

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА

*Ишимбаев А.В., Матюхин В.И.*

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия  
[aleks.ishimbaev@yandex.ru](mailto:aleks.ishimbaev@yandex.ru), [matyhin53@mail.ru](mailto:matyhin53@mail.ru)

**Аннотация.** Настоящая научно-исследовательская работа посвящена улучшению тепломассообменных процессов в жидкой ванне, которые наблюдаются в кислородных конвертерах. На модели кислородного конвертера с верхней и нижней фурмами провели опыты для изучения моделирования гидродинамики. С помощью продувания воздуха через воду были выявлены определяющие параметры работы конвертера. Полученные результаты были оценены критериями Стюдента и Фишера. Далее были построены графики зависимости параметров от факторов, которые описывают интенсивность продувки. В работе сделан вывод о рациональном соотношении интенсивности продувки ванны при совместной её продувке сверху и снизу для улучшения тепломассообменных процессов в жидкой ванне.

**Ключевые слова:** моделирование, кислородный конвертер, барботаж, верхняя фурма, донная фурма, комбинированная продувка, гидродинамика.

## SIMULATION OF HYDRODYNAMICS OF OXYGEN CONVERTER

*Ishimbayev A.V., Matyukhin V.I.*

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

### **Annotation.**

This research work is devoted to the improvement of heat and mass transfer processes in a liquid bath, which are observed in oxygen converters. On the model of the oxygen converter with the upper and lower tuyeres, experiments were conducted to study the modeling of hydrodynamics. By blowing air through the water, the determining parameters of the converter operation were revealed. The results were evaluated by the Student and Fisher criteria. Next, graphs of the dependence of parameters on factors that describe the intensity of purging were constructed. The paper concludes about the rational ratio of the intensity of purging the bath when it is jointly purged from above and below to improve heat and mass transfer processes in a liquid bath.

**Key words:** modeling, oxygen converter, bubbling, upper lance, bottom tuyere, combined purging, hydrodynamics.

На кафедре теплофизики и информатики в металлургии Института новых материалов и технологий Уральского Федерального университета была собрана установка холодной модели кислородного конвертера с комбинированной продувкой. В основе работы кислородного конвертера лежат тепломассообменные процессы, развитие которых определяются гидродинамикой ванны.

Моделирование гидродинамики конвертерного процесса, несмотря на имеющийся опыт практического его применения, по-прежнему является актуальной.

Вертикальный кислородный конвертер является агрегатом, с помощью которого получают сталь из чугуна с необходимым содержанием углерода, а выход годного металла является самым высоким по сравнению с другими сталеплавильными процессами [1-3]. Данный конвертер имеет большую базу для совершенствования технологического процесса в будущем. Поэтому задача моделирования гидродинамики конвертерного процесса, несмотря на имеющийся опыт практического его применения, по-прежнему является актуальной. Новые исследования позволят улучшить работу самого конвертера и состав стали на выходе, а также уменьшить количество выбросов.

Модель кислородного конвертера с комбинированной продувкой 1:20 от оригинала, показана на рисунке 1. В качестве образца выбрана модель вертикального конвертера, т.к. на данной модели возможно взаимодействие газа с жидкостью, и продувка как сверху, так и снизу. Параметры анализа исследования:

- $H$  – высота поднятия зоны барботажа в центральной части ванны;
- $D$  – размер зоны циркуляции;
- $H_B$  – амплитуда колебаний волн;
- $\nu$  – частота зоны циркуляции.

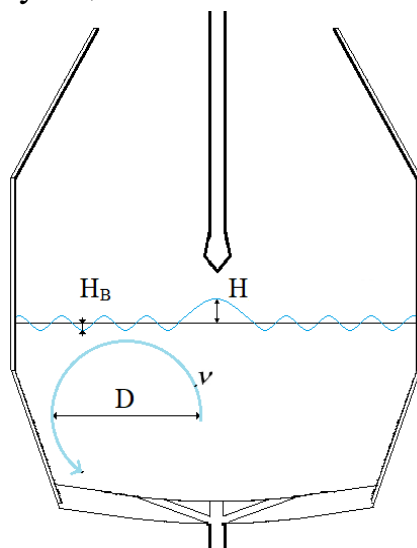


Рисунок 1 – Модель кислородного конвертера

При проведении экспериментов определяются осредненные во времени параметры газовой среды: давление воздуха, его расход, визуализация течение струй и вторичных газовых образований на модели с регистрацией гидродинамических процессов методами кино – и фотосъемки. Организовано исследование на использовании ротатабельного плана второго порядка, который позволяет при минимуме затрат и числе экспериментов получить большой объем информации об изучаемом процессе [4].

