

УДК 669.184.244.66:669.184.235.001.5

ИЗУЧЕНИЕ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА ХАРАКТЕРА ПОТЕРЬ ЖИДКОСТИ С БРЫЗГАМИ В ВАРИАНТЕ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Семькин С.И., к.т.н., старший научный сотрудник отдела металлургии
стали (isisevmykin@gmail.com)

Голуб Т.С., к.т.н., научный сотрудник отдела металлургии стали (dove@email.ua)

Семькина Е.В., научный сотрудник отдела металлургии стали (isisevmykin@gmail.com)

Дудченко С.А., научный сотрудник отдела металлургии стали (s.dudchenko@meta.ua)

Вакульчук В.В., младший научный сотрудник отдела металлургии стали

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины
(49050, Украина, г. Днепр, пл. Академика Стародубова, 1)

Аннотация. Основным и решающим фактором продувки в кислородных конвертерах является взаимодействие высокоскоростной струи кислорода с расплавленной ванной. Характер этого взаимодействия определяет гидродинамику и величину потерь металла с выносами и выбросами, исследование которых наиболее доступно с помощью холодного моделирования. В работе приведены результаты лабораторных исследований на изготовленной в масштабе 1:30 физической модели 160-т конвертера. Изучали влияние дутьевых режимов на характер разбрызгивания жидкости при ее продувке через фурму с пятисопловым наконечником на 10 горизонтах по высоте модели по трем зонам рабочего объема модели конвертера: прифурменной, пристеночной и зоне выноса за пределы модели, что на практике соответствует интенсивности формирования гарнисажа на фурме, горловине конвертера и элементах ОКГ. Выявлено, что общее количество брызг жидкости, выносимой за пределы модели, носит экстремальный характер в зависимости от уровня расположения фурмы с заметным снижением количества брызг при нулевой высоте ее расположения над жидкостью, а также выше определенных значений. Установлена возможность снижения интенсивности формирования брызг и величины потерь жидкости в пределах исследованных зон за счет применения низковольтного электрического потенциала: при отрицательной полярности в большей степени в прифурменной и в пристеночной зонах, а при положительной полярности – за пределы модели. Выявлено, что начало практического влияния потенциала и максимальная величина «полезной» мощности, выделяемой в подфурменной зоне, определяются конкретным сочетанием значения давления перед соплом и уровнем расположения наконечника фурмы: чем выше давление перед соплом, тем выше необходимо располагать фурму для достижения максимальных значений «полезной» мощности. Выполненные на физической модели эксперименты при продувке солевых водных растворов газами с использованием электрических потенциалов показали возможность расширения области применения разрабатываемого метода на процессы, не связанные с металлургией.

Ключевые слова: физическое моделирование, продувка жидкой среды, пятисопловая фурма, электрический потенциал.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-10-755-759

Основным и решающим фактором продувки в кислородных конвертерах является взаимодействие высокоскоростной струи кислорода с расплавленной ванной. Характер этого взаимодействия определяет гидродинамику и тепло-массообмен конвертерной ванны, а также величину потерь металла с выносами и выбросами [1 – 5]. Принципы организации дутьевого режима в настоящее время являются одинаковыми для конвертеров различной емкости [6 – 10], поэтому в большегрузных ЛД-конвертерах из-за концентрации дутья неизбежно возникают сложности при организации циркуляции металла по всему объему сталеплавильной ванны. Это в значительной мере влияет на интенсивность разбрызгивания продуваемой среды, а следовательно, и на уровень потерь металла с выносами и выбросами при его продувке, а значит актуальным остается поиск рациональных дутьевых режимов.

С целью получения дополнительных знаний о гидродинамике конвертерной ванны и особенностях раз-

брызгивания жидкой среды при ЛД-процессе, в том числе в условиях подвода низковольтного электрического потенциала [11], в настоящей работе были выполнены исследования на физической модели 160-т конвертера, изготовленной в масштабе 1:30.

