

Разрабатываемая игра является платформером, выполненным в ретро-стилистике. Поскольку спрос к таким играм возрастает всё больше, то она должна подходить как для взрослой, так и молодой аудитории. Игра будет содержать в себе несколько уровней с системой очков. Спрос на подобные проекты подтверждает всё большее развитие так называемых инди-разработчиков.

## Литература

1. Unity. [Электронный ресурс] / Свободная энциклопедия Wikipedia. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Unity\\_](https://ru.wikipedia.org/wiki/Unity_(игровой_движок)) (игровой\_движок). – Дата доступа: 20.03.2023
2. Язык программирования C#. [Электронный ресурс] / Свободная энциклопедия Wikipedia. – Режим доступа: <https://timeweb.com/ru/community/articles/chto-takoe-csharp>. – Дата доступа: 20.03.2023

**А. А. Бугримов**

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. А. Концевой**, ст. преподаватель

## СВОЙСТВА ВОЛНЫ ВОЗМУЩЕНИЯ ЛИНИИ РОСТА ДЕНДРИТА В ПЕРЕОХЛАЖДЕННОМ РАСПЛАВЕ

Проблема высокоскоростного дендритного роста кристалла из переохлажденного расплава имеет важное значение для разработки технологий получения материалов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. Цель данной работы – изучить пример волнового возмущения линии роста дендрита.

В статьях [1, 2] получено уравнение

$$\partial^2 f / \partial y^2 = B_1(\partial f / \partial y) + B_2(\partial f / \partial t), \quad (1)$$

$$B_1 = 2\varphi A_1 A_2 < 0, \quad B_2 = (1 + A_2^2)\varphi > 0, \quad \alpha = L/(UT_c), \quad \varphi = \alpha/\mu,$$

определяющее возмущенное состояние дендрита. Обозначения:  $L$  – теплота фазового перехода единицы объема вещества;  $U$  – поверхностная энергия границы раздела фаз;  $\mu$  – кинетический коэффициент роста;  $T_c$  – равновесная температура кристаллизации;  $N = A_1 \sin \theta_1$  –

скорость перемещения фазовой границы;  $A_2 = 1/\text{tg}\theta_1$  – положительная константа, характеризующая угол  $\theta_1$  заострения линии роста.

Решение уравнения (1) представим в виде

$$f/H = \exp[h_1 t + y(h_2 - k)] \cos\left(ky - \frac{2k^2}{B_2} t\right), \quad y \geq 0, \quad t \geq 0, \quad (2)$$

$$h_1 = -B_1^2/(4B_2) < 0, \quad h_2 = B_1/2 < 0,$$

где  $H, k$  – произвольные постоянные. Физическое истолкование решения (2) состоит в следующем. Волна  $y = (2kt/B_2) \geq 0, k > 0$  распространяется по неоднородному фону  $f_0(y) = H \exp(-n_2 y), y \geq 0, n_2 = k - h_2 - (h_1 B_2/2k)$  со скоростью  $V = 2k/B_2 > 0$ . Волна возмущения существует, если параметр неоднородности фона удовлетворяет неравенству  $n_2 > (-\varphi A_1 A_2)(1 + \sqrt{2})$ . Если  $0 < \frac{n_2}{(-\varphi A_1 A_2)} < (1 + \sqrt{2})$ , то волна не возникает.

Запишем параметр неоднородности в виде  $n_2 = \frac{B_2 V}{2} - h_2 - \frac{h_1}{V}$ . Отсюда ясно, что связь  $n_2 \leftrightarrow V$  нелинейная:  $dn_2/dV = 0$  при  $V^2 = V_*^2, V_*^2 = 2A_1^2 A_2^2 / (1 + A_2^2)^2$ . Пороговое значение  $V = V_*$  соответствует минимуму функции  $n_2 = n_2(V)$  при каждом фиксированном  $A_2 > 0$ . Таким образом, пороговая ширина зоны неоднородности равна  $y_* = 1/n_2^*$ , где  $n_2^* = n_2(V = V_*)$ .

Расчеты проведены для германия, при следующих значениях тепловых параметров:

$$T_c = 1210\text{К}, \quad T_* = 991\text{К}, \quad L = 2,54 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3, \quad c = 2,048 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{К)}, \\ \lambda = 17,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad U = 0,6 \text{ Дж/м}^2, \quad \mu = 1,08 \text{ м/(К} \cdot \text{с)}, \quad N_b = 3,5 \text{ м/с}.$$

Результаты расчетов приведены на рисунках 1–3.