После обработки полученных данных были установлены уравнения регрессии, которые с вероятностью 95% описывают реальные закономерности изменения соответствующих показателей работы ванны конвертера. Уравнения регрессии:

- Для относительной высоты поднятия зоны барботажа в центральной части ванны уравнение регрессии имеет вид:

$$H=17,8+2,4X_3-2,4X_1^2-3,1X_2^2-3,4X_1X_3 \quad (1)$$

- Для относительного размера зоны циркуляции в ванне уравнение регрессии имеет вид:

$$D=44,9-8,4X_3^2-1,9X_1X_3 \quad (2)$$

- Для относительной амплитуды колебаний ванны уравнение регрессии имеет вид:

$$H_B=20,4+6,2X_3-2,6X_3^2+2,9X_2X_3 \quad (3)$$

- Для частоты зоны циркуляции ванны уравнение регрессии имеет вид:

$$v=0,96+0,2X_3-0,16X_3^2-0,044X_1X_3+0,041X_2X_3 \quad (4)$$

С помощью полученных уравнений регрессии построены графики по трём факторам. Благодаря ним будет сделан анализ влияния факторов на выбранный параметр. Построенные кривые представляют собой зависимость параметров от факторов и наглядно показывают значимость значений факторов для массообменного процесса. В свою очередь именно этот процесс представляет собой взаимосвязь комбинированной работы верхнего и нижнего дутья в конвертер.

Анализ высоты поднятия центральной зоны показан на рисунке 2.

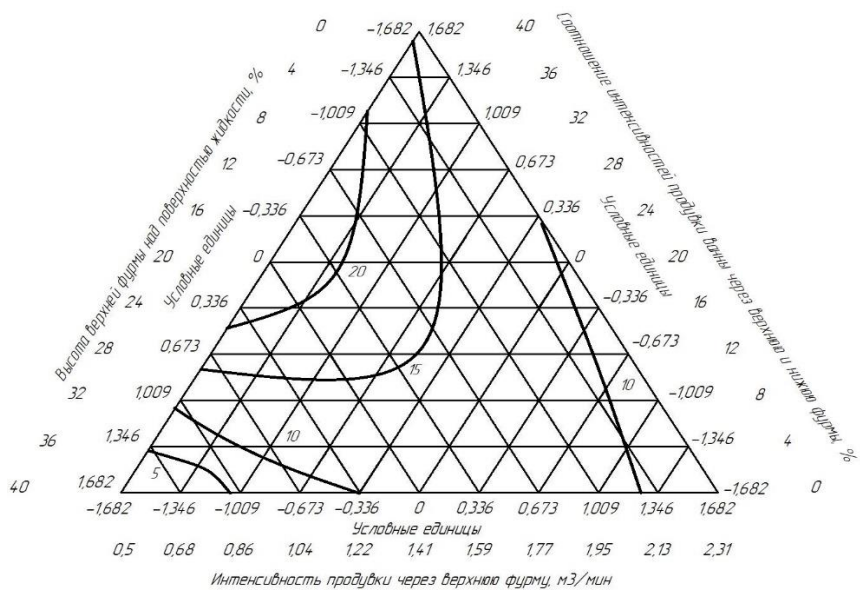


Рисунок 2 – Анализ высоты поднятия центральной зоны  
 Анализ зоны циркуляции в жидкости показан на рисунке 3.

