

**С. И. Семькин, Т. С. Голуб, С. А. Дудченко, В. В. Вакульчук, Е. В. Семькина**

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

## **Изучение особенностей формирования и выноса капель при продувке одно- и двухфазной жидких сред на модели LD-конвертера**

*Приведены результаты сопоставительных исследований на физической модели LD-конвертера по влиянию дутьевых параметров на вынос капель при продувке газовыми струями однофазной и двухфазной жидкостей, что на практике определяет уровень потерь металла при конвертерной плавке. Показано, что метод наложения низковольтного потенциала применим в технологических вариантах с продувкой электропроводной жидкости. В условиях данных экспериментов для обеих полярностей потенциала, подводимого к фурме, получено заметное снижение интенсивности выноса (потерь) жидких сред из модели. Установлено, что величина электрической мощности, реализуемой на участке фурма-жидкая ванна, определяет степень влияния электрических воздействий и может служить характеристикой при оптимизации процесса взаимодействия газового потока с жидкой ванной.*

**Ключевые слова:** физическое моделирование, продувка сверху, брызгообразование, однофазная и двухфазная жидкости, низковольтный потенциал.

Эффективность продувки в кислородных конвертерах напрямую зависит от степени оптимизации взаимодействия высокоскоростной струи кислорода с расплавленной ванной. Характер этого взаимодействия определяет гидрогазодинамику и тепломассообмен в конвертерной ванне, а также существенно влияет на величину потерь металла с выносами и выбросами [1-6]. Принципы организации дутьевого режима в настоящее время, являясь схожими для конвертеров различной емкости, в полном объеме учитывают закономерности процесса разбрызгивания ванны, а значит актуальным остается поиск сбалансированных рациональных дутьевых режимов и методов внешнего физического воздействия на сформированную во время продувки газожидкостную струю, способствующих ресурсосбережению при конвертерной плавке.

На лабораторной установке ИЧМ была выполнена серия модельных сопоставительных экспериментов при продувке одно- и двухфазной жидких сред, моделирующих соответственно металлическую и шлако-металлическую фазы, с целью исследования закономерностей влияния параметров дутьевого режима на процесс выноса брызг из подфурменной зоны за пределы модели, а также оценки возможности применения метода наложения низковольтного потенциала [7] на физических моделях.

**Методика и условия проведения опытов.** Рабочей средой при моделировании металлического и шлакового расплавов были выбраны водный 1%-ный солевой раствор и полиметилсилоновое синтетическое масло-ПМС-200, характеризующиеся близкими значениями кинематической вязкости с металлом и шлаком соответственно. В основу методики контроля разбрызгивания жидкостей было положено одновременное улавливание на уровне горловины модели как направленного потока крупных капель (результат дробления газовой струей жидкости

в подфурменной области), так и выносимых из зоны продувки восходящим газовым потоком мелких капель в виде тумана. Крупные капли фиксировали с помощью бумажных фильтров, а мелкие капельки – с помощью ватных фильтров, размещенных соответственно на конусовидной и верхней части горловины модели.

Поскольку продувку в конвертере условно можно разделить на продувку металлического расплава без шлака, что наблюдается в начальный период плавки, и на продувку с наведенным шлаком, были смоделированы обе ситуации. Выполнено по 45 опытов с одно- и двухфазной жидкостями. При проведении последних присаживали по 0,4 кг ПМС-200, что имитировало характерную для украинских и ряда зарубежных предприятий ситуацию, при которой к концу продувки в реальном конвертере формируется шлаковая фаза в количестве 10 % от веса жидкой ванны. Продувку осуществляли азотом через трех сопловую верхнюю фурму с диаметром сопел 1,4 мм и углом их отклонения от оси фурмы 20° при фиксированном давлении газа 1,0; 1,5; 2,0 ати. Положение фурмы изменяли от 5 до 30 калибров относительно уровня водного раствора.

Для выявления особенностей влияния электрических воздействий исследования проводили по три эксперимента при одинаковых дутьевых режимах: вариант № 1 – без электрических воздействий, вариант № 2 – с подведением к продувочной фурме отрицательного полюса источника тока, и вариант № 3 – с подведением положительного полюса источника тока.

**Результаты опытов и их обсуждение.** В реальных условиях продувка в конвертере представляет собой динамический процесс перемещения фурмы, управляемый оператором или программируемым процессором, и реализуемый путем плавного ступенчатого опускания фурмы в начале продувки до рабочего уровня, а в конце продувки – ее подъемом

