

4. Puschmann F. Охлаждение горячего металла с помощью распыления воды в процессе закалки. *Chem. Ing. Techn.* 2003. 75. 11 С. 1625 – 1628.
5. Захаров В.Б. Шабуров Д.В., Юдин Ю.В., Пышминцев И.Ю., Эйсмонт Ю.Г. Выбор водовоздушных сред для закалки крупных поковок. *Сталь*. 2003. 3. С. 60 – 62.
6. Ranjan Ravi, Brat Singh Shiv. Isothermal bainite transformation in low-alloy steels: Mechanism of transformation. *Acta Materialia*. 2021. Vol. 202. P. 302-316. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.10.048>.
7. Lan Liangyun, Yu Meng, Qiu Chunlin. On the local mechanical properties of isothermally transformed bainite in low carbon steel, *Materials Science and Engineering: A*. 2019. Vol. 742. P. 442-450. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.11.011>.
8. Heuer V., Loser K., Ruppel J. Dry bainitizing – A new process for bainitic microstructures. *Heat Treat and Mater.* 2009. 1. С. 28 – 33.
9. Пат. 43690 Україна. Спосіб термічної обробки. Заблоцький В.К, Фельдман В.Є., Фесенко А.М., Федорінов В.А., Шимко О.І., Мелешенко І.Ю., Фесенко М.А., Корсун В.А., Шимко В.І. № U 200903360; заявл. 08.04.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.

Євтушенко Н. С., Василець В. О., Пономаренко О. І.

(Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків)

**СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НА ЯКІСТЬ
ЛИТВА**

E-mail: natalya0899@ukr.net

Статистичне моделювання впливу параметрів на якість литва є важливим інструментом для вдосконалення сучасних ливарних технологій. Складність процесів литва полягає у великій кількості чинників, які взаємодіють між собою та визначають кінцеві характеристики відливків. Висока температура, динаміка заливання розплаву, швидкість охолодження, хімічний склад сплавів, стан форми та інші параметри формують широкий діапазон варіацій, що безпосередньо

впливають на структуру та механічні властивості литва. Традиційні методи аналізу часто не дозволяють точно оцінити роль кожного параметра, оскільки мають справу з багатофакторними імовірнісними процесами. Саме тому застосування статистичного моделювання стає необхідним засобом для обґрунтованого прогнозування якості та забезпечення стабільності виробництва [1-2].

Основною метою статистичного аналізу у ливарному виробництві є виявлення закономірностей між технологічними параметрами і кінцевими характеристиками відливоків. Для цього використовуються методи регресійного та кореляційного аналізу, які дозволяють визначити ступінь впливу кожного окремого фактору на результат. Наприклад, під час аналізу можна встановити, як зміна швидкості заливки впливає на ймовірність утворення пористості або усадкових дефектів, чи як вміст легувальних елементів у сплаві корелює з міцністю виробу [3]. Такі дослідження створюють підґрунтя для розробки моделей прогнозування, що дозволяють у виробничих умовах швидко оцінювати потенційну якість відливоків і приймати рішення щодо оптимізації параметрів процесу.

Статистичне моделювання застосовується як на етапі лабораторних досліджень, так і у промисловій практиці. У лабораторіях виконують серії експериментів з контрольованою зміною параметрів, після чого отримані результати обробляють за допомогою дисперсійного аналізу. Це дозволяє кількісно оцінити внесок кожного чинника у формування властивостей литва. Виробничі підприємства, у свою чергу, дедалі активніше впроваджують системи статистичного контролю процесів [4-5]. Наприклад, контрольні карти Шухарта дозволяють відслідковувати стабільність таких параметрів, як температура заливки чи товщина стінки форми. Якщо показники виходять за межі статистично встановлених допусків, система сигналізує про необхідність коригування режиму роботи. Таким чином, статистичні методи забезпечують зниження відсотка браку та підвищення повторюваності властивостей відливоків.

Окреме місце займає багатофакторне статистичне моделювання, що враховує одночасний вплив кількох технологічних параметрів. Адже якість литва рідко

залежить лише від одного показника, найчастіше вона визначається поєднанням кількох факторів, які взаємодіють між собою. Наприклад, висока швидкість охолодження у поєднанні з певним хімічним складом може забезпечити дрібнозернисту структуру, що підвищує міцність матеріалу [6]. Однак у випадку невдалого підбору температурного режиму той самий сплав може виявитися крихким. Статистичні моделі, побудовані на основі експериментальних даних, дозволяють передбачити оптимальні комбінації параметрів, які забезпечують бажану якість виробу.

Важливою перевагою статистичного підходу є можливість оцінювати не тільки середні значення показників, але й їх розподіл, варіацію та ймовірність відхилень від норми [7]. Це дозволяє враховувати реальну невизначеність, властиву виробничим процесам, та працювати не лише з «ідеальними» умовами, а й з реальними ситуаціями, де завжди присутні похибки і флуктуації. Використання методів математичної статистики у поєднанні з комп'ютерним моделюванням дає змогу отримати більш точні прогнози, ніж при застосуванні лише емпіричних підходів.

