

**С.И.Семыкин, Т.С.Голуб, Е.В.Семыкина, С.А.Дудченко,
В.В.Вакульчук**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНВЕРТЕРНОГО
ПРОЦЕССА ОСОБЕННОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПОТЕНЦИАЛОВ НА ХАРАКТЕР РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ЖИДКОСТИ
ПРИ ПРОДУВКЕ СВЕРХУ**

Приведены результаты лабораторных исследований на физической модели LD–процесса при продувке водных сред по изучению влияния условий и дутьевых режимов на количество разбрызгивания жидкой среды внутри модели (в прифурменной и пристеночной зонах), а также на вынос капель за ее пределы. Установлен характер влияния внешних низковольтных электрических потенциалов на процесс разбрызгивания жидкости в рабочем объеме модели при различных дутьевых режимах. Показана возможность снижения выноса капель жидкости за пределы модели при подключении к фурме положительной полярности источника тока.

Ключевые слова: LD–процесс, дутьевой режим, физическое моделирование, электрический потенциал

Анализ современных научных представлений о характере взаимодействия высокоскоростных потоков продувочных газов со сталяплавиной ванный [1-3], определяющих, в том числе и различные виды потерь металла при конвертировании, показал, что в настоящее время среди исследователей металлургов не существует единого мнения о механизмах, управляющих процессом разбрызгивания жидких сред, определяющим вынос металла из конвертера при его продувке, и отсутствует эффективный способ, позволяющий существенно сократить объем этих потерь, поэтому исследования по изучению и уточнению основных факторов, влияющих на особенности и характер этого процесса, остаются актуальными.

Цель работы: исследование на физических моделях, имитирующих конвертерный процесс, влияния различных дутьевых параметров, в том числе в варианте с использованием маломощных электрических воздействий, на особенности и характер процесса разбрызгивания жидких сред.

Методика исследований. Исследования выполнены на специально изготовленной прозрачной модели, имитирующей в масштабе 1:30 по геометрии верхнюю продувку ванны в 160-т конвертере, с возможностью подвода низковольтного электрического потенциала к корпусу фурмы и к донному электроду, контактирующему с электропроводящей жидкостью [4]. Для качественного моделирования конвертерной продувки жидкой стали использовали водные растворы поваренной соли, наиболее близкие по параметру кинематической вязкости к стали, которые продували азотом или аргоном через верхние продувочные модули с числом цилиндрических сопел от одного до пяти, причем набор диаметров сопел

обеспечивал равный расход на фурму при одинаковом давлении газа перед фурмой.

Помимо известной методики физического моделирования конвертерного процесса, базирующейся на геометрических и газодинамических критериях подобия, была использована методика подвода к фурме и донному электроду низковольтных электрических потенциалов. Дополнительно была разработана методика дифференцированного контроля интенсивности разбрызгивания жидкости в двух характерных зонах рабочего объема модели (прифурменной и пристеночной), в том числе по высоте модели, а также количества выносимых капель за ее пределы. С помощью данной методики проанализирован процесс взаимодействия газовых струй с жидкостью на 10-ти уровнях по высоте модели (что в совокупности охватывает 2/3 высоты модели) по трем выбранным участкам:

Зона «А» - движение капель жидкости в направлении стенки модели (имитация набрызгивания металла на стенку и горловину конвертера);

Зона «Б» - движение жидкости вблизи фурмы (имитация движения жидкости в прифурменной зоне и набрызгивания среды на корпус фурмы);

Зона «В» - вынос капель жидкости за пределы модели (имитация заметалливания элементов охладителя конвертерных газов (ОКГ) и шлемовой части конвертера и рабочей площадки вокруг конвертера, в случае отсутствия герметизации горловины с элементами ОКГ).

В табл.1 приведены основные технологические условия проведенных 96 экспериментов (плюсами отмечены исследованные варианты, конструктивные особенности фурменного устройства и дутьевые параметры).

Таблица 1. Основные технологические условия экспериментов

Количество сопел и угол наклона к оси фурмы	Варианты внешнего воздействия			Давление, ати ¹			Положение фурмы, калибры				
	1	2	3	1,0	2,0	3,0	0	10	20	40	60
1 сопло, угол 0°	+	+	+	+	+		+	+	+	+	
3 сопла, угол 20°	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
5 сопел, угол 20°	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

¹⁾ Избыточное давление газа перед соплом.