Для моделирования конвертерной продувки жидкой стали, в том числе с наложением низковольтного потенциала, использовали водные растворы поваренной соли, которые продували нейтральным газом через верхнюю пятисопловую фурму (угол наклона сопел 20°). Исследование базировалось на дифференцированной по 10 горизонтам высоты модели (от 10 калибров сопла над жидкостью с шагом 20 калибров до горловины) оценке интенсивности брызгообразования на двух участках по радиусу: зона «А» – вблизи фурмы (имитация движения жидкости в подфурменной зоне и набрызгивания среды на фурму); зона «Б» – в направлении стенки модели (имитация набрызгивания расплава

на стенку и горловину). Оценка проводилась в течение одной минуты путем сбора жидкости в вертикально расположенные пробоотборники, которые после взвешивались на электронных весах АХИС-0005 (точность измерения 0,5 мкг). Также оценивали величину потерь жидкости, выносимой за пределы модели, – зона «В», характеризующая образование настыли на элементах охладителя конвертерных газов, путем взвешивания модели с жидкостью до и после продувки с учетом количества жидкости в пробоотборниках. Продувка проводилась при положении фурмы 0, 10, 20, 40 и 60 калибров относительно уровня спокойной жидкости при давлении газа перед соплом 0,5; 1,0; 2,0 и 3,0 ати. Эксперименты проводились по вариантам: без воздействий электрического потенциала (вариант 1), с подведением к фурме отрицательного полюса источника тока (вариант 2) и с подведением к фурме положительного полюса (вариант 3). В рамках экспериментов соблюдался неизменным дутьевой режим продувки.

Исследования показали, что интенсивность брызгообразования и связанное с этим наполнение каплями отдельных пробников по горизонтам изменяется по экспоненциальной зависимости, снижаясь в десятки раз при переходе к верхним уровням.

На рис. 1 для примера приведены диаграммы изменения общей массы собранной жидкости по зонам при давлении перед соплом 2 ати. Полученные результаты для продувки без воздействий коррелируются с известными тенденциями, присущими ЛД-процессу [12 – 15]. В зоне «А» отмечается практически постоянное количество собранных брызг, не изменяющееся в зависимости от высоты размещения фурмы в модели. При этом количество брызг увеличивалось

с повышением давления продувочного газа или его расхода на одно сопло, что определяется соответствующим изменением импульса высокоскоростной струи в месте встречи с поверхностью жидкости.

Установленные эффекты поясняются тем, что источником образования капель жидкости является подфурменная зона газодинамического дробления жидкости вследствие неустойчивого состояния пленки на поверхности пульсирующей лунки.

При расположении фурмы высоко над уровнем жидкости капли брызг, сформированные в подфурменной зоне, посредством аэродинамических потоков активно выносятся к стенке модели и за ее пределы, а брызги, сформированные на низких горизонтах в зоне «А», вследствие инжекционного турбулентного движения газо-жидкостного потока вблизи фурмы, имеют возможность возвращаться в объем жидкой ванны. В случае приближения наконечника фурмы к поверхности жидкости интенсивность брызгообразования снижается вследствие более глубокого проникновения газовых струй в жидкость, причем минимальный уровень был зафиксирован при расположении наконечника фурмы вблизи касания с поверхностью, когда создаются условия полного затопления газового потока в жидкую среду. При этом в определенных условиях, определяемых положением фурмы, в подфурменной зоне за счет инжекции газовой струи может формироваться целостный и частично замкнутый вихревой газо-жидкостный поток, в пределах которого создаются постоянные условия образования брызг.

При анализе результатов опытов с применением низковольтного потенциала (варианты 2 и 3) установлено их постоянно присутствующее положительное