У сучасних умовах цифровізації виробництва дедалі більшого поширення набувають інтегровані системи, що поєднують статистичний аналіз з інтелектуальними алгоритмами машинного навчання. Вони дозволяють автоматизувати процес збору та аналізу даних у реальному часі, створюючи «цифрові двійники» ливарних процесів. Такі моделі здатні прогнозувати наслідки зміни параметрів ще до їх фактичного застосування у виробництві, що суттєво знижує ризики виникнення браку і скорочує витрати на експериментальні перевірки [8]. Використання великих масивів даних та сучасних обчислювальних засобів робить статистичне моделювання ще більш ефективним та універсальним інструментом для інженерів і технологів.

Підсумовуючи, можна зазначити, що статистичне моделювання впливу параметрів на якість литва є важливою складовою сучасного підходу до управління ливарними процесами. Воно дозволяє глибше зрозуміти закономірності формування властивостей матеріалу, забезпечити стабільність виробництва та

підвищити ефективність контролю якості. Завдяки поєднанню традиційних статистичних методів з новітніми інформаційними технологіями відкриваються широкі перспективи для подальшого вдосконалення литва та підвищення конкурентоспроможності ливарних підприємств.

Література

1. Євтушенко Н. С. Застосування статистичних методів для аналізу варіацій параметрів ливарних процесів / Н. С. Євтушенко, О. І. Пономаренко, В. О. Василець // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. 33-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2025. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – С. 381.

2. Yevtushenko N. S. Mathematical modeling of variations in parameters of casting processes / Yevtushenko N. S., Dzhaniyan A. A., Vasilets V. O. // Інформаційні технології в сучасному світі: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. здобув. вищої освіти і молодих учених; Держ. біотехн. ун-т. – Харків, 2025. – С. 445-446.

3. Євтушенко С. Д. Методика вибору технології виготовлення виливків / С. Д. Євтушенко, О. І. Пономаренко, Н. С. Євтушенко // IX міжнародна науково-технічна конференція «Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві». – Краматорськ: ДДМА, 2023. – С. 49-51.

4. Євтушенко Н. С. Моделювання та синхронізація підсистем ливарного виробництва / Н. С. Євтушенко, А. А. Джанік'ян // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. 33-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2025. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – С. 380.

5. Ponomarenko O., Yevtushenko N., Akimov O., Vasilets V., Lopes H. (2025). Study of the Laws of Random Fluctuations in the Parameters of Foundry Processes and the Quality of Castings. Innovations in Mechanical Engineering IV. icieng 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93554-1_36.

6. Yevtushenko N. S. Simulation model of production management in foundry production / Yevtushenko N. S. // Інформаційні технології в сучасному світі:

матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. здобув. вищої освіти і молодих учених; Держ. біотехн. ун-т. – Харків, 2025. – С. 433-434.

7. Ponomarenko O., Yevtushenko N., Saithareiev L., Yevtushenko S., Dzhanikian A. (2025). Modern Methods for Synchronizing the Operation of Subsystems of the Foundry Workshop. In: Ivanov, V., Silva, F.J.G., Trojanowska, J., Pinto, A.M.G. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing VIII. DSMIE 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95211-1_8.

8. Євтушенко Н. С. Використання 3D-технологій для вдосконалення процесу лиття / Євтушенко Н. С., Пономаренко О. І., Масалітіна О. В. // Неметалеві вкrapлення і гази у ливарних сплавах: зб. тез 17-ї Міжнар. наук.-техн. конф; Нац. ун-т «Запорізька політехніка». – Запоріжжя, 2025. – С. 122-124.

Євтушенко Н. С., Джанік'ян А. А.
(Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ВЗАЄМОДІЄЮ
ПІДСИСТЕМ ЛИВАРНОГО КОМПЛЕКСУ
E-mail: natalya0899@ukr.net

Ливарне виробництво є основою багатьох галузей промисловості, зокрема машинобудування, авіаційної та автомобільної техніки, енергетики та важкого обладнання. Складність процесів, що відбуваються під час виготовлення виливків, зумовлює необхідність їх точного контролю та оптимізації. В умовах сучасних технологічних викликів усе більше уваги приділяється цифровим методам організації виробництва [1]. Комп'ютерне моделювання та автоматизоване керування взаємодією підсистем ливарного комплексу відкривають нові можливості для підвищення продуктивності та забезпечення стабільної якості продукції. Ці інструменти дозволяють створювати віртуальні копії технологічних процесів, досліджувати їх характеристики, оцінювати потенційні ризики і здійснювати корекцію параметрів ще до запуску у виробництво.