³. Возрастание запыленности газов при присадке извести объясняется, во-первых, уносом конвертерным газом ее мелких фракций; во-вторых, вызываемого ею прироста газовыведения; в третьих – более интенсивным дроблением шлака и уносом его частиц.

Известно, что значительную роль в процессе пылеобразования играет температура реакционной зоны, с повышением которой усиливается испарение металла и тем самым возрастает выделение «бурого» дыма. В принципе, температуру достаточно легко можно регулировать путем подачи веществ, способных поглощать часть тепла, выделяющейся в реакционной зоне, а также путем интенсивного перемешивания ванны, как с помощью двухъярусной фурмы, так и с помощью механического вращения конвертера. К таким веществам можно отнести воду (пар), железную руду (пыль), порошковую известь, металлизированные и окисленные окатыши, металлическую стружку.

Эффективным средством уменьшения процесса образования пыли является повышение давления в системе. Так по экспериментальным данным при повышении давления газов в рабочем пространстве конвертера до 4 атм. пылевыведение уменьшается в 5 раз. [6] Однако работа кислородных конвертеров с повышенным давлением технически трудно осуществима и приведет к увеличению продолжительности плавки.

Результаты проведенного анализа показывают, что в технологии кислородно–конвертерного производства имеются возможности и технические решения, позволяющие уменьшить пылеобразование при продувке за счет технологических факторов и использования современных технологий.

Утилизация конвертерного газа. Современные конвертеры оснащены системами отвода и очистки газа, полного или частичного дожигания ок-

сида углерода до CO_2 , либо системами, в которых конвертерный газ отводится без дожигания оксида углерода. На рис.4 представлена схема газоотводящего тракта конвертера без дожигания отходящих газов, что позволяет использовать конвертерный газ в энергетическом балансе металлургического предприятия.

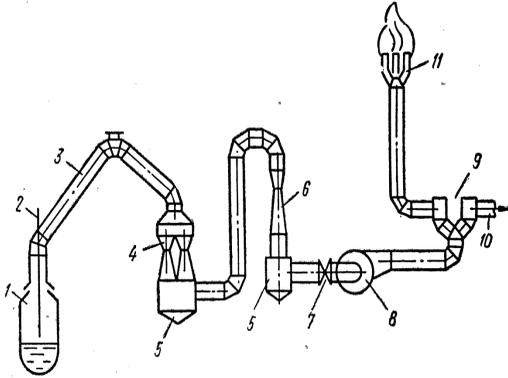


Рис.4. Схема газоотводящего тракта конвертера без дожигания отходящих газов: 1 – конвертер; 2 – подача кислорода; 3 – котел-охладитель; 4 – трубы Вентури 1-ой степени; 5 – сброс конденсата; 6 – трубы Вентури 2-ой степени; 7 – дроссель-регулятор; 8 – нагнетатель; 9 – клапан-переключатель газа; 10 – газ к потребителям (газгольдер); 11 – сброс в атмосферу.

Отвод газа из конвертера без дожигания и с частичным дожиганием сопряжён с возможными выбросами монооксида углерода в атмосферу. Количество сбрасываемого монооксида углерода в атмосферу при отводе газа без дожигания составляет в пределах $0,15\text{--}0,30\text{ м}^3/\text{т}$ стали в зависимости от способа очистки газа (мокрого или сухого), состава газа и интенсивности кислородной продувки. При отводе газа с частичным дожиганием количество сбрасываемого в атмосферу CO составляет $3\text{--}5\text{ м}^3/\text{т}$ стали [8]. В настоящее время сведения о реализации каких либо способов, исключающих выбросы CO с конвертерным газом, отсутствуют. Следует учесть, что при добавлении известняка по ходу продувки выделяется значительное количество CO_2 , которое нужно учитывать отдельно.

Согласно экологическим требованиям системы пылеулавливания, установленные за конвертерами, должны обеспечить очистку газа до концентрации $80\text{--}100\text{ мг}/\text{м}^3$. Ввиду высоких температур отходящих конвертерных газов (температура газа на выходе из конвертера составляет $1300\text{--}1800^\circ\text{C}$) и наличия в них значительных количеств оксида углерода, получили преимущественное распространение системы мокрой очистки газов с использованием в качестве основного пылеулавливающего аппарата высоконапорный скруббер Вентури [8,9]. Между конвертером и газоотводящим трактом всегда имеется зазор, обеспечивающий возможность поворачивать конвертер при загрузке скрапа, заливке чугуна, выпуске стали и сливе шлака. По периметру газовой струи, поступающей в газод, подсасывается наружный воздух, приводящий к дополнительному сгоранию окиси углерода. Таким образом, при использовании дожигания в систему газоочистки поступают продукты сгорания конвертерных

газов. Химический состав конвертерного газа при полном дожигании CO и интенсивности продувки кислородом $10 \text{ м}^3/\text{с}$ составляет, % (объемн.): 31 – CO_2 ; 60 – N_2 ; 9 – O_2 . Кроме того, в газе содержится, мг/м³: до 50 – SO_2 ; 100 – F и 10 – C. Запыленность газа на выходе из конвертера в среднем составляет до 200—250 г/м³. [9] Часть пыли осаждается в газоотводящем тракте и котле–утилизаторе и перед газоочисткой ее концентрация не превышает 50 г/м³.

