

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

Р. В. Манаев

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель А. А. Бойко

Высокоэффективное функционирование предприятий стекольной промышленности обеспечивается сокращением потерь и затрат на производство при повышении качества выпускаемой продукции. Потери при производстве листового стекла во многом связаны с возникновением аварийных ситуаций, заканчивающихся обрывом ленты стекла.

Для более качественного анализа процесса варки стекла необходимо моделировать процессы, происходящие в стекловаренной печи. Это позволит заранее предугадывать возникновение аварийных ситуаций, приводящих к обрыву ленты стекла.

В данной работе разрабатывается метод управления процессом варки за счет анализа движения конвекционных потоков стекломассы в варочном бассейне. Конвекционные потоки в стекловаренной печи в основном обусловлены температурным полем, создаваемым в печи.

Стекловаренная печь разделена на определенные зоны, в которых происходит плавление шихты, дегазация и осветление. Эти зоны разделены между собой квилпунктом, т. е. зоной с максимальной температурой. Он выполняет функцию барьера между зоной плавления шихты и зоной, где происходит дегазация и осветление. На практике происходит постоянное движение квилпункта, при сильном его смещении происходит нарушение конвекционных потоков и в зону выработки стекломассы попадает недостаточно проваренная стекломасса, что приводит к снижению качества получаемого стекла.

Построение температурной карты стекловаренной печи на действующих предприятиях осложнено тем, что измерительные термопары, как правило, устанавливаются не в стекломассе, а в кладки самой печи. Это обусловлено тем, что снижается износ термопар и упрощается их обслуживание, а так же такая установка позволяет лучше контролировать нагрев поверхностей печи и предотвращать её перегрев. Основным минус такого расположения – это неточный контроль процессов, происходящих в самой стекломассе.

Для создания температурного поля стекломассы необходимо пересчитать показания термопар с учетом теплопроводимости среды, через которую происходит измерение.

Данная система позволит следить за конвекционными потоками и предотвращать сильное смещение квилпункта, отображать более точные значения температур самой стекломассы, а не стекловаренной печи. Это позволит добиться более качественного провара стекломассы, следовательно, значительно улучшить качество получаемого стекла.

Известна модель с использованием уравнения Новье-Стокса для неизотермического течения вязкой сплошной среды в поле сил тяжести в приближении Обербека-Буссинеска:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \frac{1}{\rho} \overline{\text{grad} P} + \overline{g} \beta T + \nu \nabla^2 \vec{V}. \quad (1)$$

К ним добавлено уравнение энергии (тепломассопереноса):

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \overline{V} \overline{\text{grad}} T = k \nabla^2 T \quad (2)$$

и уравнение неразрывности:

$$\text{div} \overline{V} = 0. \quad (3)$$

Здесь \overline{V} – поле скоростей течения; T – поле температур; ρ – плотность среды; p – давление; \overline{g} – вектор ускорения свободного падения; β – коэффициент объемного расширения; ν – кинематическая вязкость; k – температуропроводность; ∇ , ∇^2 – операторы дифференцирования.

В настоящей работе показано, что уравнение неразрывности строго необходимо записать из закона сохранения массы в виде:

$$\text{div}(\rho \overline{V}) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0.$$

Известно, что плотность стекломассы зависит от температуры, а так как температура распределяется по длине печи в диапазоне от 1200 до 1600 °С, то плотность в соответствии со справочными данными изменяется на 50 кг/м³.

Следовательно ρ является функцией координат и тогда получим:

$$\text{div}(\overline{V}) = -\frac{1}{\rho} (\overline{\text{grad}} \rho \cdot \overline{V}) \text{ в отличии от (3).}$$

Если использовать полученное уравнение для уравнения Новье-Стокса (1), то оно примет вид:

$$\frac{\partial \overline{V}}{\partial t} + (\overline{V} \cdot \nabla) \overline{V} = \frac{1}{\rho} \overline{\text{grad}} P + \overline{g} \beta T + \nu \nabla^2 \overline{V} + \frac{1}{3} \cdot \frac{\nu}{\rho} \overline{\text{grad}}(\rho \cdot \overline{V}). \quad (4)$$

В результате формируется замкнутая система уравнений, которая решается численным методом.

Имеется определенная уверенность, что предлагаемая модель правильно описывает процессы в стекловаренной печи и послужит основой для построения автоматизированной системы управления качеством.