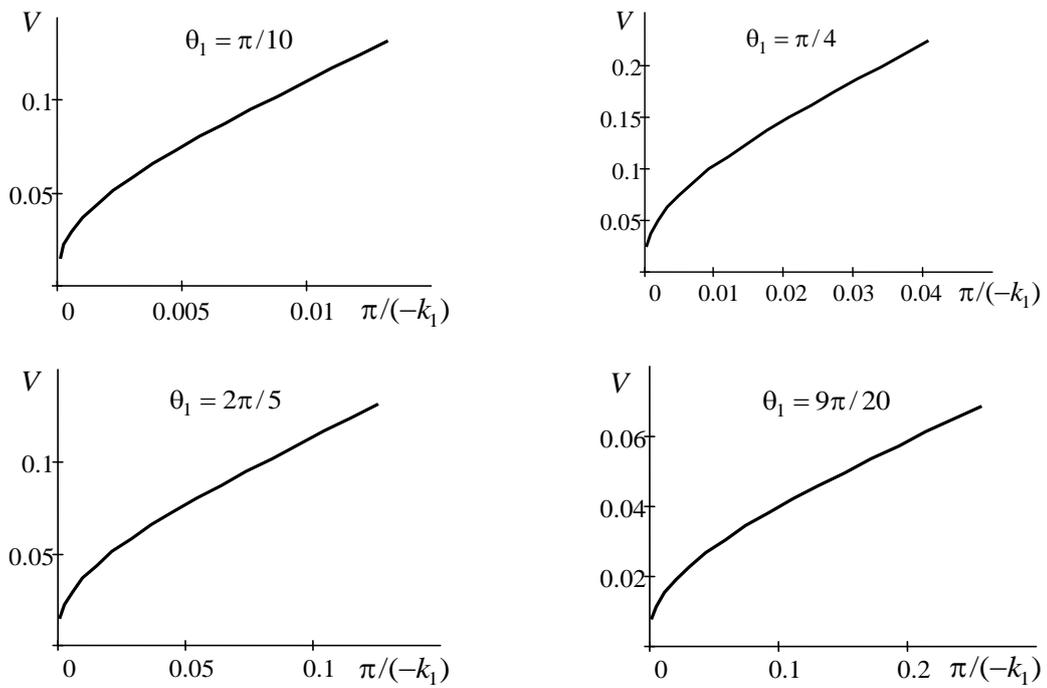


Рисунок 1 – Нелинейная связь скорости волны ( $V > 0$ ) и ширины зоны неоднородности пространственно-периодически возмущенного фона

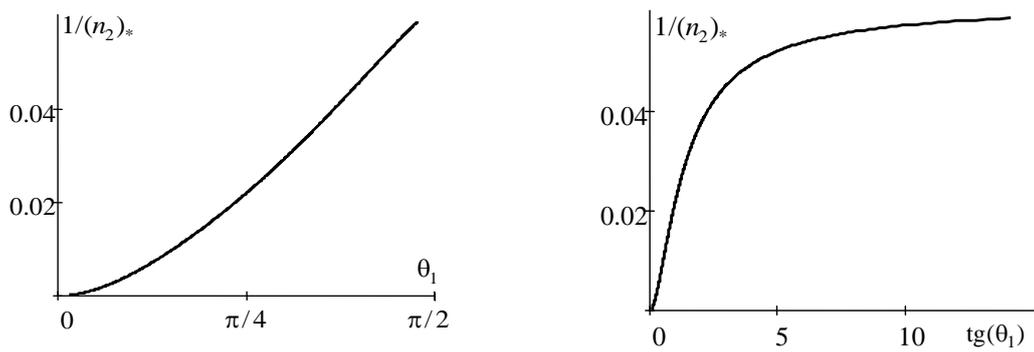


Рисунок 2 – Пороговое значение ширины зоны неоднородности как функция угла заострения линии роста

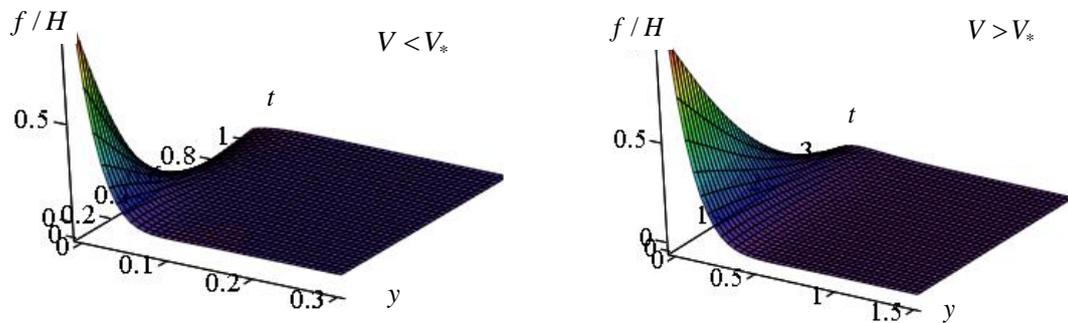


Рисунок 3 – Затухающий периодический режим (2): пространственно-временной портрет линии роста

Эти рисунки демонстрируют влияние основных физических параметров задачи на скорость волны возмущения.

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.

## Литература

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

2. Шабловский, О. Н. Динамика неустойчивости волновых возмущений и боковое ветвление дендрита в переохлажденном расплаве / О. Н. Шабловский, Д. Г. Кроль // Успехи прикладной физики. – 2022. – Т.10, №2. – С.189–202.

**А. Г. Васильчикова, В. А. Никитюк,  
А. А. Тимошенко, М. О. Кострома**  
(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Ю. В. Никитюк**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **РАЗРАБОТКА И ПОСТАНОВКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЯ DESIGN EXPLORATION КОМПЛЕКСА ANSYS**

В настоящее время широко применяются компьютерные модели для анализа сложных систем в процессе проектирования современных изделий и технологий. Однако для реализации таких моделей, использующих численные методы, например метод конечных элементов, требуется значительное количество времени на вычисления. Например, для проведения одного конечно-элементного моделирования аварии полноразмерного легкового автомобиля может потребоваться от 36 до 160 часов. По этой причине полагаться только на конечно-элементные модели неэффективно. Одним из способов сокращения времени моделирования является использование суррогатных моделей, которые также известны как метамоделли. Эти модели могут заменить вычислительно затратные конечно-элементные модели [1].