Эксперименты, в рамках которых соблюдался неизменным дутьевой режим продувки, проводились по вариантам: без электрических воздействий (Вариант 1); с подведением к фурменному устройству отрицатель-

ного полюса источника тока (Вариант 2); с подведением к фурменному устройству положительного полюса источника тока (Вариант 3).

Обсуждение результатов экспериментов. В процессе исследований была собрана и взвешена на высокоточных электронных весах АХИС-0005 (точность измерения - 0,0005 мг) разбрызгиваемая за одну минуту продувки жидкость по 10 контролируемым уровням высоты модели в трех оцениваемых зонах. Исследования показали, что интенсивность наполнения накопителей жидкими брызгами значительно зависела от уровня их расположения относительно спокойной поверхности жидкой среды, отличаясь в десятки раз между нижним и верхним горизонтами. Установленные зависимости веса капель от высоты расположения накопителя наиболее полно отражаются в логарифмической шкале по весу улавливаемой жидкости. Анализ результатов исследования при классической верхней продувке влияния расположения фурмы относительно поверхности спокойной жидкости на суммарный вес капелек (по 10-ти горизонтам) подтвердил известные тенденции ЛД процесса по влиянию дутьевых параметров, таких как расход дутья, давление газа перед соплом, количество сопел, на уровень разбрызгивания в перечисленных выше зонах конвертерной ванны, а именно максимальное количество брызг отмечалось в зоне продувочной фурмы «А», причем количество брызг увеличивалось с повышением давления газа, подаваемого на продувку, его расхода и уменьшением количества сопел. На рис. 1-3 приведены установленные зависимости влияния положения наконечника фурмы на изменение суммарного веса капель, собранных с помощью накопителей в трех зонах («А», «Б» и «В») за одну минуту эксперимента для одно-, трех - и пятисопловой фурмы.

Как и следовало ожидать, наиболее высокая интенсивность образования брызг по изучаемым зонам была отмечена при работе односопловой фурмы, а наименьшая – при работе пятисопловой фурмы. Причем, если в зонах «Б» и «В» для всех изученных типов наконечников фурм установлены схожие тенденции по увеличению количества брызг при изменении положения фурмы по высоте модели, то в зоне «А» работа каждого наконечника фурм имела свои особенности, что отразилось на соответствующих зависимостях. Так в этой зоне, для односопловой фурмы отмечена минимизация интенсивности разбрызгивания жидкости при 20 калибрах (снижение до 45 г/мин). Указанный эффект с различным уровнем минимизации проявился и в других исследованных зонах («Б» и «В»). Для трехсопловой фурмы на диаграмме изменения интенсивности брызгообразования в зависимости от ее положения, напротив, отмечен максимум при 20 калибрах (увеличение до 33 г/мин). Для пятисопловой фурмы в контролируемой подфурменной зоны «А» характерен равномерно низкий уровень значений количества брызг, который был в 4-7 раз меньше по сравнению с односопловой фурмой и в 1,5 – 2,5 раза меньше по сравнению с трехсопловой фурмой, вплоть до подъема фурмы на высоту 40 калибров, а далее отмечен незначительный рост количества брызг.

