4. Choi, J. On intra- and intersubject variabilities of airflow in the human lungs / Choi J. [and other] //Physics of Fluids. – 2009. – №21(10). – 17 p.

5. Longest, P. W. Use of computational fluid dynamics deposition modeling in respiratory drug delivery / P. W. Longest [and other] // Expert Opinion on Drug Delivery. – 2019. – №1. – P. 7-26.

6. Ruge, C. A. Pulmonary drug delivery: from generating aerosols to overcoming biological barriers – therapeutic possibilities and technological challenges / C. A. Ruge, J. Kirch, C.-M. Lehr // The Lancet Respiratory Medicine. – 2013. – Vol.1, №5. – P. 402–413.

В. А. Климович
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)
Науч. рук. **И. А. Концевой**, ст. преподаватель

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ ФАЗОВОЙ ГРАНИЦЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ЕЕ КРИВИЗНУ

Проблема роста кристалла из переохлажденного расплава актуальна в теоретическом и прикладном аспектах. В настоящее время в экспериментальных условиях достигнуты скорости роста 20–70 м/с при глубине переохлаждения расплава до 300°K [1]. Важный аспект этой проблемы – дендритообразование и морфологические свойства фазовой границы кристаллизации (ФГК). В данной работе мы применяем уравнение роста дендрита, полученное в [2]:

$$\frac{\partial F/\partial t}{\left[1+(\partial F/\partial y)^2\right]^{1/2}} = -\mu B\left[1+(\partial F/\partial t)^2\right]^{-\delta/2} + \frac{\partial^2 F/\partial y^2}{\varphi\left[1+(\partial F/\partial y)^2\right]^{3/2}}. \qquad (1)$$

Здесь $x = F(y,t)$ – двухмерная плоская линия роста; координата x направлена вдоль оси симметрии в сторону твердой фазы; y – поперечная декартова координата, μ – кинетический коэффициент роста; B – переохлаждение ФГК на вершине дендрита; $\varphi = \alpha/\mu$, $\alpha = L/(UT_c)$, L – теплота фазового перехода единицы объема вещества; U – поверхностная энергия границы раздела фаз; T_c – равновесная температура кристаллизации; безразмерный параметр $\delta > 0$ характеризует неоднородность переохлаждения ФГК вдоль линии роста. Изучим вопрос о влиянии δ на морфологические свойства стационарного контура роста.

Решение уравнения роста (1) берем в виде $F(y,t) = A_1 t + A_2(y)$ и получаем:

$$\frac{dA}{dy} = \varphi A_1(1 + A^2) + \mu B\varphi(1 + A^2)^{(3-\delta)/2},\ y \geq 0,\ \delta > 0; \qquad (2)$$

$$\frac{dA_2(y)}{dy} = A(y);\ y = 0,\ A_2(0) = 0,\ A(0) = 0. \qquad (3)$$

Кривизна стационарного контура равна

$$K = \frac{dA}{dy}\left(1 + A_2\right)^{-3/2}. \qquad (4)$$

Дифференциальные уравнения (2), (3) определяют стационарный профиль линии роста. В работе получено аналитическое решение системы (2), (3) и проведены детальные численные расчеты.

Результаты расчетов для никеля приведены на рисунок 1–3. Входные параметры: $\Delta T = 166\text{К}$; $\mu = 9{,}53$ м/(град · с); $N = 5{,}3$ м/с. Рассмотрены значения δ из следующих интервалов: 1) $0 < \delta < \left[(-A_1)/\mu B\right] < 1$; 2) $\left[(-A_1)/\mu B\right] < \delta < 1$; 3) $\delta > 1$. Для никеля $\left[(-A_1)/\mu B\right] = 0{,}556$. Были приняты числовые значения $\delta = 0{,}25; 0{,}75; 1{,}50$. При расчете линии роста $A_2(y)$ анализировался вариант $A(y = 0) = 0$, когда вершина дендрита имеет нулевое заострение, а также случай $A(y = 0) > 0$, относящийся к ненулевому заострению вершины. Влияние параметра δ проявляется следующим образом. При $\delta = 0{,}25$ и $\delta = 0{,}75$ зависимость угла заострения $\theta_1(y)$ от поперечной координаты монотонно убывающая и обращена выпуклостью вверх, а при переходе через пороговое значение $\delta = 1$ наблюдается перемена направления выпуклости: получаем $\left(d^2\theta_1/dy^2\right) > 0$. Вместе с тем зависимость кривизны $K(y)$ немонотонная только при не слишком больших δ (в данных здесь примерах – при $\delta = 0{,}25$), а при дальнейшем увеличении этого параметра зависимость $K(y)$ – монотонно убывающая.