и выводом из конвертера. Подобный режим перемещения фурмы был смоделирован при неизменном расходе газа с непрерывной записью дутьевых и электрических параметров продувки на персональный компьютер (ПК). В качестве примера на рис. 1 показаны диаграммы записи параметров для двух опытов при ступенчатом перемещении фурмы при фиксированном давлении газа перед соплами 1 и 2 ати. Регистрировали по ходу эксперимента: давление газа перед соплами, изменение веса модели с помощью тензометрического датчика (характеризующего динамический напор струи на жидкую ванну) и силу тока в цепи фурма-ванна. Следует обратить внимание на колебательный характер изменения величины динамического напора газовой струи с измеренной частотой порядка 1,5-2,0 Гц, что, очевидно, отражает развитие волнообразования в рабочем объеме модели. Из диаграмм видно, что амплитуда пульсации динамического напора струи при перемещении фурмы то периодически возрастала до экстремальных значений (различного уровня), соответствовавших примерно 40, 20 и 10 калибрам расположения наконечника фурмы над уровнем жидкости по высоте модели, то заметно снижалась. Вероятно, наблюдаемый эффект колебания газожидкостной системы является результатом сложения двух противоположно направленных по оси модели импульсов сил: с одной стороны, силы газодинамического напора набегающей на жидкость газовой струи, имеющей, как известно, ударно-волновую структуру, характеризующуюся возникновением по длине струи областей уплотнения и разрежения, а с другой стороны, силы воздействия обратного направленного газодинамического удара, периодически возникающего при схлопывании всплывающих пузырей в месте внедрения газового потока с выбросом навстречу газовой струе части жидкости, окружающей такой пузырь. Как результат, процесс разбрызгивания жидкости в подфурменной зоне наследует пульсирующий и волнообразный характер процесса взаимодействия газо-жидкостного потока с жидкой ванной, что отражается в характерном изменении интенсивности выноса из подфурменной зоны крупных и мелких капель, зафиксированных фильтрами при различных высотах расположения фурмы (рис. 2). Графики получены путем анализа результатов по разбрызгиванию капель жидкости при трех давлениях газа перед соплами при перемещении фурмы от 30 до 5 калибров в условиях продувки однофазной жидкости (сплошные линии) и двухфазной жидкости (пунктирные линии) для трех исследованных вариантов. Из полученных графиков видно, что резонансный эффект в формировании брызг жидкости наиболее