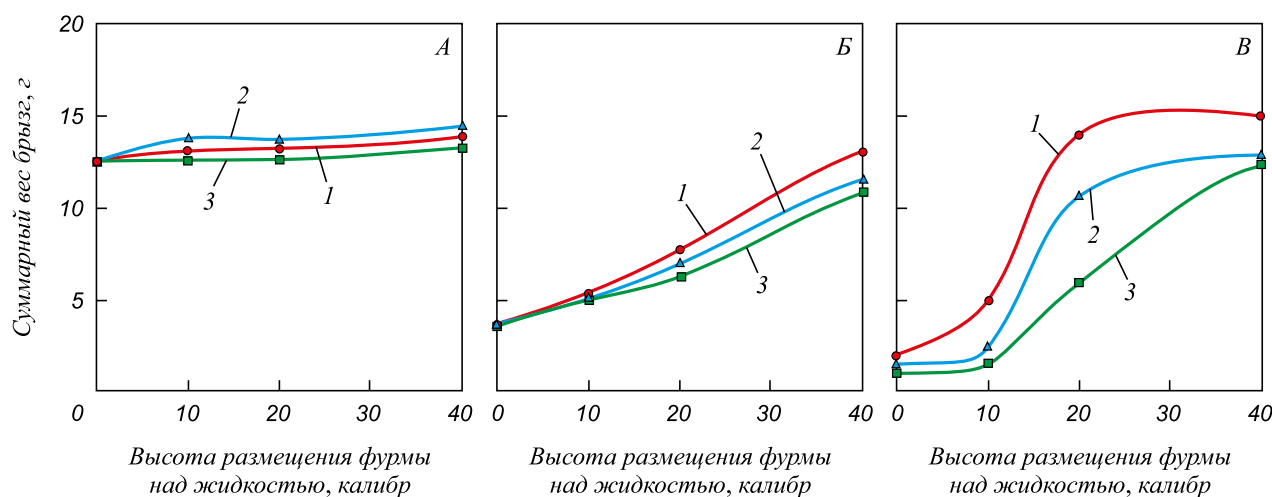


Рис. 1. Изменение суммарного количества брызг, собранных накопителями, расположенными в трех участках модели (давление газа перед соплом 2 атм): «А» – в зоне фурмы, «Б» – вдоль стенки модели, «В» – общий вынос брызг за пределы модели в зависимости от высоты расположения пятисопловой фурмы по вариантам исследования: 1 – без воздействий; 2 – на фурме отрицательная полярность; 3 – положительная

Fig. 1. Change of total quantity of splashes collected by the stores that are located in three model sites (gas pressure before a nozzle is 2 atm.): “А” – in a lance zone, “Б” – along the model wall, “В” – the general sloping of splashes out of the model depending on height of arrangement of five nozzle lance by research options: 1 – without influences; 2 – negative polarity of potential on the lance; 3 – positive polarity

влияние на снижение интенсивности формирования брызг во всем исследованном диапазоне положений фурмы. Причем, отрицательная полярность потенциала наиболее эффективна в зонах «А» и «Б». В то же время, в зоне «В», характеризующей безвозвратные потери с выносами, наиболее сильное влияние на снижение количества потерь оказывает положительная полярность потенциала, подводимая к фурме.

Как было отмечено, подфурменная зона является источником гидро-газодинамических и ряда массообменных процессов при подаче кислорода сверху, определяющих характер и интенсивность разбрызгивания продуваемой среды, но в случае применения маломощного электрического потенциала она также является необходимым звеном в электрической цепи: источник тока – фурма – сталеплавильная ванна, а также местом полезного использования применяемой маломощной электрической энергии [16 – 20]. В связи с этим, особый интерес представляет поиск закономерностей влияния дутьевых параметров на обеспечение максимального уровня выделения электрической энергии в этой зоне, определяемой как «полезная» энергия в общем объеме энергии, затраченной на реализацию электрического воздействия.

Исследования были проведены при регистрации электрических параметров на участке фурма – ванна при использовании стабилизированного источника питания для оцениваемого ряда давлений в пределах каждого эксперимента путем плавного перемещения фурмы по высоте модели в диапазоне от 60 до 0 калибров и при заглублении от 0 до –20 калибров наконечника фурмы в жидкость (отрицательная величина калибров условно принята для характеристики заглубления на-

конечника в жидкость). Выявлено, что диаграммы изменения величины «полезной» электрической энергии на данном участке в зависимости от расположения фурмы относительно поверхности жидкости (рис. 2) носят экстремальный характер.