Данная работа выполнена в рамках работы по заданию ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии», подпрограмма «Энергетические процессы и технологии». Руководитель задания профессор О. Н. Шабловский.

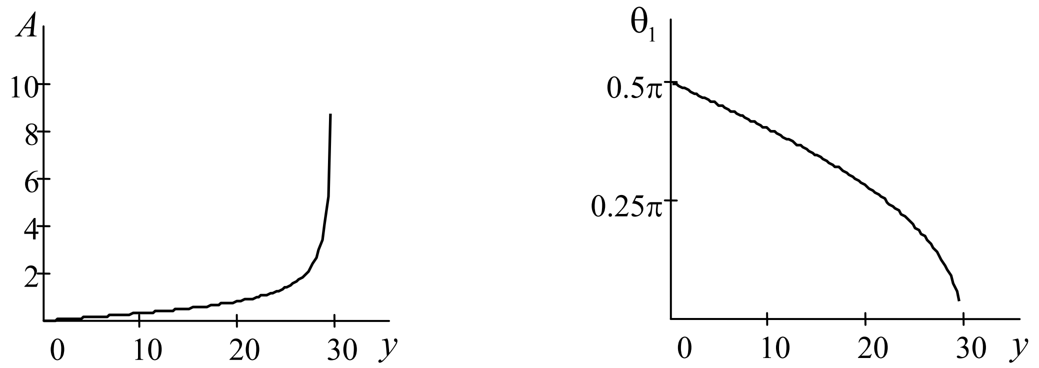

Рисунок 1 – Влияние параметра δ неоднородности переохлаждения ФГК на параметры линии роста; $\delta = 0{,}25$. Нулевое заострение вершины.

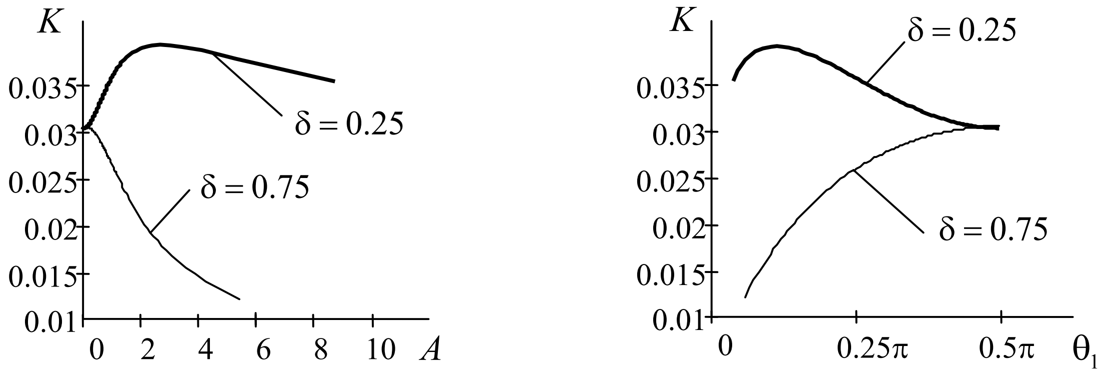

Рисунок 2 – Влияние параметра δ неоднородности переохлаждения ФГК на кривизну линии роста. Нулевое заострение вершины