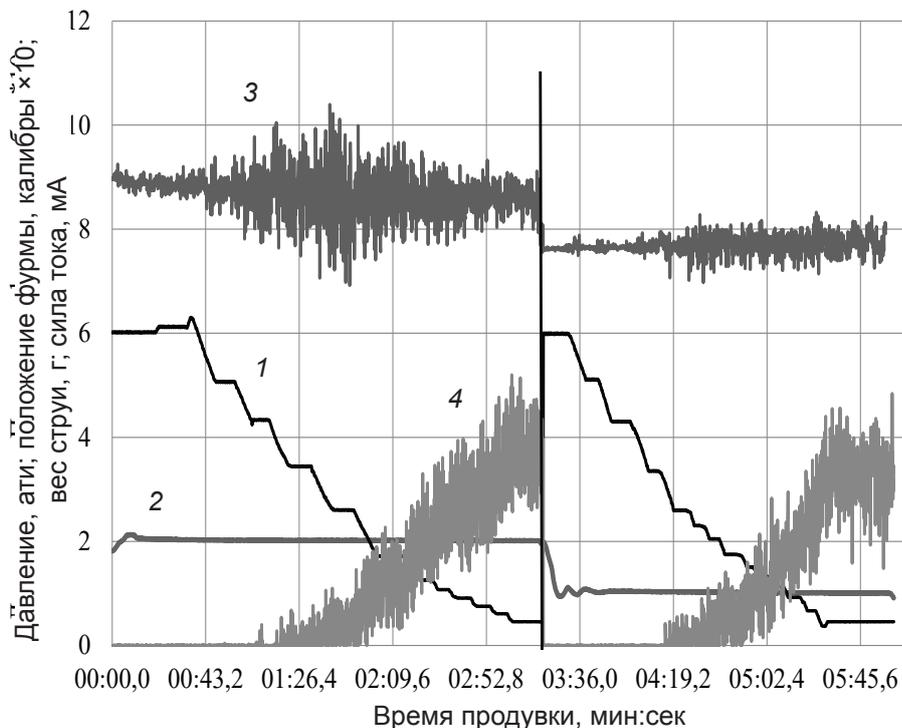


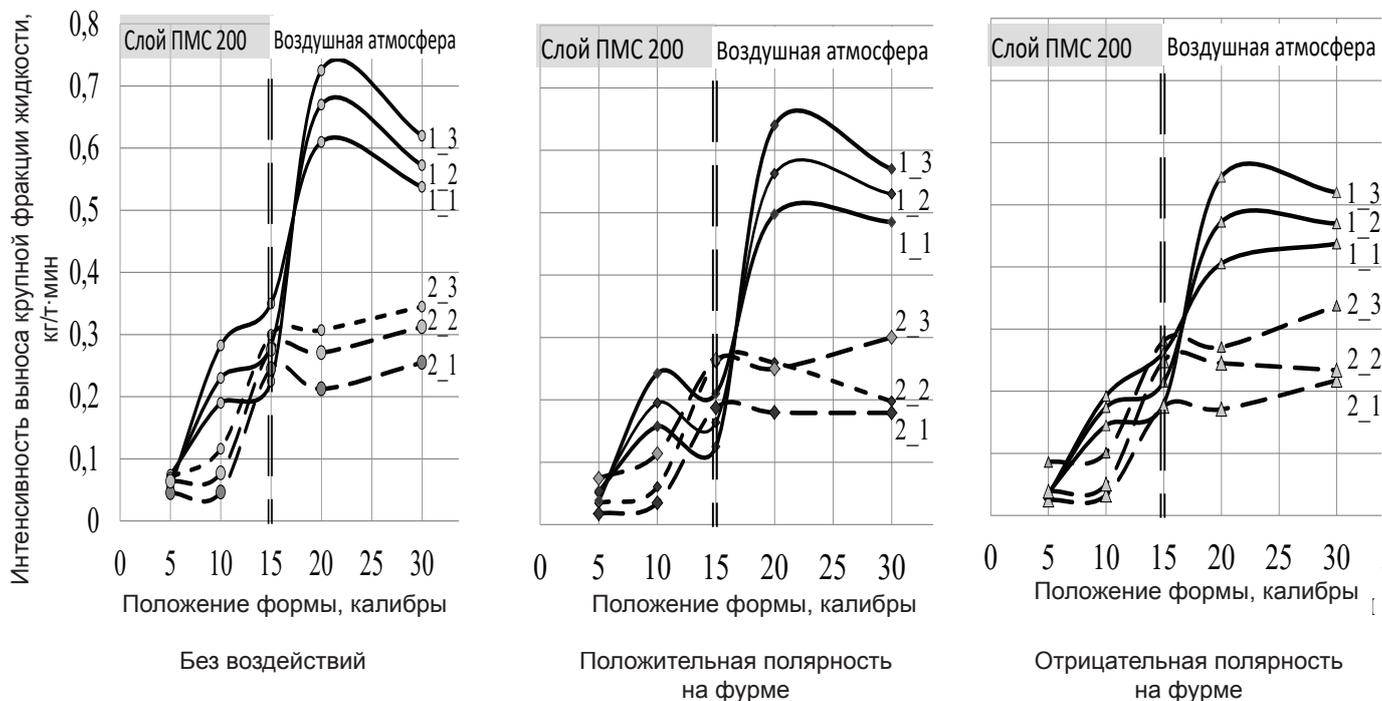
Рис. 1. Диаграмма изменения регистрируемых параметров при продувке однофазной жидкости при давлении 2 и 1 ати: 1 – высота расположения фурмы; 2 – давление газа перед соплом; 3 – тензометрические измерения динамического напора струи; 4 – сила тока

ярко проявился в опытах с продувкой однофазной жидкости при расположении фурмы на высоте 20-ти и 10-ти калибров, что соответствовало приведенным выше значениям максимумов амплитуды динамического напора струи. Причем по величине значений максимум выноса капель жидкости при высоком расположении фурмы был примерно в 2 раза выше, чем при более низком ее расположении.

Полученное существенное снижение количества собранных крупных капель при приближении наконечника фурмы к поверхности жидкой ванны можно объяснить изменением угла максимального разбрызгивания из подфурменной зоны, что и приводит к уменьшению доли капель, направленных в сторону горловины модели, где расположены фильтры.

В табл. 1 приведены результаты усредненных удельных величин разбрызгивания крупных капель водного раствора, имитирующего металлическую фазу, в случае продувки однофазной и двухфазной жидкостных сред при расположении фурмы на высоте 20 калибров по изучаемым вариантам.

Установлено, что в опытах с применением низковольтных потенциалов величина удельной интенсивности разбрызгивания крупных капель в сторону горловины модели снижается на 12-34%, особенно при отрицательной полярности, когда эффект примерно в два раза выше, чем при положительной полярности. Природу данного эффекта, вероятно, можно объяснить известным влиянием электрического потенциала на величину поверхностного натяжения на границе жидкость-газ, что приводит к затруднению в образовании дополнительной поверхности формирующихся капель жидкости. Определенную роль может оказывать также процесс коагуляции капель



**Рис. 2.** Диаграммы изменения при трех опытных вариантах интенсивности выноса крупных водных капель от высоты расположения фурмы в условиях продувки однофазной жидкости – линии 1\_1; 1\_2 и 1\_3 и двухфазной жидкости – линии 2\_1; 2\_2 и 2\_3, соответственно фиксированному давлению газа: 1,0; 1,5 и 2 ати

Таблица 1

**Удельные потери водного раствора в виде крупных капель при расположении фурмы на высоте 20 калибров**

Опытный вариант	Удельные потери водного раствора в виде крупных капель (кг/т·мин) при давлении азота (ати):		
	1	1,5	2
продувка однофазной жидкости			
Вариант 1	0,610	0,670	0,725
Вариант 2	0,400 (-34%)	0,473 (-29%)	0,545 (-25%)
Вариант 3	0,497 (-19%)	0,569 (-15%)	0,640 (-12%)
продувка двухфазной жидкости			
Вариант 1	0,210	0,270	0,310
Вариант 2	0,170 (-19%)	0,240 (-10%)	0,270 (-13%)
Вариант 3	0,180 (-14%)	0,253 (-7%)	0,250 (-16%)

в электрическом поле в более крупные, что затрудняет их вынос в верхние горизонты модели.