При опускании фурмы в диапазоне от 60 до 0 калибров, т.е. приближение ее наконечника к поверхности жидкости, отмечено увеличение уровня полезной энергии, а после достижения наибольших значений – ее снижение. С увеличением давления дутья уровень, на котором происходит максимальное выделение полезной энергии, реализуется при более высоких положениях фурмы (см. рис. 2). В частности, при давлении 3 ати максимальный уровень «полезной» энергии соответствовал положению фурмы 18 – 20 калибров. Анализ кривых рис. 2 указывает также на то, что реализация способа использования потенциала затруднительна при высоком размещении наконечника фурмы. Также и в случае погружения наконечника фурмы в жидкость (при перемещении в диапазоне от 0 до –20 калибров) величина полезной энергии существенно снижается.

Анализ влияния давления газа перед соплом в сочетании с уровнем расположения фурмы по высоте модели позволил определить закономерности газодинамического взаимодействия струй газа с жидкостью, отраженные линиями 1 – 3, соединяющими точки минимальных и максимальных значений мощности. Линия 1 отражает верхнюю границу начала проявления влияния потенциала, линия 2 – продувка через фурму с неэффективным режимом электрического воздействия, когда наконечник соприкасается со всплесками металлургического расплава, что сопровождается коротким

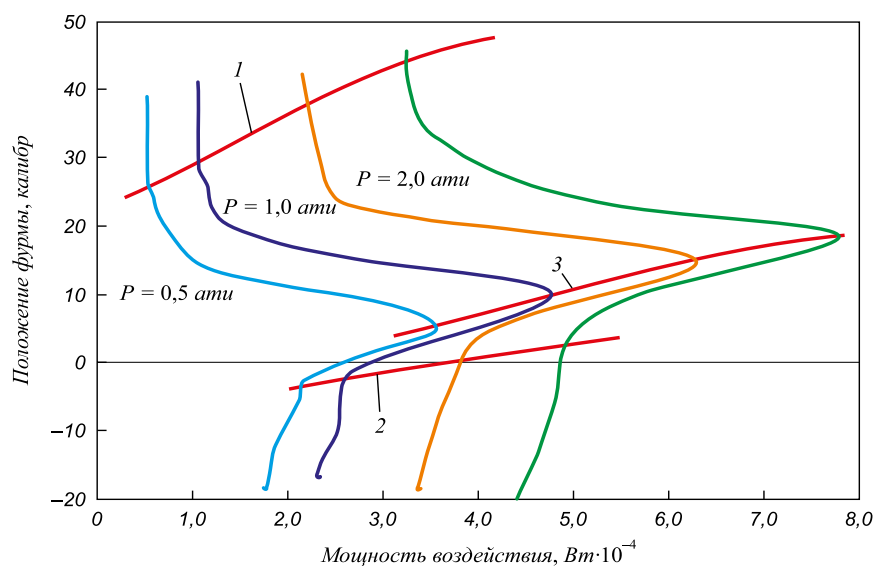


Рис. 2. Влияние положения фурмы и давления газа перед соплом на величину мощности воздействия и на граничные значения высот расположения фурмы по отношению к расплаву, определяющие режимы передачи электрической энергии жидкой ванне (1 – 3 – режимы работы фурмы)

Fig. 2. Influence of the lance position and gas pressures before a nozzle on the power level and boundary values of lance arrangement heights in relation to the melt, defining modes of electric energy transfer to a liquid bath (1 – 3 – operating modes of the lance). See explanation in the text

замыканием системы наложения потенциалов. В таком случае влияние потенциала стремится к нулю, а такая ситуация может привести к прогару наконечника. Рабочий режим перемещения фурмы находится в диапазоне между линиями 1 – 2. Линия 3 отражает положение фурмы, при котором при заданном значении давления возможно наиболее полное осуществимое влияние электрических потенциалов. При работе с положением фурмы выше линии 1 наконечник фурмы потеряет электрический контакт с ванной. Это связано с тем, что выше определенной высоты продуваемая струя не может создавать достаточное количество газо-жидкостной взвеси в подфурменной области в результате инжекции в высокоскоростной поток окружающей атмосферы и капель жидкости, посредством которой осуществляется прохождение электрического тока в цепи фурма – жидкая ванна.