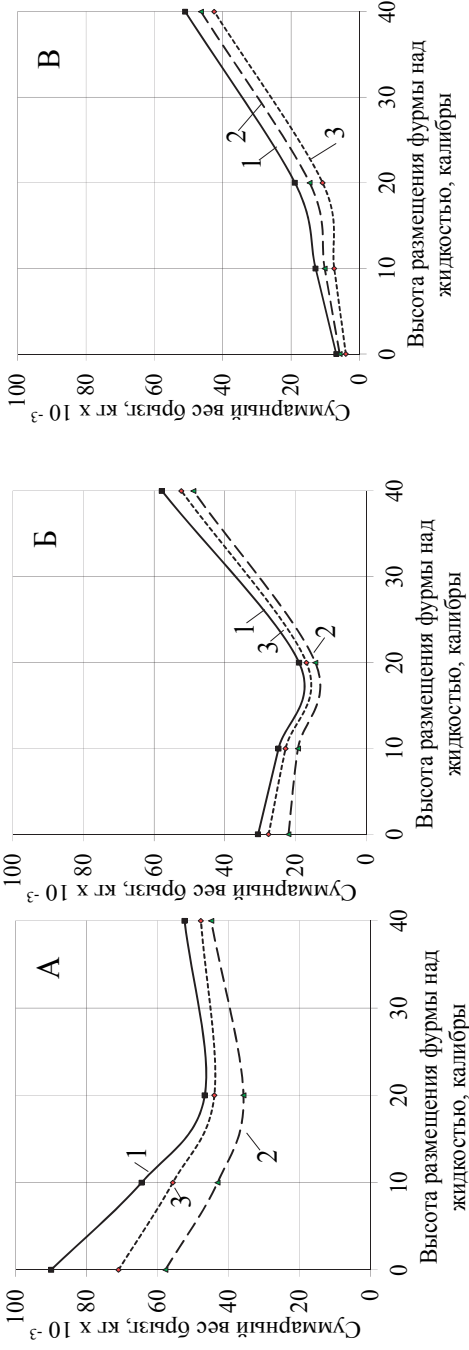


Рис.1. Изменение суммарного количества брызг, собранных накопителями, расположенными в трех участках модели: «А»- в зоне фурмы, «Б»- возле стенки модели, «В»- общий вынос брызг за пределы модели в зависимости от высоты расположения односопловой фурмы по вариантам исследования: 1 – без воздействий, 2 – на фурме отрицательная полярность, 3 – положительная

Установленные эффекты поясняются тем, что при расположении фурмы высоко над уровнем жидкости капли брызг, сформированные в подфурменной зоне, посредством аэродинамических потоков активно выносятся к стенке сосуда и за пределы модели. При этом брызги, сформированные на низких горизонтах в зоне «А», вследствие циклического движения капелек жидкости вблизи фурмы, имеют возможность частично или полностью возвращаться в объем основной жидкой среды, а в зоне «В» улавливаются только капли, которые безвозвратно выносятся газовым потоком за пределы модели.

При приближении головки фурмы к поверхности жидкости интенсивность брызгообразования в целом снижается для всех изученных фурм вследствие более глубокого проникновения газовых струй в жидкость, причем минимальный уровень зафиксирован при расположении головки фурмы в точке касания с поверхностью жидкости, когда создаются условия полного затопления газового потока в жидкую среду. При этом в определенных условиях, прежде всего определяемых положением фурмы, в фурменной зоне может формироваться целостный и частично замкнутый за счёт постоянной инъекции вихревой поток, поэтому в пределах изученных калибров уровень образования брызг в зоне «А» более постоянен и в меньшей степени зависит от ее расположения в объеме модели. Что касается брызг, уносимых за пределы модели (зона «В»), следует отметить, что при увеличении числа сопел в наконечнике фурмы интенсивность их разбрызгивания снижается примерно с 40 г/мин при односопловой до 15 г/мин - в случае применения трех - или пятисопловых наконечников. При этом в последнем случае при 20 и 40 калибрах отмечено более интенсивное брызгообразование.

При анализе результатов опытов с применением низковольтного потенциала обеих полярностей (варианты 2 и 3) установлено их постоянно присутствующее положительное воздействие на снижение интенсивности формирования брызг во всем исследованном диапазоне положений фурмы. Причем, отрицательная полярность потенциала наиболее эффективна в зонах «А» и «Б» и особенно продуктивна при работе односопловой фурмы. То есть, чем выше силовое воздействие газовых струй от фурмы на процесс образования брызг жидкости, тем в большей степени проявляется эффект уменьшения разбрызгивания за счёт электрических воздействий. В то же время в зоне «В», отвечающей за безвозвратно теряющиеся выносы, наиболее сильное влияние оказывает положительная полярность потенциала, подводимая к фурме, особенно в случае применения пятисопловых наконечников.