В опытах с использованием двухфазной жидкости в условиях продувки, идентичных используемым в опытах с однофазной жидкостью, установлено существенное общее снижение уровня интенсивности разбрызгивания водного солевого раствора (примерно в 2,3-2,9 раза), а также наличие переломного момента при перемещении наконечника фурмы из газовой среды в масляную жидкость, которая в условиях эксперимента занимала слой толщиной 15 калибров над водным раствором (на графике помечено вертикальной пунктирной линией).

Применение электрического потенциала в опытах с двухфазной жидкостной средой не показало столь существенного результата влияния, как при продувке однофазной электропроводной жидкости, что объясняется заведомо меньшими значениями развиваемой мощности электрического воздействия за счет

присутствия масляной прослойки, практически не проводящей электрический ток.

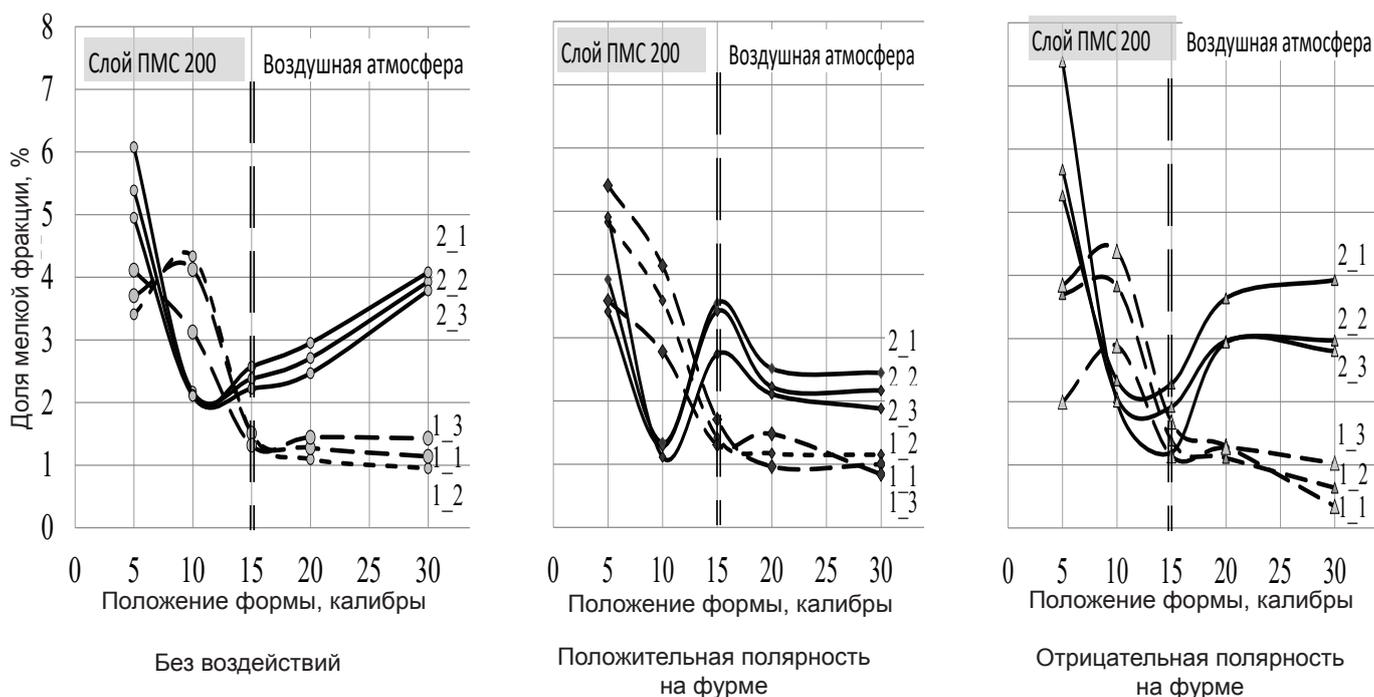
Следует отметить, что при продувке двухфазной жидкости при расположении фурмы ниже 15 калибров интенсивность выноса крупных капель сближается по величине для однофазной и двухфазной жидкостей, что отражает переход работы фурмы из режима открытого кратера к заглубленной продувке, причем преимущество использования вариантов с электрическими потенциалами сохраняется, так как количество выносимых капель уменьшается примерно в 1,5 раза. Полученный эффект существенного снижения интенсивности разбрызгивания капель при продувке двухфазной жидкости для всех исследованных вариантов, по-видимому, связан с покровным эффектом масляного слоя и обусловлен характерной для ПМС большей, чем у водного раствора, вязкостью, что в значительной мере снижает интенсивность дробления покрытой эмульсией жидкости на капли.