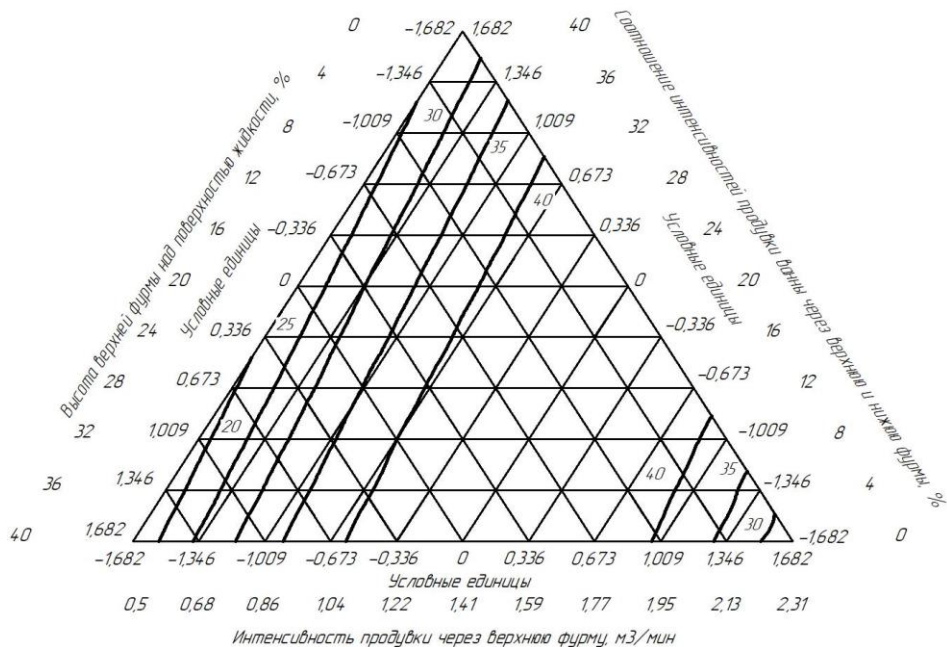


Рисунок 3 – Анализ зоны циркуляции в жидкости  
 Анализ высоты колебаний волн показан на рисунке 4.

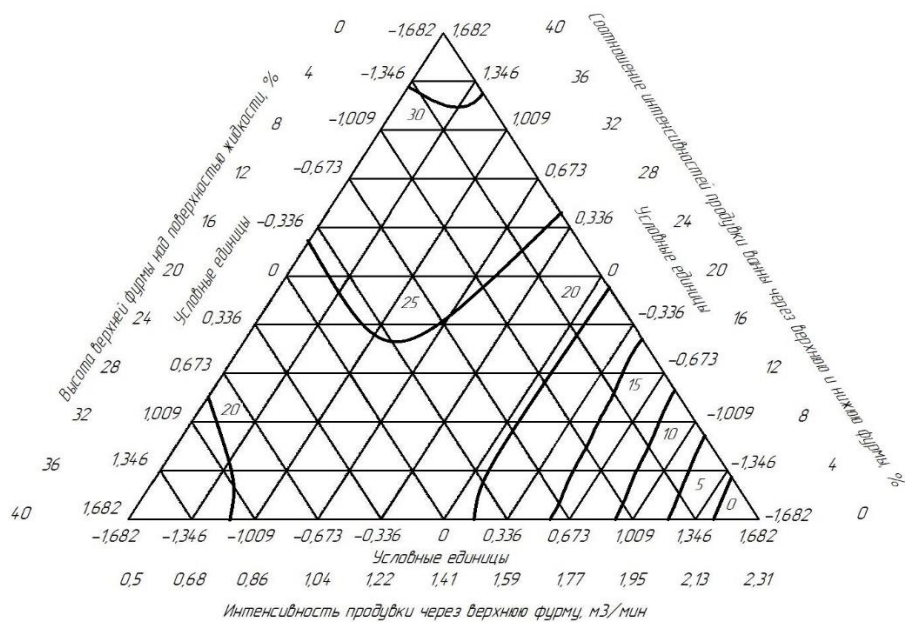


Рисунок 4 – Анализ высоты колебаний волн

Анализ частоты колебаний зоны циркуляции показан на рисунке 5.