Для уменьшения влияния выбросов на окружающую среду многие передовые в техническом отношении страны пошли по пути создания укрытий над конвертерами с последующей очисткой на спиральных установках.

Использование конвертерного газа. Использование высокоэффективных газоочистных систем с организацией полной и комплексной утилизацией отходов позволит увеличить технико–экономические показатели производства стали и значительно снизить уровень загрязнения окружающей среды. Конвертерный газ является высококачественным технологическим и энергетическим топливом. В нем (в зависимости от степени дожигания) основной составляющей является CO (до 90%) и CO_2 , и в незначительном количестве (до 1%) содержатся N (азот), H (водород) и O (кислород). Такой состав газа обуславливает высокую теплоту его сгорания (8,5–9,2 МДж/м³). Количество конвертерного газа, выходящее из конвертера составляет 60–80 м³ на 1 т садки, а температура в горловине конвертера близка к температуре металла в конвертере и составляет 1400–1700⁰С. [9] Без очистки и охлаждения газ можно использовать для подогрева шихтовых материалов конвертерной плавки и как восстановитель железорудного сырья.

Для использования конвертерного газа в качестве топлива или химического сырья он должен быть предварительно охлажден перед газоочисткой до 200–300⁰С и соответственно очищен от пыли. Для охлаждения применяются несколько способов: разбавление воздухом; впрыск воды; оборудование газохода водоохлаждаемыми каминами или экранами; выработка пара в котлах–утилизаторах за счет физической теплоты конвертерных газов или продуктов их сгорания. Чаще всего эти способы комбинируются.

Газы на выходе из кислородного конвертера содержат энергию 0,95–1,05 МДж/т стали (20% физического тепла и 80% химической энергии). Использование теплоты газов позволяет сэкономить до 30 тыс. т условного топлива на 1 млн. т. стали. [10] Таким образом, применение конвертерного газа в качестве топлива является одним из резервов топливно–энергетических ресурсов металлургического предприятия.

Конвертерный шлак. Образующиеся в сталеплавильном производстве шлаки содержат железо (до 24% в виде оксидов и до 20% в металлической форме в виде «корольков»), оксиды марганца (до 11%), оксиды кальция, кремния, алюминия, магния, хрома, фосфора и сульфиды железа и мар-

ганца, такие как CaO, MgO, MnO, CaF₂, FeO. [11] Удельный выход конвертерного шлака определяется сырьевой базой и техническим уровнем развития конвертерного передела, а накапливаемое (неиспользуемое) количество – уровнем шлакопереработки и готовности предприятий к применению способов и мер, обеспечивающих максимальное использование шлаков в качестве оборотного продукта.

Таким образом, конвертерный шлак содержит ценные для металлургического передела компоненты. Это позволяет использовать конвертерный шлак взамен известняка в аглодоменном производстве, в вагранках литейных цехов, в мартеновских печах. Текущий годовой выход таких шлаков на Украине составляет около 8 млн.т, а степень использования таких шлаков в настоящее время не превышает 40–45%. Половина массы перерабатываемых шлаков идёт на изготовление морозостойкого и прочного щебня, 30% используется в качестве оборотного продукта (в виде флюсов для ваграночного и аглодоменного производства), около 20% перерабатывается в удобрения для сельского хозяйства (высокоосновные и фосфоритные шлаки), часть шлаков идёт на изготовление минераловатных изделий [12]. Вовлечение в производство чугуна всего количества конвертерного шлака позволит в целом по Украине сократить расходы агломерата на 1000, известняка на 1200, кокса на 150–180, марганцевой руды на 50–70 тыс.т. При этом существенно улучшится экологическая обстановка вблизи металлургических предприятий за счёт ликвидации шлаковых отвалов.

Содержание CaO в известняке и в конвертерном шлаке находится примерно на уровне 46–52%. С экономической и экологической точек зрения использование конвертерного шлака взамен известняка в металлургическом переделе очень выгодно, так как позволит снизить расход природных шихтовых материалов и кокса, а также сократить выбросы углекислого газа и пыли. [13] Комплексный подход к решению экологических проблем конвертерного производства позволит существенно улучшить экологическую обстановку на металлургических комбинатах страны и в прилегающих к ним регионах Украины.