Поскольку за счет разбрызгивания потери определяются не только выносом крупных капель, но и мелких, уносимых восходящим газовым потоком в виде тумана, во время экспериментов изучен характер выноса капель мелкой фракции, доля которых в условиях эксперимента составляла порядка 6-8 % от общих потерь жидкости. Диаграммы, приведенные на рис. 3, получены путем анализа результатов выноса мелких капель жидкости при трех давлениях газа перед соплами при перемещении фурмы от 30 до 5 калибров в условиях продувки однофазной (сплошные линии) и двухфазной жидкости (пунктирные линии) для трех исследованных вариантов. Установлено, что применение низковольтного потенциала способствует снижению количества выносимых из модели мелких капель на 14-23 % по сравнению с обычной продувкой. В ходе экспериментов также установлено, что проводимость участка в цепи фурма-ванна, определяемая величиной силы тока, зависела от полярности подводимого потенциала, что указывает на формирование полупроводниковых свойств на участке фурма-ванна. Так, при подведении к фурме отрицательной полярности, значения силы тока были на 15-20 % больше, чем при подведении положительной полярности.

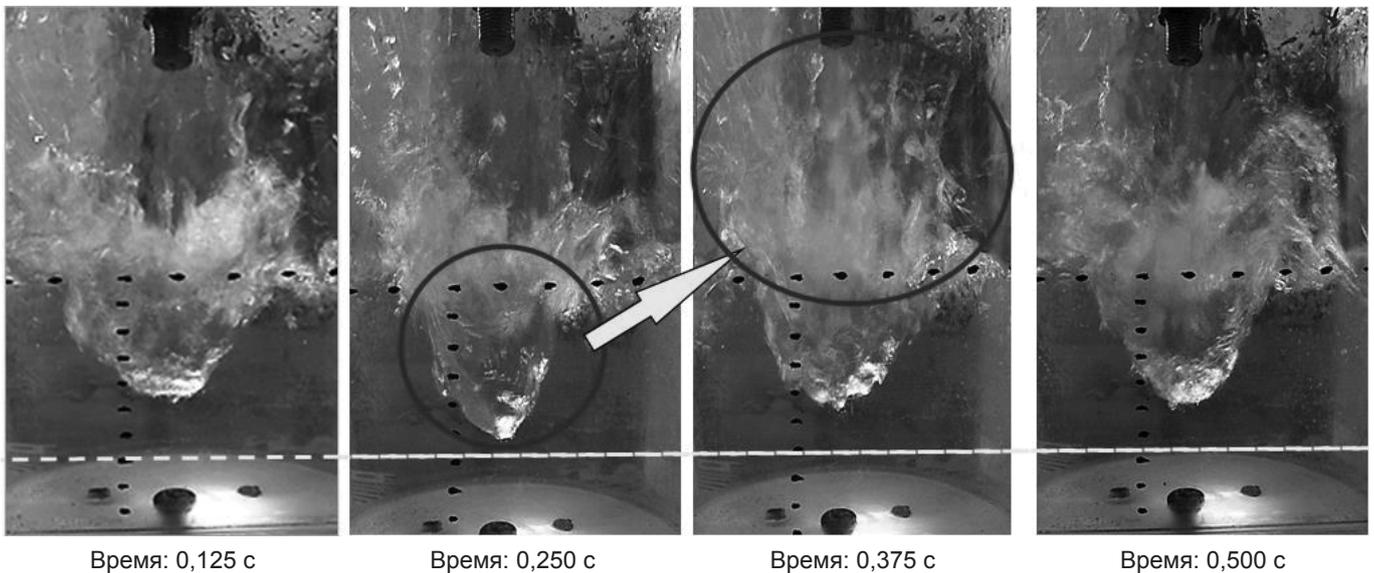
В целом, механизм направленной электрической проводимости и установленного влияния на процесс разбрызгивания жидкости при подведении электрических потенциалов, можно пояснить тем, что при мелком дроблении капельки жидкости приобретают избыточный электрический заряд определенной полярности, следуя ионной природе продуваемых электропроводящих сред, который взаимодействует с электрическим полем, удерживающим их в подфурменной зоне и придающим им направленное движение, фиксируемое во время опытов как электрический

ток. При таком моделировании в качестве рабочей жидкости использовали водный раствор поваренной соли, которая диссоциирует на ионы натрия, заряженные положительно, и ионы хлора, заряженные отрицательно, которые образуют с молекулами воды комплексные диполи. В опытах с подведением отрицательного полюса от источника тока к фурме, а положительного – к электроду, контактирующему с проводящей жидкостью, создаются условия по разряду ионов хлора в электрическом поле с образованием нейтральных молекул газа, удаляемых из жидкости в виде пузырьков, что повышает долю положительно заряженных ионов натрия в растворе и при дроблении придает мелким капелькам воды некомпенсированный положительный заряд. Такие частицы в электрическом поле являются дополнительными переносчиками заряда в случае подведения отрицательной полярности на корпус фурмы, увеличивая величину силы тока. Более низкие значения силы тока при положительной полярности на фурме объясняются тем, что в этом случае присутствует только проводимость крупных капель солевого раствора. Следовательно, использование в технологических вариантах (не только металлургических) сред с ионной проводимостью создает условия для целенаправленного влияния метода наложения электрического потенциала на процессы, сопровождающие продувку.