На рис.4 приведены графики распределения по высоте модели величин наполнения накопителей в зонах «А» и «Б» для пятисопловых наконечников фурмы. Анализ кривых наполнения за время опыта накопителей по 10 горизонтальным уровням по высоте модели указывает на определенное смещение высоты преимущественного наполнения их капельками жидкости в зависимости от варианта электрических воздействий. При применении отрицательной полярности в зонах «А» и «Б» максимум отраженного потока частично смещается к нижним горизонтам по высоте модели, а при положительной полярности частично перемещается к верхним горизонтам модели.

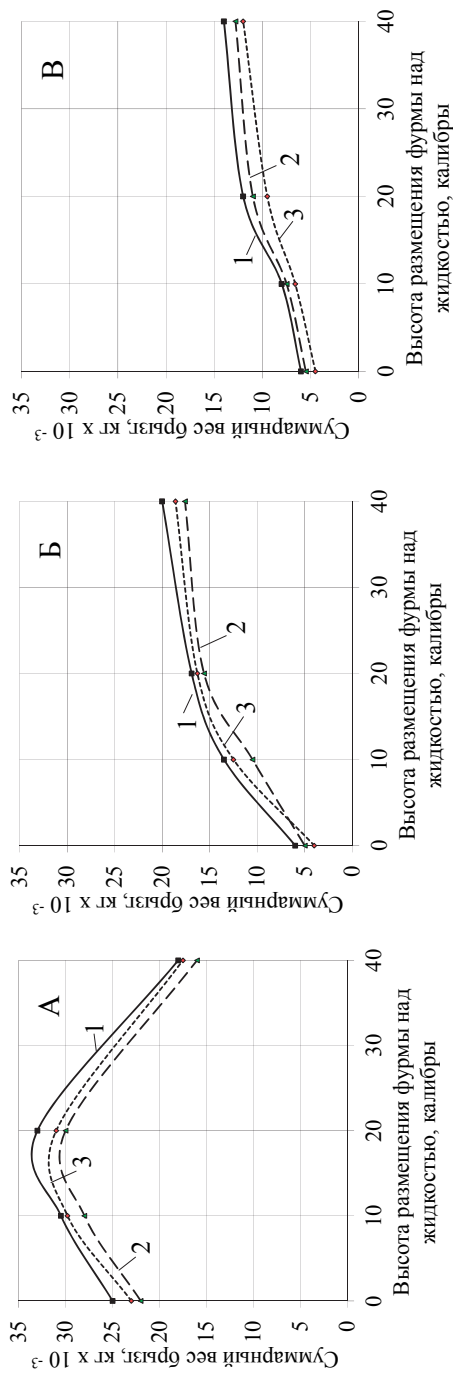


Рис. 2. Изменение суммарного количества брызг, собранных накопителями, расположенными в трех участках модели: «А»- в зоне фурмы, «Б»- возле стенки модели, «В»- общий вынос брызг за пределы модели в зависимости от высоты расположения трехсопловой фурмы по вариантам исследования: 1 – без воздействия, 2 – на фурме отрицательная полярность, 3 – положительная