Выводы. Выполненные эксперименты путем физического моделирования ЛД-процесса позволили выявить характерные особенности брызгообразования в рабочем объеме модели (в двух характерных зонах: вблизи продувочной фурмы и вблизи стенки модели) и количества брызг, выносимых за пределы модели, что на практике соответствует интенсивности формирования гарнисажа на горловине конвертера и элементах ОКГ. Установлено, что общее количество брызг жидкости, выносимой за пределы модели, носит экстремальный характер в зависимости от уровня расположения фурмы с заметным снижением количества брызг при нулевой высоте ее расположения над жидкостью, а также выше определенных значений. Экспериментально установлено, что независимо от знака полярности потенциала интенсивность разбрызгивания жидкости в изучаемых дифференцированных областях по объему модели снижается. Выявлено, что применение отрицательной полярности в большей степени оказывает влияние на интенсивность брызгообразования в прифурменной и в пристеночной зонах со снижением общей величины разбрызгивания, а применение положительной полярности снижает вынос брызг за пределы модели. Выявлено, что начало практического влияния потенциала и максимальная величина «полезной» энергии, выделяемой в подфурменной зоне, определяются конкретным сочетанием значения давления перед соплом и уровнем положения фурмы: чем выше давление перед соплом, тем выше необходимо располагать фурму для достижения максимальных значений «полезной» энергии, также смещается граница начала проявления электрических воздействий. Выполненные на физической модели эксперименты при продувке солевых водных растворов газами с использованием электрических потенциалов показали возможность расширения области применения разрабатываемого метода на процессы, не связанные с металлургией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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. № 7. С. 4 – 9.
2. Охотский В.Б. Гидродинамическая модель конвертера // Изв. вуз. Черная металлургия. 1996. № 3. С. 10 – 14.
3. Чернятевич А.Г., Шишов Б.И. Некоторые вопросы распространения кислородных струй в рабочем пространстве конвертера // Изв. вуз. Черная металлургия. 1981. № 1. С. 28, 29.
4. Чернятевич А.Г., Зарвин Е.Я., Волович М.И. Наблюдение через прозрачную стенку за поведением конвертерной ванны при продувке // Изв. вуз. Черная металлургия. 1975. № 2. С. 37 – 42.
5. Явойский А.В., Тарановский Г.А. Исследование, разработка и применение газовых потоков в конвертерных процессах производства сталей. – В кн.: Проблемы теории и практики сталеплавильного производства. – М.: Металлургия, 1991. С. 126 – 148.
6. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – Киев: Вища школа, 1979. – 277 с.
7. Баптизманский В.И. Теория кислородно-конвертерного процесса. – М.: Металлургия, 1975. – 376 с.
8. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С.В. Колпаков, Р.В. Старов, В.В. Смяктий, В.И. Лебедев и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 464 с.
9. Охотский В.Б., Козаченко Д.А. Выход годного в сталеплавильных процессах. Конвертерное производство // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 2. С. 17 – 19.
10. Охотский В.Б. Выбросы в конвертерных процессах // Металл и литье Украины. 2013. № 3. С. 26 – 32.
11. Семькин С.И., Поляков В.Ф., Борисов Ю.Н. и др. Применение электрической энергии малой мощности при выплавке стали в конвертерах: Труды первого съезда металлургов, Москва, 12 – 15 ноября 1992 г. – М.: Черметинформация, 1993. С. 55 – 57.
12. Martin M., Rendueles M., Diaz M. Hydrodynamics and mass transfer in steel converters using cold models // Proceedings 5th European Oxygen Steelmaking Conference. 26–28 June 2006, Aachen, Germany. – Dusseldorf: Verlag Stahleisen GmbH, 2006. P. 577 – 580.
13. Martin M., Diaz M. Gas-liquid and gas-liquid-liquid reactors with top and bottom blowing: I. Fluid dynamic regimes // Chemical Engineering Communications. 2002. Vol. 189. Iss. 4. P. 543 – 570.
14. Mats Brämning, Bo Björkman. Avoiding Sloppy BOS Process Behavior / Mats Brämning and Bo Björkman // Iron & Steel Technology. 2010. Vol. 7. No. 11. P. 66 – 75.
15. Brahma Deo, Aart Overbosch, Bert Snoeijer etc. Control of Slag Formation, Foaming, Slopping, and Chaos in BOF // Transactions of the Indian Institute of Metals. 2013. Vol. 66. Iss. 5. P. 543 – 554.
16. Степанов В.П. Межфазные явления в ионных солевых расплавах. – Екатеринбург: Наука, 1993. – 316 с.
17. Степанов Е.М., Дьячков Б.Г. Ионизация в пламени и электрическое поле. – М.: Металлургия, 1968. – 312 с.
18. Ванюков А.В., Кириллин И.И., Зайцев В.Я. Двойной электрический слой на границе раздела металлургических расплавов // Цветные металлы. 1970. № 3. С. 22 – 26.
19. Шаров А.Ф., Степанов В.П. Зависимость между плотностью заряда и скачком потенциала на границе раздела жидких металлов с расплавленными солями: Труды института электрохимии УНЦ АН СССР. 1974. № 21. С. 39 – 43.
20. Семькин С.И. Исследования в 1,5-т конвертере характера окисления примесей чугуна при подведении к сталеплавильной ванне низковольтного потенциала // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. 2005. Вып. 11. С. 96 – 105.