Последовательный просмотр кадров видеоматериалов подтверждает выявленный при изучении электрических и газодинамических характеристик взаимодействия газовой струи с жидкой ванной циклический пульсирующий характер изменения параметров лунки и величин силы тока, и динамического давления струи, что отражается в синхронном изменении геометрических параметров формирующейся в подфурменной зоне лунки. На рис. 4 в качестве примера



**Рис. 3.** Диаграммы изменения при трех опытных вариантах интенсивности выноса мелких водных капель от высоты расположения фурмы в условиях продувки однофазной жидкости – линии 1\_1; 1\_2 и 1\_3 и двухфазной жидкости – линии 2\_1; 2\_2 и 2\_3, соответственно фиксированному давлению газа: 1,0; 1,5 и 2 атм



**Рис. 4.** Визуализация пульсирующего характера геометрии лунки, образованной при взаимодействии газовой струи с жидкостью (пунктирная линия – максимальная глубина проникновения лунки в жидкость)

показан один из повторяющихся циклов изменения геометрии лунки, который начинается с локального углубления ее донной поверхности (на рисунке отмечено линией). Затем эта часть поверхности быстро выпрямляется, выталкивая навстречу высокоскоростной газовой струе поток жидкости, которая в результате встречного взаимодействия дробится на очень мелкие капли, выносимые из подфурменной зоны. На основании таких наблюдений предложен возможный механизм формирования фракции мелких капель (в виде тумана), заключающийся в мелкодисперсном дроблении высокоскоростной газовой струей встречного потока жидкости, отрывающейся от дна лунки за счет энергии, накопленной при создании ее поверхности и локально высвобождающейся в определенные периоды повторяющихся циклов ее пульсации (подобно кумулятивному эффекту). Это проявляется в установленном эффекте синхронного увеличения амплитуды колебания силы тока и динамического напора струи при повышении давления газа перед соплом, что сопровождается увеличением доли капель мелкой фракции, а в вариантах с применением низковольтного потенциала – и в увеличении силы тока.

Анализ количества потерь жидкости ПМС-200, имитирующей в двухфазной системе шлаковый расплав, показал, что эта величина на порядок меньше потерь водного раствора крупных капель, но больше, чем потери капель в виде тумана. Это можно объяснить сложностью образования и отрыва капель вязкого масла, а также визуально отмеченным

оттеснением газовой струей масляного слоя к стенкам модели.

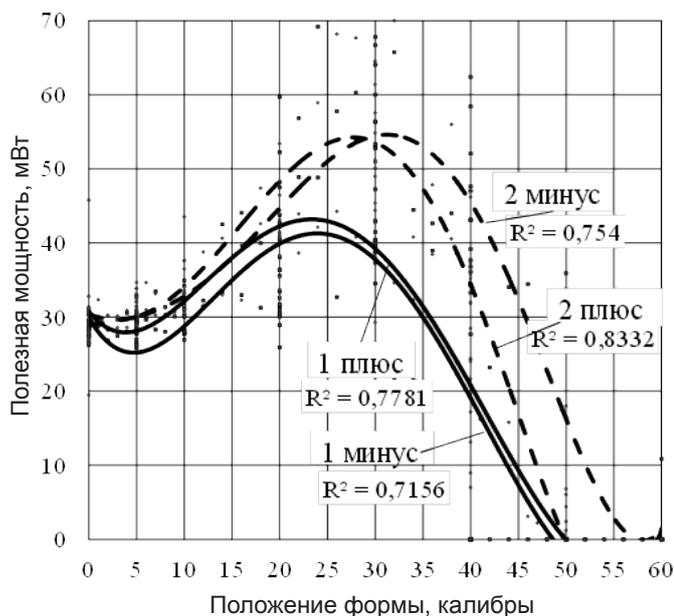
В табл. 2 в качестве примера приведены результаты усредненных удельных величин интенсивности выноса капель масляной фазы при продувке с расположением фурмы на высоте 20 калибров по вариантам. Выявлено, что применение низковольтного потенциала снижает величину выноса масляных капель на 12-38 % по сравнению с вариантом без воздействий, особенно существенно – при отрицательной полярности потенциала, причем в отличие от влияния электрических воздействий на вынос водных капель с увеличением давления газа на продувку эффект потенциалов заметно возрастает, что, вероятно, связано с оттеснением масляного слоя и все большим вовлечением части водного электропроводящего газожидкостного потока с ростом давления газа перед соплами, повышая мощность воздействия.