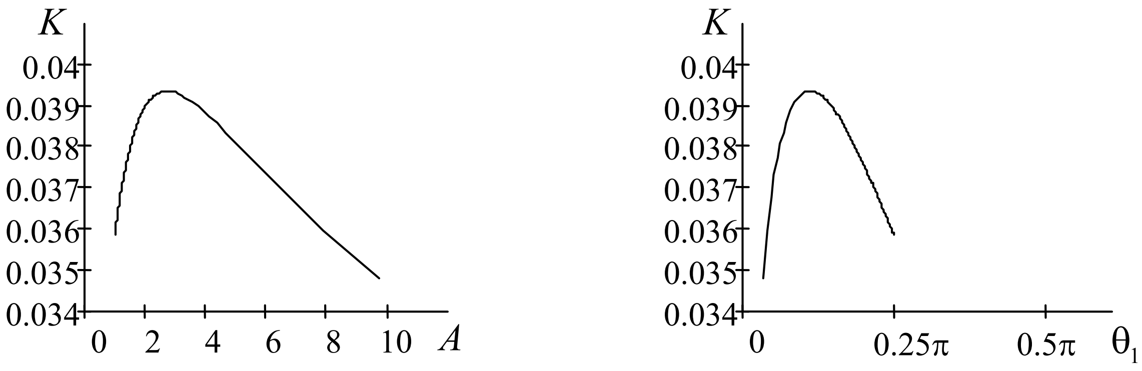

Рисунок 3 – Влияние параметра δ неоднородности переохлаждения ФГК на кривизну линии роста; $\delta = 0{,}25$. Ненулевое заострение вершины

Литература

1. Herlach, D. M. Metastable Solids from Undercooled Melts / D. M. Herlach, P. Galenko, D. Holland-Moritz –Oxford: Pergamon, 2007. – 448 p.

2.Шабловский, О. Н. Морфологические свойства линии роста двухмерного дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский // Прикладная физика. – 2012. – №4. – С. 40–46.

Н. В. Козел
(БрГТУ, Брест)
Науч. рук. **Л. А. Величко,** канд. физ.-мат. наук, доцент

СЛОЖНОЕ МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ МАЯТНИКА МАКСВЕЛЛА

В литературе имеются исследования вращательного движения тел относительно неподвижной точки и неподвижной оси (например, маятник Обербека), относительно подвижной (одного направления) оси (например, качение цилиндра по наклонной плоскости) [1, 2]. Целью данной работы являлось изучение вращения твердого тела относительно оси, участвующей в возвратно-поступательном периодическом движении.

В работе маятник Максвелла массой m состоит из диска радиусом R, насаженного на стержень-цилиндр массой $m_{ст}$ и радиусом r. Нити, намотанные на стержень, прикреплены к кронштейну установки. Из этого состояния система начинает двигаться вниз. На нее действуют сила тяжести, приложенная к центру масс и направленная вниз, и силы натяжения двух нитей, направленные вдоль нитей вверх. Нити постепенно раскручиваются. Имеет место переход системы из вынужденного отклоненного вверх состояния к положению равновесия. В этом случае скорость центра масс системы равна скорости нитей и скорости крайней точки стержня, как оси [1]. При полном разматывании нитей раскрутившаяся система продолжает по инерции вращаться в том же направлении. Нити вновь наматываются на стержень. Система движется вверх, сообщив «рывок» нитям [2]. Повторяющееся движение системы вверх и вниз (знакопеременное отклонение от положения равновесия) есть колебательное движение маятника Максвелла. При достижении полной длины раскручивающихся нитей маятник изменяет знак скорости. Её значение в этот момент времени максимально υ_{max}. Ускорение знак не меняет, оно направлено вниз [3].

1. Отследим энергетические изменения в колеблющейся системе.

а. Система (центр масс системы) двигается прямолинейно в вертикальной плоскости с ускорением a, и, находясь под действием