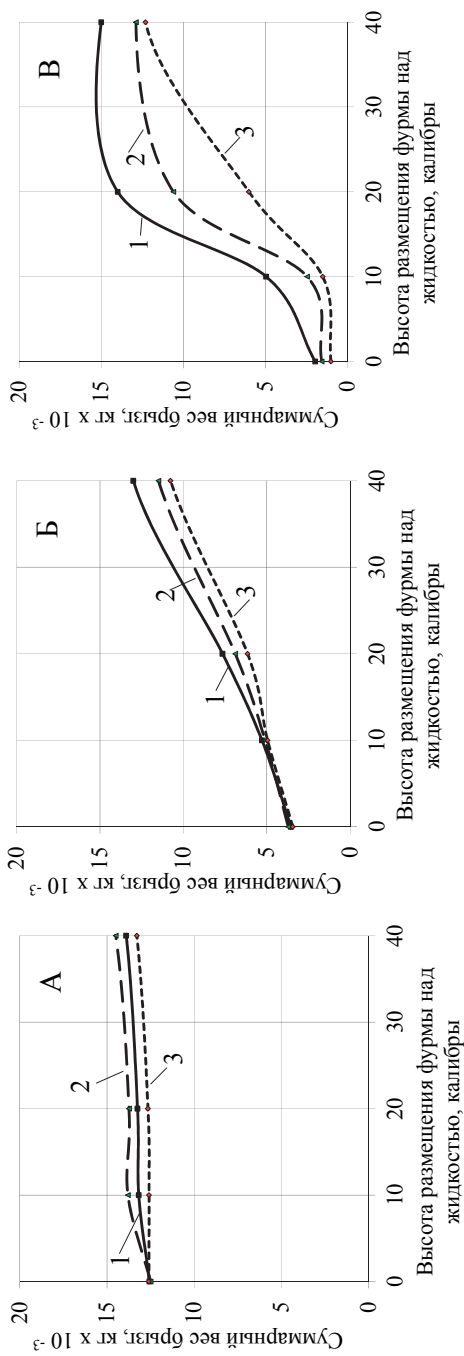


Рис. 3. Изменение суммарного количества брызг, собранных накопителями, расположенными в трех участках модели: «А»- в зоне фурмы, «Б»- возле стенки модели, «В»- общий вынос брызг за пределы модели в зависимости от высоты расположения пятиопло- вой фурмы по вариантам исследования: 1 – без воздействия, 2 – на фурме отрицательная полярность, 3 – положительная.

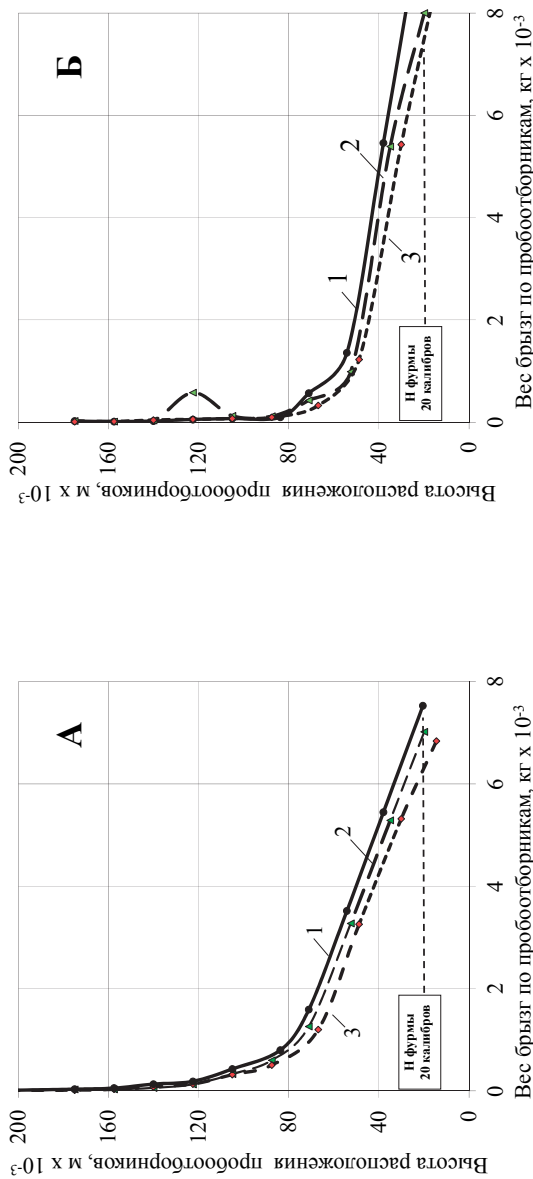


Рис. 4. Изменение количества собранных брызг по высоте расположения накопителей в зонах «А» и «Б» при продувке через пятишпильную форму по вариантам исследования: 1 – без воздействий, 2 – на форме отрицательная поляриность потенциала, 3 – положительная

Установленный эффект, вероятно, указывает на возможность с помощью электрических воздействий влиять на величину угла отражения газожидкостного потока от стенки кратера (результат взаимодействия струи с поверхностью жидкости). Наблюдаемые эффекты могут быть пояснены известным влиянием электрических потенциалов на величину поверхностного натяжения на границе газ - жидкость [5,6], что и служит, вероятно, причиной изменения, как характера формирования, так и направления движения отраженных с гребня лунки газожидкостных потоков. Так, известно из работы [7], что при подводе разности высоковольтных потенциалов к электроду, размещенному в газовой струе, истекающей из цилиндрической насадки, и корпусу продувочного модуля газовый поток существенно расширялся, и изменялся профиль самой струи.

