

### Список литературы

1. Гнатуш В. А. Дорошенко В. С. Тенденции мирового и украинского рынков отливок и развития технологии литья в зеркале 2016 г. // *Металл и литье Украины*. - 2018. - № 1-2. - С. 29 - 32.
2. Механические и эксплуатационные свойства высокопрочного чугуна марки ВЧТГ / А. А. Новиков, П. С. Дробышевский, С. А. Тюрин, Д. С. Чумак // *Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого*. - 2018. - № 1. – С. 61 – 69.
3. Марукович Е.И., Карпенко М.И. *Литейные сплавы и технологии*. - Минск: Беларуская навука, 2012. - 442 с.
4. Последние разработки Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины в области литья по газифицируемым моделям / В. С. Дорошенко, Ю. Г. Квасницкая, И. О. Шинский, С. И. Клименко и др. // *Литейное производство*. - 2016. - № 10. - С. 34 - 39.
5. Пат. 123731 Україна, В22 D7/00, В22 D23/00 / В. С. Дорошенко, В. О. Шинський. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну з кулястим графітом. № u201708132; заявл. 04.08.2017, опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.

УДК 517.3/621.74

**В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко, В. О. Шинський**

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

### **РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ ІНТЕРВАЛЬНОЇ НЕПЕРЕРВНО-ДИСКРЕТНОЇ МОДЕЛІ ЛИВАРНИХ РОТОРНО-КОНВЕЄРНИХ КОМПЛЕКСІВ.**

При одержанні виливків за моделями, що газифікуються у ливарній формі металевим розплавом, структурні перетворення в литому металі відбуваються в результаті складних процесів тепло-масообміну в структурно-неоднорідній системі модель – метал – ливарна форма [1]; крім того, функціонують складові цієї системи в різних теплофізичних полях відповідно до місця і часу їх застосування. Тому розробка методів дослідження стійкості і керованості властивостей теплофізичних полів такої структури доволі актуальна.

Процес охолодження виливка в системі: модель – виливок – дисперсне середовище ливарної форми застосували для регульованого формування виливка в структурно-неоднорідному (неперервно-дискретному) середовищі методом зміни властивостей його дискретних складових, оскільки тепловий потік від виливка проходить крізь шари середовища з різними фізико-хімічними характеристиками, як густина, теплоємність, коефіцієнти теплопровідності і тепловіддачі, геометричні параметри окремих частинок середовища ливарної форми тощо. Розробка науково-технологічних основ одержання виливків у ливарних формах з диференційованими теплофізичними характеристиками дозволила процеси тепло- та масообміну в структурно-неоднорідних системах моделювати для ливарних роторно-конвеєрних комплексів. При дослідженні теплового процесу в таких системах особливе значення набуває вивчення процесу взаємодії цієї системи з газодинамічним потоком при неперервному відборі теплової енергії від охолоджуваного виливка. В математичному плані це приводить до дослідження крайових задач, в яких, крім самого диференціального рівняння і граничних умов, розв'язок задачі повинен задовольняти ще додатковій системі умов спряжень, накладених на цей розв'язок, що враховує перехід теплового потоку з одного фізичного середовища до середовища з іншими фізичними параметрами, тобто до вивчення класу неперервно-дискретних крайових задач [2]. Розглянемо умови стійкості та керованості теплофізичного поля для ливарних систем, що описуються диференціальними рівняннями зі змінними коефіцієнтами. Нехай теплофізичний стан досліджуваного теплового поля задано системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dx}{dt} = x(t)A(t), \quad (1)$$

де  $A(t)$  – матриця  $n$ -ого порядку, елементи якої  $a_{ij}(t)$  – періодичні функції з періодом  $T$ ;  $x(t)$  – вектор фазових координат розмірності  $n$ .

За допомогою одного із відомих чисельних методів побудуємо нормальну фундаментальну систему розв'язків  $\Phi(t)$  рівняння (1), яка є матрицею  $n$ -го порядку з елементами  $\varphi_{ij}(t)$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ , тобто:

$$\Phi(t) = \begin{vmatrix} \varphi_{11}(t) & \dots & \varphi_{1n}(t) \\ \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{n1}(t) & \dots & \varphi_{nn}(t) \end{vmatrix}.$$

Тоді, якщо в усіх функціях  $\varphi_{ij}(t)$  замінити  $t$  на  $t+T$ , то в силу періодичності коефіцієнтів  $a_{ij}(t)$  ми знову одержимо розв'язок рівняння (1). Одержаний розв'язок не буде співпадати з початковим, але, як і всякий розв'язок, буде лінійною комбінацією функцій  $\varphi_{ij}(t)$ , що складають нормальну фундаментальну систему розв'язків:

$$\varphi_{ij}(t+T) = \sum_{j=1}^n \varphi_{ij}(T)\varphi_{ij}(t), \quad j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Враховуючи вищезначене співвідношення (2), одержимо:

$$D(\gamma) = \begin{vmatrix} \varphi_{11}(T) - \gamma & \dots & \varphi_{1n}(T) \\ \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{n1}(T) & \dots & \varphi_{nn}(T) - \gamma \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Рівняння (3) має  $n$ -ий порядок відносно параметра  $\gamma$  і являє собою характеристичне рівняння для системи диференціальних рівнянь (1). Якщо корені рівняння (3) за абсолютною величиною менші за одиницю, то система рівнянь (1) є асимптотично стійкою відносно теплових збурень в таких специфічних структурно – неоднорідних роторних системах.

### Список літератури

1. Шинский, О. И. Механизм формирования качества отливок, получаемых по газифицируемым моделям / О.И. Шинский // Литейное производство, 1991. № 1.
2. Кравченко, В. П. Определение решений при произвольном числе их сопряжений для системы обыкновенных дифференциальных уравнений / В. П. Кравченко // ДАН УССР. 1972. - № 6. – С. 512-514.