Поступила 19 мая 2016 г.

STUDY OF THE INTERRELATIONS OF BLOWING PARAMETERS, OPTIONS OF ELECTRIC INFLUENCE AND NATURE OF LIQUID SPRAYING BY PHYSICAL MODELING

S.I. Semykin, T.S. Golub, E.V. Semykina, S.A. Dudchenko, V.V. Vakul'chuk

Institute of Ferrous Metallurgy named after Z.I. Nekrasov, Ukrainian National Academy, Ukraine, Dnepr

Abstract. The main and decisive factor of blowing in oxygen converters is interaction of high-speed oxygen jet with a molten bath. The features of this interaction determine hydrodynamics and level of metal losses with slopping and spitting. Their study is most accessible with cold modeling. The paper presents results of laboratory studies on the physical model of a 160 ton converter manufactured at a scale of 1:30 to study the influence of blowing modes on character of liquid spraying. It is blown through a lance with five nozzle tips at 10 horizons in model height on three zones of working volume of converter model: area near lance, area near the wall and out-of-model area. That in practice corresponds to intensity of formation of skull on the lance, on converter mouth and on elements of the fume gas collecting system. It was found that the total amount of liquid sprays carried out of the model is extreme and depends on level of lance position, with a noticeable decrease in the amount of sprays at zero height above the liquid, and above certain values. The possibility of reducing of the intensity of splashing formation and the level of liquid loss within the investigated zones was determined by applying a low-voltage electric potential: with negative polarity in the area near the lance and near the walls, and with positive polarity – out of the model. It was revealed that beginning of practical influence of the potential and the maximum value of “useful” power allocated in the sublance zone is determined by specific combination of pressure before the nozzle and the level of tip of the lance: the higher the pressure in front of the nozzle is, the higher lance position is needed to reach maximum values of “useful” power. The experiments, conducted on physical model during blowing of saline solutions with gases at using of electric potentials, have shown possibility of extending the scope of developed method to processes not related to metallurgy.

Keywords: physical modeling, blowing of liquid bath, five nozzle lance, electric potential.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-10-755-759