Выводы. Выполненные эксперименты путем физического моделирования ЛД процесса качественно и количественно подтвердили общеизвестное влияние жесткости дутья, которое определяется давлением газа и расходом на одно сопло, на общий эффект разбрызгивания жидкой среды в подфурменной области: чем больше количество сопел, тем меньше общий уровень разбрызгивания. Установлено, что снижение высоты расположения фурмы в модели от 40 до 0 калибров в зависимости от количества сопел наконечника фурмы имеет свои характерные особенности по влиянию на интенсивность образования брызг жидкости как в подфурменной зоне, так и в направлении стенки модели. Зависимость общего количества брызг жидкости, выносимых за пределы модели, при применении пятисопловой фурмы носит экстремальный характер с экстремумом при расположении фурмы в модели на высоте порядка 40 калибров с заметным снижением количества брызг при нулевой высоте ее расположения над жидкостью. Экспериментально установлено, что каждый тип полярности потенциалов снижает интенсивность разбрызгивания жидкости в изучаемых дифференцированных областях по объему модели. Так, установлено, что в прифурменной и в пристеночной зонах применение отрицательной полярности в большей степени снижает интенсивность брызгообразования, а в зоне выноса брызг из модели этому способствует применение положительной полярности.

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.

1. *Охотский В.Б.* Гидродинамическая модель конвертера. / В.Б.Охотский //Изв.вуз. Черная Metallургия. – 1996. – №3. – С. 10-14.
2. *Чернятевич А. Г., Шишов Б.И.* Некоторые вопросы распространения кислородных струй в рабочем пространстве конвертера // Изв. вуз. Черная Metallургия. – 1981. – №1. – С.28-29.
3. *Явойский А. В., Тарнавский Г.А.* Исследование, разработка и применение газовых струй в конвертерных процессах производства стали // Научные труды «Вопросы теории и практики сталеплавильного производства». – М., 1991. – С. 126-148.
4. *Применение электрической энергии малой мощности при выплавке стали в конвертерах / С.И.Семькин, В.Ф.Поляков, Ю.Н.Борисов и др.* // Труды первого конгресса сталеплавыльщиков, г. Москва, 12 - 15 октября 1992г. – М.: Черметинформация. – 1993. – С.55 – 57.
5. *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.
6. *Степанов В.П.* Межфазные явления в ионных солевых расплавах. – Екатеринбург: Наука, 1993. – 316 с.
7. *Степанов Е.М., Дьячков Б. Г.,* Ионизация в пламени и электрическое поле. – Изд-во «Metallургия», 1968. – С.312.

*Статья рекомендована к печати
Докт.техн.наук А.Г.Чернятевичем*

С.І.Семикін, Т.С.Голуб, О.В.Семикіна, С.О.Дудченко, В.В.Вакульчук

Дослідження на фізичній моделі конвертерного процесу особливостей впливу електричних потенціалів на характер розбрикування рідини при продуванні зверху

Наведено результати лабораторних досліджень на фізичній моделі LD–процесу під час продування водних середовищ з вивчення впливу умов і дуттових режимів на кількість розбрикування рідкого середовища усередині моделі (у прифурменній і пристінній зонах), а також на винос крапель за її межі. Встановлено характер впливу зовнішніх низьковольтних електричних потенціалів на процес розбрикування рідини в робочому обсязі моделі при різних дуттєвих режимах. Показано можливість зниження виносу крапель рідини за межі моделі при підключенні до фурми джерела струму позитивної полярності.

Ключові слова: LD–процес, дуттєвий режим, фізичне моделювання, електричний потенціал

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

Investigation on physical model of converter process of features of electric potential influence on nature of liquid spraying at top blowing out

Results of laboratory tests for physical model LD - purging process when aqueous media influence on the conditions and amount of blowing modes for spraying fluid inside the model (in prifurmennoy and parietal areas), as well as removal of droplets beyond. The nature of the influence of external low-voltage electrical potential in the process of spraying a liquid in the working volume of the model at different blow modes. The possibility of reducing the liquid droplet removal beyond the model when connected to a lance source of positive polarity current.

Keywords: LD-process, the blowing mode, physical simulation, the electric potential