

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИНЖЕКЦИИ ГАЗА В РАСПЛАВ

Пономаренко Э. В. студент, Недопёкин Ф. В., докт. тех. наук., проф., Комаров В. Ф., мл. науч. сотр. Донецкий национальный университет

*Предложена математическая модель процесса инжектирования газовой фазы в жидкость, с помощью которой рассчитаны различные тестовые структурные схемы формирования течений. Модель обеспечивает качественное описание характера циркуляционных течений при продувке жидкости газом.*

Для описания конвекции расплава в области исследования  $\Omega$  использована система уравнений движения, неразрывности и массопереноса:

$$\rho_{эфф} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho_{эфф} (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = \rho_{эфф} \vec{F} - \nabla P + \eta \nabla^2 \vec{u}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_{эфф}}{\partial t} + \text{div}(\rho_{эфф} \cdot \vec{u}) = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial t} + (\vec{u}_z \cdot \nabla) \beta = R + \nabla(D_{эфф} \nabla \beta), \quad (3)$$

где  $\vec{F} = -\vec{g} - k_1 v_z \beta$ ;  $\vec{g}$  – сила, действующая на элементарный объем расплава, зависит от его относительного веса и объема вовлеченной в движение с пузырьками присоединенной массы;  $\rho_{эфф} = \rho_{ж} (1 - \beta) + \rho_2 \beta$ ,  $\rho_{ж}$ ,  $\rho_2$  – плотность исследуемой среды, жидкости и вдуваемого газа;  $\beta$  – объемная доля газовой фазы,  $D_{эфф}$  – коэффициент турбулентной диффузии газа к металлу;  $\vec{u}_z$  – скорость движения газовой фазы, ее вертикальная составляющая для данного уравнения  $v' = v + v_z$ ;  $v_z$  – скорость всплытия пузырьков в жидкой среде [1, 2]. В области продувочного блока действует источник газовой фазы  $R = q/V_0$ , где  $q$  – расход газа через продувочный блок;  $V_0$  – характерный объем зоны формирования барботажного режима.

Уравнения (1)-(3) дополняются начальными и граничными условиями.

В качестве тестовой задачи рассмотрена физическая водяная модель [3] ( $H = 350$  мм,  $R = 315/2$  мм), в которой в качестве вдувае-

мого газа применялся воздух. На рис. 1 приводится сравнение поля скоростей, рассчитанного с помощью предложенной модели и полученное экспериментально [3].

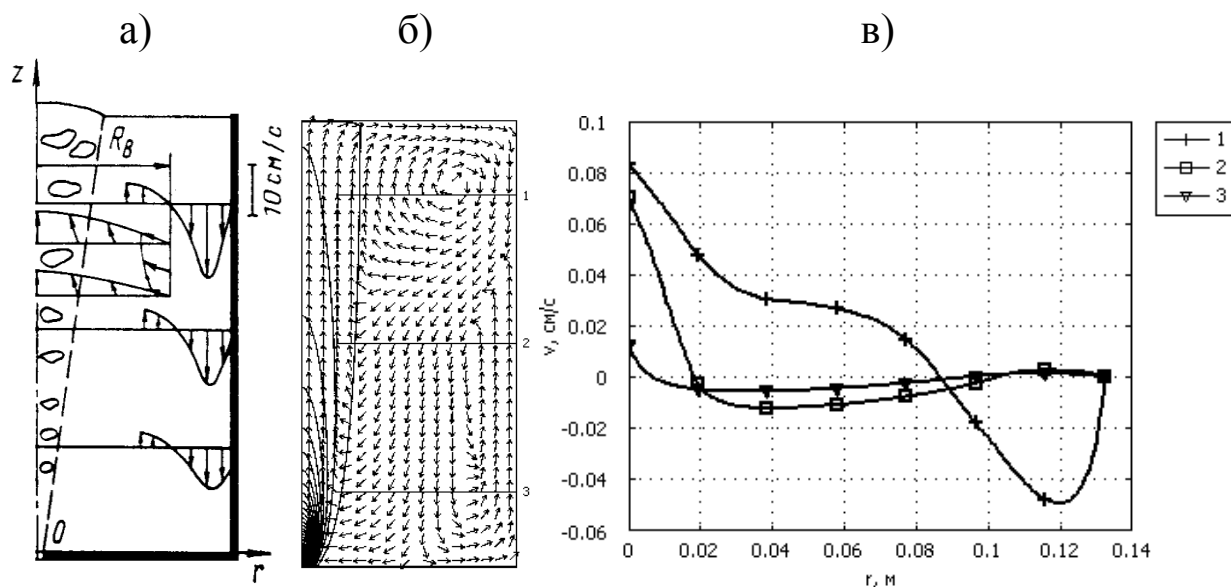


Рисунок 1 – Поле скоростей в модели: а) – по данным [3], б), в) – полученное в результате численного моделирования.

Модель обеспечивает качественное описание характера циркуляционных течений при продувке жидкости газом, однако имеет некоторые ограничения на режимы допустимых расходов газа. Кроме того, модель с данной конфигурацией системы уравнений не обладает механизмом передачи импульса вбрасываемой газовой фазы в жидкость, при этом кинетическая энергия жидкой среды при вводе газовой фазы оказывается занижена, что требует доработки модели.

Также для расширения «рабочего диапазона» математической модели следует применить  $k$ - $\epsilon$  приближение для описания турбулентного режима течения. С учетом предложенного разработанная модель может применяться для анализа процессов продувки жидкости газами в определенном классе прикладных задач.

Список источников

1. Охотский В.Б. Барботаж сталеплавильной ванны. Расчеты размеров пузырей и некоторых параметров зоны барботажа при вдувании газа в металл. // ИЗВЕСТИЯ высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1993. - №2. – С.14-16.
2. Бердников В.И., Гудим Ю. А., Картелева М. И. Обобщенная формула для расчета скорости движения твердых частиц, пузырей и капель в жидких и газообразных средах // ИЗВЕСТИЯ высших учебных заведений. Черная металлургия, 1997, вып.7, С.6-10.
3. Мачикин В. И., Шестопапов В. Н., Еронько С. П. Исследование гидродинамики жидкой ванны при продувке стали в ковше // ИЗВЕСТИЯ высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1986. – №1.–С.29-32.