Заключение.

Направления по повышению экологической безопасности в сталеплавильном производстве можно разделить на три группы:

разработка малоотходных технологий производства металла, включая технологии и приемы уменьшения пылевыведения;

разработка принципиально новых производительных и экономических схем очистки сбросов и выбросов загрязняющих веществ;

полная комплексная переработка образующихся отходов.

Переход к принципиально новым технологиям производства металлопродукции с учетом экологических требований приведет к максимальным ресурсо- и энергосберегающим, а также природоохранному эффектам. В современных условиях это может быть достигнуто только на основе ком-

плексности использования первичного и вторичного сырья, внедрения малоотходных и безотходных технологий, повышения уровня межотраслевой кооперации и координации работ в вопросах утилизации отходов и защиты окружающей среды. В этом заключается суть безотходной технологии, определяемой как комбинированная структура производства, комплексно перерабатывающая сырье, рационально использующая природные ресурсы, утилизирующая в экономически целесообразных пределах основную часть отходов и не наносящая ущерб окружающей среде.

Повысить экологическую безопасность работы кислородных конвертеров можно за счет совершенствования и оптимизации технологии и технологических приемов, к которым можно отнести:

комбинированную продувку, обеспечивающую экономию шлакообразующих, чугуна, ферросплавов и повышение выхода годного металла;

технологию плавки с рафинированием и доводкой состава металла в ковше;

оптимизацию режима продувки, обеспечивающую уменьшение потерь металла с выносами и выбросами;

десульфурацию чугуна в ковше и доставку жидкого чугуна в ковшах миксерного типа для сохранения температуры чугуна;

увеличение доли лома в шихте и предварительный его нагрев;

ввод твёрдых углеродосодержащих добавок в агрегат;

увеличение степени дожигания CO до CO₂ в полости конвертера;

утилизация конвертерных газов в газгольдере без дожигания CO с последующим их использованием для энергетических и технологических нужд металлургического предприятия.

применение отходов в качестве шлакообразующих.

1. *Харахулах В.С., Лесовой В.В., Мельник В.М.* Состояние сталеплавильного производства на предприятиях объединения «Металлургпром» и перспектива его развития до 2015 года. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2010. – №3. – С.4–11.
2. *Кравец В.А., Темнохунд В.А.* Экспериментальные исследования образования бурого дыма при переливах чугуна / *Наукові праці ДонНТУ // Металургія.* Випуск 11 (59).
3. *Явойский В.И., Дорофеев з.А., Повх И.Л.* Теория продувки сталеплавильной ванны. – М.: *Металлургия*, 1974. – 494 с.
4. *Свяжин А.Г.* Механизм образования пыли при производстве стали // *Сталь.* – 1999. – №12.– С.78–81.
5. *Филипов С.И., Крашенников М.Г., Бородин А.Н.* Динамика газообразования и кипения при обезуглероживании Fe – С расплавов // *Известия вузов. Черная металлургия* – 1977 – №5 – С8 – 12.
6. *Меркер Э.Э.* Проблемы дожигания оксида углерода и утилизации пыли в конвертере. – М.: *Металлургия*, 1996 – 191 с.

7. Семькин С.И., Поляков В.Ф., Семькина Е.В., Кияшко Т.С. Особенности пылевыведения при выплавке металла в условиях наложения на ванну низковольтных электрических потенциалов // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Сб. тр. ИЧМ.– Вып.21. – 2010. – С.149–154.
8. Ужов В.Н. и др. Очистка промышленных газов. М.: Химия, 1981. – 392 с
9. Андоньев С.М., Филипьев О.В. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. – М.: Металлургия, 1979 – 192с.
10. *Электронный ресурс*, Website:www.ipcc-nggip.or.jp. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов.
11. Довгопол В.И. Использование шлаков черной металлургии. Изд. 2 – е, перераб. и доп. М.: Металургия, 1978 – 168 с.
12. Кудрин В. А. Современные конвертерные технологии и проблемы ресурсосбережения / *Сталь*. – 2006. – №10. – С.17
13. Квитко М.П., Афанасьев С.Г. Кислородно – конвертерный процесс. М.: Металлургия, 1974. – 343 с.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, проф. В.Ф.Поляковым*

В.О.Горохова, Л.Г.Тубольцев

Екологічні аспекти промислової безпеки роботи кисневих конвертерів.

Розглянуто стан екологічної безпеки киснево-конвертерного виробництва України. Приведено дані щодо шкідливих викидів по стадіях конвертерного виробництва. Показано, що розроблені і відомі нині технології конвертерного виробництва до певної міри дозволяють забезпечити вимоги екологічної безпеки доквілля. Розглянуто шляхи вирішення основних екологічних проблем.