Положительные эффекты от применения низковольтного потенциала непосредственно связаны с передачей электрической энергии к жидкой ванне, выражающейся в величине мощности, выделяемой в подфурменной области. В связи с этим был выполнен анализ влияния дутьевых параметров на показатель мощности (рис. 5). Установлено, что величина мощности в значительной степени определяется не только величиной давления газа перед соплом, но и высотой размещения фурмы над уровнем жидкости. Так при постоянном давлении отмечен

Таблица 2

**Удельные показатели выноса капель масляной фазы при расположении фурмы на высоте 20 калибров по вариантам**

Опытный вариант	Удельные показатели выноса капель масляной фазы (кг/т·мин) при давлении азота (ати):		
	1	1,5	2
Вариант 1	0,019	0,025	0,029
Вариант 2	0,017 (-11 %)	0,020 (-20 %)	0,018 (-38 %)
Вариант 3	0,016 (-15 %)	0,021 (-16 %)	0,020 (-30 %)



**Рис. 5.** Изменение величины электрической мощности, выделяемой в подфурменной зоне, при различном расположении фурмы по высоте модели при фиксированном давлении газа перед соплом 1 и 2 ати (цифры возле линий), при подведении к фурме отрицательной полярности (минус) и положительной (плюс).

экстремальный характер изменения выделяемой мощности в зависимости от высоты расположения фурмы, причем при повышении величины давления максимум наступает при более высоком расположении фурмы и достигает более высокого уровня значений, соответствующих максимальной проводимости подфурменной области. Появление экстремума выделяемой электрической мощности определяется условиями максимального дробления жидкости на мелкие капли в виде тумана, являющиеся переносчиками электрического заряда. Этим условиям соответствует нахождение фурмы на резонансной высоте, соответствующей переходу от режима выносной струи к ее затоплению в газо-жидкостную эмульсию.

Поскольку при конвертерной плавке рафинирование металла происходит посредством развития окислительно-восстановительных реакций на границе газ-жидкость, то эффективность их протекания увеличивается с увеличением поверхности взаимодействия, что достигается в случае мелкодисперсного дробления металлического расплава. Однако в вариантах продувки, обеспечивающих максимальный эффект дробления жидкости на капли, повышается и уровень выноса жидкости (металла) из агрегата, это снижает выход жидкого металла, а значит – нецелесообразно. В связи с этим применение низковольтного потенциала, препятствующего выносу частиц

различной фракции, является основой для разработки ресурсосберегающих технологических вариантов конвертерной плавки с использованием усовершенствованных дутьевых режимов, позволяющих улучшить процесс рафинирования металла со снижением его потерь.

## Выводы

Путем физического моделирования показано, что процесс взаимодействия газовых струй с жидкостью характеризуется колебанием амплитуды динамического напора струи на ванну с периодическим ее повышением при положении фурмы на высоте 10, 20 и 40 калибров от уровня жидкости, что определяет особенности развития процесса разбрызгивания продуваемой ванны.

Установлено, что при продувке одно- и двухфазной жидких сред формируются преимущественно крупные капли водного раствора, количество которых в десятки раз больше мелких (в виде тумана), а количество масляных капель занимает промежуточное значение.

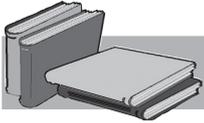
Предложен возможный механизм формирования фракции мелких (в виде тумана) капель, заключающийся в мелкодисперсном дроблении небольших объемов жидкости, периодически выбрасываемых со дна лунки навстречу высокоскоростному потоку газовой струи (подобно кумулятивному эффекту), что реализуется за счет резонансного высвобождения части накопленной потенциальной энергии поверхностного натяжения и перехода ее в кинетическую энергию.

Показано, что подведение низковольтного потенциала к фурме способствует снижению выноса водного раствора крупных капель на 12-34 %, капель мелкой фракции – на 14-23 %, а капель масла при продувке двухфазных сред – на 12-38 % в зависимости от дутьевых параметров, что на практике позволяет увеличить выход жидкого металла.

Выявлено, что более высокие значения силы тока развиваются при отрицательной полярности на фурме, которая, как показали опыты, в большей мере снижает интенсивность выноса капель из модели.

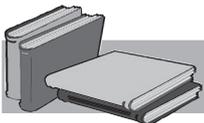
Отмечено существенное влияние масляной фазы, имитирующей шлак, на снижение интенсивности выноса жидкости за пределы модели.

Установлено, что величина электрической мощности, выделяемой в подфурменной зоне при использовании низковольтного потенциала, может служить как показателем степени влияния электрических воздействий, так и характеристикой процесса взаимодействия газового потока с жидкой ванной, в части формирования брызг жидкости.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Охотский В. Б. Гидродинамическая модель конвертера. // Известия вузов. Черная Metallургия. – 1996. – № 3. – С. 10-14.
2. Чернятевич А. Г., Шишов Б. И. Некоторые вопросы распространения кислородных струй в рабочем пространстве конвертера // Известия вузов. Черная Metallургия. – 1981. – № 1. – С. 28-29.
3. Mazumdar D., Evans J. W. Modeling of steelmaking processes. – Boca Raton, London, New York: CRS Press, Taylor and Francis Group, 2010. – p. 463
4. Singh V., Kumar J. Optimization of the bottom tuyeres configuration of the BOF vessel using physical and mathematical modeling // ISIJ International. – 2007. – Vol. 47, № 11. – p. 1605-1612.
5. Luomala M. J., Fabritius T. M. Physical Model Study of Selective Slag Splashing in the BOF // ISIJ International. – 2002. – Vol. 42, № 11. – p. 1219-1224.
6. 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.
7. Применение электрической энергии малой мощности при выплавке стали в конвертерах / С. И. Семькин, В. Ф. Поляков, Ю. Н. Борисов и др. // Труды первого конгресса сталеплавильщиков, Москва, 12-15 октября 1992 г. – М.: Черметинформация. – 1993. – С. 55-57.
8. Семькина Т. С., Семькин С. И. Влияние полярности налагаемого на конвертерную ванну электрического потенциала на состояние и химический состав шлакового расплава // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2008. – выпуск 15. – С. 125-129.
9. Степанов В. П. Межфазные явления в ионных солевых расплавах – Екатеринбург: Наука, 1993. – 316 с.