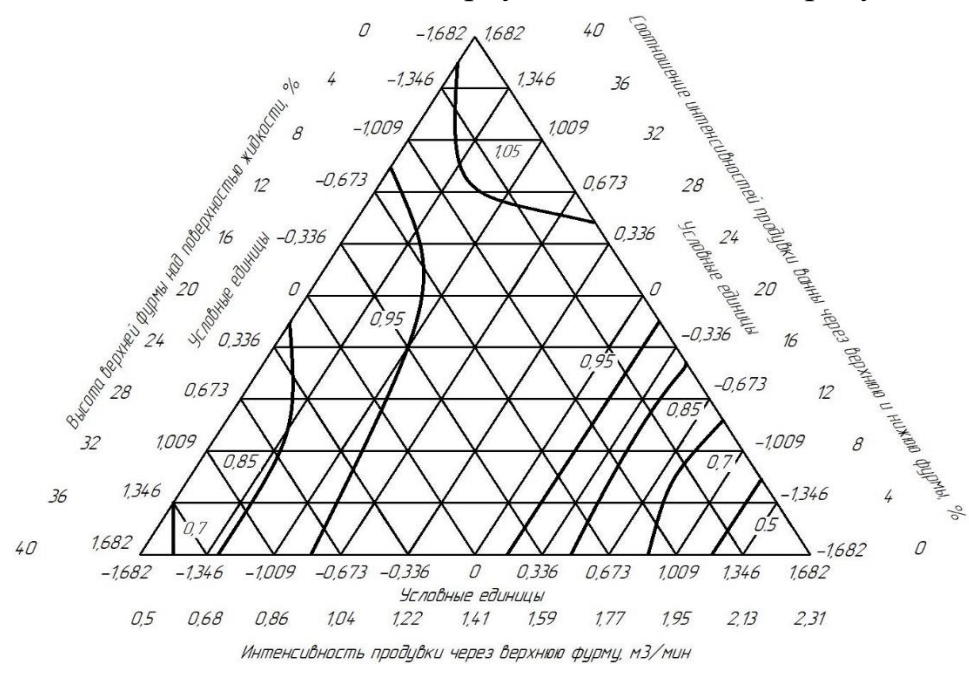


Рисунок 5 – Анализ частоты колебаний зоны циркуляции

В ходе данной работы были проведены исследования моделирования гидродинамики кислородного конвертера, с помощью них выявлены распространение струй газа и движение жидкости в замкнутой среде [5-6].

Были установлены рациональные соотношения интенсивности продувки ванны при совместной ее продувке сверху и снизу для улучшения теплообменных процессов в жидкой ванне. При использовании одновременного барботажа ванны двумя источниками будет происходить усиление тороидальной колебательной области с расширением ее объема и частоты циркуляции, увеличение амплитуды барботажа центральной зоны и

поверхностных колебательных процессов с увеличением их амплитуды и частоты развития.

Наиболее эффективными значениями факторов для организации гидродинамических процессов ванны будут:

1. Относительная высота расположения верхней фурмы не должна превышать 24%;
2. Интенсивность продувки сверху должна находиться от 1,22 до 1,59 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>мин);
3. Соотношение интенсивностей продувки ванны через верхнюю и нижнюю фурмы должно равняться 12–28%.

Данные значения позволяют более эффективно применять энергетические свойства газовых струй в жидкой ванне. Изучив данные факторы, можно сказать, что они могут обеспечить успешные тепломассообменные процессы, а также наибольшее освоение газов металлом. Благодаря комбинированной продувке сокращается количество выбросов в атмосферу.

#### **Библиографический список**

1. Филимонов Ю.П. Тепловые устройства в черной металлургии: Учебник для вузов / Ю.П. Филимонов, С.Б. Старк, В.А. Морозов. – М. : Металлургия, 1974. – 520 с.
2. Баптизманский В.И. Теория кислородно-конвертерного процесса / В.И. Баптизманский. – М. : Металлургия, 1975. – 376 с.
3. Сокол С.П. Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. / С.П. Сокол, А.И. Симкин // Применение искусственной нейронной сети для определения количества присадок в системе автоматизированного управления выплавкой стали в кислородном конвертере. – 2014. – . – Т. 1, № 29. – С. 188–198.
4. Спири́н Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Учебное пособие / Спири́н Н.А., Лавров В.В., Бондин А.Р., Лобанов В.И. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. – 260 с.
5. Сизов А.М. Газодинамика и массообмен газовых струй в металлургических процессах / А. М. Сизов. – М. : Металлургия, 1987. – 256 с.
6. Лухтура Ф.И. О глубине внедрения струи окислителя в расплав кислородного конвертера / Ф.И. Лухтура, А.В. Линник // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2015. – Т. 1, № 30. – С. 122–135.