REFERENCES

1. Kharakulakh V.S., Lesovoi V.V., Mel'nik V.M. Condition of steel-smelting production at the enterprises of “Metallurgprom” and prospects of its development till 2015. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2010, no. 7, pp. 4–9. (In Russ.).
2. Okhotskii V.B. Hydrodynamic model of BOF. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 1996, no. 3, pp. 10–14. (In Russ.).
3. Chernyatevich A.G., Shishov B.I. Distribution of oxygen streams in working space of BOF. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 1981, no. 1, pp. 28, 29. (In Russ.).
4. Chernyatevich A.G., Zarvin E.Ya., Volovich M.I. Observation through the transparent wall over the behavior of converter bath during blowing. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 1975, no. 2, pp. 37–42. (In Russ.).
5. Yavoiskii A.V., Taranovskii G.A. Research, development and application of gas streams in converter processes of steel production. In: *Problemy teorii i praktiki staleplavil'nogo proizvodstva* [Problems of the theory and practice of steel production]. Moscow: Metallurgiya, 1991, pp. 126–148. (In Russ.).
6. Medzhibozhskii M.Ya. *Osnovy termodinamiki i kinetiki staleplavil'nykh protsessov* [Fundamentals of thermodynamics and kinetics of steel-smelting processes]. Kiev: Vishcha shkola, 1979, 277 p. (In Russ.).
7. Baptizmanskii V.I. *Teoriya kislorodno-konverternogo protsessa* [Theory of BOF process]. Moscow: Metallurgiya, 1975, 376 p. (In Russ.).
8. Kolpakov S.V., Starov R.V., Smoktii V.V., Lebedev V.I. etc. *Tekhnologiya proizvodstva stali v sovremennykh konverternykh tsekhakh* [Technology of steel production in modern converter shops]. Moscow: Mashinostroenie, 1991, 464 p. (In Russ.).
9. Okhotskii V.B., Kozachenko D.A. Metal yield in steel smelting process. BOF. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2006, no. 2, pp. 17–19. (In Russ.).
10. Okhotskii V.B. Emissions at converter processes. *Metall i lit'e Ukrainy*. 2013, no. 3, pp. 26–32.
11. Semykin S.I., Polyakov V.F., Borisov Yu.N. etc. Application of low power electric energy at steel smelting in converters. In: *Trudy pervogo s'ezda metallurgov, Moskva, 12 – 15 noyabrya, 1992* [Proc. of the 1st Congress of Metallurgists, Moscow, November 12–15, 1992]. Moscow: Chernetinformatsiya, 1993, pp. 55–57. (In Russ.).
12. Martin M., Rendueles M., Diaz M. Hydrodynamics and mass transfer in steel converters using cold models. In: *Proceedings 5th European Oxygen Steelmaking Conference. 26-28 June 2006, Aachen, Germany*. Dusseldorf: Verlag Stahleisen GmbH, 2006, pp. 577–580.
13. Martin M., Diaz M. Gas-liquid and gas-liquid-liquid reactors with top and bottom blowing: I. Fluid dynamic regimes. *Chemical Engineering Communications*. 2002, vol. 189, Iss. 4, pp. 543–570.
14. Mats Brämning, Bo Björkman. Avoiding sloppy BOS process behavior. *Iron & Steel Technology*. 2010, vol. 7, no. 11, pp. 66–75.
15. Brahma Deo, Aart Overbosch, Bert Snoeijer etc. Control of slag formation, foaming, slopping, and chaos in BOF. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2013, vol. 66, Iss. 5, pp. 543–554.
16. Stepanov V.P. *Mezfaznye yavleniya v ionnykh solevykh rasplavakh* [Interphase phenomenon at ionic saline melts]. Ekaterinburg: Nauka, 1993, 316 p. (In Russ.).
17. Stepanov E.M., D'yachkov B.G. *Ionizatsiya v plameni i elektricheskoe pole* [Ionization in flame and electrical field]. Moscow: Metallurgiya, 1968, 312 p. (In Russ.).
18. Vanyukov A.V., Kirillin I.I., Zaitsev V.Ya. Double electric layer at the interface of metallurgical melts. *Tsvetnye metally*. 1970, no. 3, pp. 22–26. (In Russ.).
19. Sharov A.F., Stepanov V.P. Dependence between the charge density and the leap of potential at the interface between liquid metals and molten salts. *Trudy instituta elektrokhimii AN SSSR*. 1974, no. 21, pp. 39–43. (In Russ.).
20. Semykin S.I. Research in 1,5 – t converter of oxidation character of hot metal impurities at imposition of low voltage to the steel smelting bath. *Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoi metallurgii*. 2005, no. 11, pp. 96–105. (In Russ.).

Information about the authors:

S.I. Semykin, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Department of Steel Metallurgy (isisemykin@gmail.com)

T.S. Golub, Cand. Sci. (Eng.), Research Associate of the Department of Steel Metallurgy (dove@email.ua)

E.V. Semykina, Research Associate of the Department of Steel Metallurgy (isisemykin@gmail.com)

S.A. Dudchenko, Research Associate of the Department of Steel Metallurgy (s.dudchenko@meta.ua)

V.V. Vakulchuk, Junior Researcher of the Department of Steel Metallurgy

Received May 19, 2016