## REFERENCES

1. Ohotskii V. B. (1996). Gidrodinamicheskaya model' konvertera. [Hydrodynamic converter model]. Izvestiya VUZov. Chernaia Metallurgii. № 3, pp.10-14 [in Russian].
2. Cherniatevich A. G., Shishov B. I. (1981). Nekotorye voprosy rasprostraneniia kislородnykh strui v rabochem prostranstve konvertera. [Some problems in the oxygen jets jets in the working space of the converter]. Izvestiia VUZov. Chernaia Metallurgii. №1, pp. 28-29 [in Russian].
3. Mazumdar D., Evans J. W. (2010). Modeling of steelmaking processes. Boca Raton, London, New York. CRS Press, Taylor and Francis Group, p. 463 [in English].
4. Singh V., Kumar J. (2007). Optimization of the bottom tuyeres configuration of the BOF vessel using physical and mathematical modeling. ISIJ International. Vol. 47, no 11, pp. 1605-1612. [in English].
5. Luomala M. J., Fabritius T. M. (2002). Physical Model Study of Selective Slag Splashing in the BOF. ISIJ International. Vol. 42, no 11, pp. 1219–1224. [in English].
6. 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. [in English].
7. Semykin S. I., Poliakov V. F., Borisov Yu. N. (1993). Primenenie elektricheskoi energii maloi moshchnosti pri vyplavke stali v konverterakh. [The use of low-power electrical energy in steel production in converters]. Trudy pervogo kongressa staleplavil'shchikov, Moscow, 12-15 October, 1992. Moscow: Chermetininformaciia, pp. 55-57. [in Russian].
8. Semykina T. S., Semykin S. I. (2008). Vliianie polyarnosti nalagaemogo na konverternuiu vannu elektricheskogo potentsiala na sostoyanie i khimicheskii sostav shlakovogo raspplava. [Influence of polarity imposed on converting a bath of the electric potential on the state and the chemical composition of molten slag]. Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoii metallurgii. Issue 15, pp. 125-129. [in Russian].
9. Stepanov V. P. (1993). Mezhfaznye yavleniia v ionnykh solevykh raspplavakh. [Interfacial phenomena in ionic salt melts]. Ekaterinburg: Nauka. [in Russian].

## Анотація

Семикін С. І., Голуб Т. С., Дудченко С. А., Вакульчук В. В., Семикіна Є. В.

Вивчення особливостей формування та виносу крапель при продувці одно- та двофазного рідких середовищ на моделі LD-конвертера

Наведено результати порівняльних досліджень на фізичній моделі LD-конвертера щодо впливу параметрів продування на винесення крапель при продувці газовими струменями однофазної й двофазної рідин, що на практиці визначає рівень втрат металу при конвертерній плавці. Показано, що метод накладення низьковольтного потенціалу є таким, що використовується у технологічних варіантах при продуванні електропровідної рідини. В умовах даних експериментів для обох полярностей потенціалу, що підводиться до фурми, отримано помітне зниження інтенсивності винесення (втрат) рідких середовищ з моделі. Встановлено, що величина електричної потужності, що реалізується на ділянці фурма-рідка ванна, визначає ступінь впливу електричних дій й може бути характеристикою при оптимізації процесу взаємодії газового струменя з рідкою ванною.

## Ключові слова

Фізичне моделювання, продування зверху, бризкоутворення, однофазна і двофазна рідини, низьковольтний потенціал.

## Summary

Semykin S. I., Golub T. S., Dudchenko S. A., Vakulchuk V. V., Semykina

The study of peculiarities of formation and removal of droplets by blowing one- and two-phase liquids on the model of the LD-Converter

There are shown results of the research of blowing of monophasic and two phase liquids with gas streams on the physical model of LD-converter that on practice determine the level of losses of metal at blowing during melting in converter. It is shown that imposition of low-voltage potential is useful for technological options of blowing electric conductivity liquids. At these experiments it is obtained the decrease in intensity of liquid splitting is not depend the polarity of the potential. It is set that the level of the «useful» power that arises in a subulance area and determines degree of electric influences, depends on the height of location of lance and pressure of gas before a nozzle, and can serve as description of interaction process of gas stream with liquid.

## Keywords

Physical modeling, top blowing, splashes formation, monophasic and diphasic liquids, low-voltage potential.

Поступила 02.09.16