

УДК 004.9; 621.74

## ПІДХІД ДО РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

О.В. Токова, Є.А. Савченко

*Міжнародній науково-навчальній центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України*

*len327@ukr.net, savchenko@irtc.org.ua*

Запропоновано методику розробки інформаційної технології для підтримки рішень у галузі ливарного виробництва, яка міститиме базу даних металів та сплавів і призначена для надання рекомендацій фахівцям у галузі ливарного виробництва щодо аналізу наявної сировини, цільового підбору складових виливка, а також підтримки прийняття рішень при виборі режимів охолодження з метою отримання виливка заданої якості.

*Ключові слова: інформаційна технологія, підтримка рішень, охолодження виливка, база даних металів та сплавів*

A methodology of development of an information technology for decision support in the field of foundry production is proposed which will contain the database of metals and alloys and intended for provision of recommendations to experts in the field of foundry production on the analysis of available raw materials, target selection of casting components, and also support of decision-making for a choice of the cooling modes with the purpose of receiving casting of the given quality.

*Keywords: information technology, decisions support, cooling casting, metals and alloys database*

Предложена методика разработки информационной технологии для поддержки решений в области литейного производства, которая будет содержать базу данных металлов и сплавов и предназначена для предоставления рекомендаций специалистам в области литейного производства по анализу имеющегося сырья, целевого подбора составляющих отливки, а также поддержки принятия решений при выборе режимов охлаждения с целью получения отливки заданного качества.

*Ключевые слова: информационная технология, поддержка решений, охлаждение отливка, база данных металлов и сплавов*

**Вступ.** На сьогодні найпоширенішим способом отримання виробів заданої якості, складності та форми є лиття. В процесі лиття формується виливок металу або сплаву.

Якість виливка залежить від багатьох факторів. Наприклад, при нагріванні та змішуванні різних металів властивості сплаву змінюються. При правильному підборі пропорцій домішок можна отримати сплав заданої якості. На виробництві проводять різні експерименти та виконують експрес-аналізи, які допомагають встановити характеристики майбутнього виробу: його міцність, пористість та інше. Під час отримання виливка, при його застиганні

експерти впливають на майбутній виріб різними режимами охолодження: продувка, додавання певної кількості води, вібрація та інше.

Однією з актуальних задач ливарної промисловості сьогодні є виготовлення продукції, склад якої виробникам відомий, але невідомо, які режими повинні бути застосовані, щоб отримати виріб з заданими характеристиками. При порушенні технологічного процесу експерт може отримати виліток з дефектами, який буде непридатним для використання. Оцінка ризику виникнення дефектів виливків залежно від різноманітних порушень процесу їх виготовлення є не менш важливою задачею для ливарників.

Інша актуальна задача ливарного виробництва – визначення складу домішок, які входять до складу металобрухту, що використовується при переплавці. Після визначення компонент у розплавлених виробах, експерти можуть вводити необхідні домішки до розплаву, цим самим отримуючи сплав певної хімічної структури, який вони можуть використати в подальшому виробництві.

Додаючи домішки до розплаву, експерти керуються табличними даними, які на даний час є застарілими та потребують оновлення.

Тому метою роботи є створення комп'ютерної технології, яка буде містити в собі широку базу даних, де будуть закладені еталонні значення металів та сплавів, їх хімічні та механічні властивості, інформація про різні режими охолодження, а також сферу застосування готових виробів.

Для цього ливарнику потрібно знати, які хімічні перетворення відбуваються при змішуванні різних компонент сплаву, а також він повинен володіти інформацією про режими охолодження заданого сплаву, адже різні домішки реагують по-різному на певні режими охолодження, внаслідок чого ливарники отримують виліток певної міцності та якості.

## **1. Постановка задачі дослідження**

Лиття є не лише економічно вигідним способом виготовлення деталей, але й найбільш простим для виготовлення складних форм.

Лиття – це технологічний процес виготовлення виливка шляхом заповненням рідким металом спеціально приготовленої форми через систему каналів. Після затвердіння виліток виймають з форми та відправляють на механічну обробку (спилювання, шліфування тощо).

В багатьох випадках властивості чистих металів не відповідають потрібним вимогам, тому частіше за все використовують сплави. Сплав – це матеріал, який утворюється внаслідок затвердіння суміші декількох окремих розплавлених металів (матеріалів).

Так, наприклад, бронза – сплав олова з міддю, за твердістю вона міцніша, ніж кожен окремо з металів, які входять до її складу. Ось чому найчастіше у виробництві використовують сплав металів.

Додаючи в певній пропорції домішки інших металів чи матеріалів до суміші, можна отримати багато різноманітних виробів з різною структурою, властивостями, навіть такі, яких немає в жодному чистому металі.

Сплави, які використовуються для виготовлення різних конструкцій, повинні бути міцними. У будівництві та в машинобудуванні найбільш широко використовуються сплави заліза і алюмінію. Такі сплави заліза, як сталь, відрізняються високою міцністю і твердістю, їх можна кувати, зварювати.

Чавуни використовують для виготовлення масивних і дуже міцних деталей. Наприклад, раніше з чавуну відливали радіатори центрального опалення, каналізаційні труби, досі виготовляють котли, перила і опори мостів. Вироби з чавуну виготовляються із застосуванням лиття.

Сплави алюмінію, які використовуються в конструкціях, мають бути не лише міцними, але й легкими. Дюралюміній, силумін – сплави алюмінію, вони незамінні в літако-, вагоно- і суднобудуванні.

У деяких вузлах літаків використовуються сплави магнію, дуже легкі і жаростійкі. У ракетобудуванні застосовують легкі й термостійкі сплави на основі титану.

Сплави служать незамінним матеріалом при виготовленні особливо чутливих і високоточних приладів, різного роду датчиків і перетворювачів енергії.

Важливим етапом у виготовленні продукту виливання є оцінка ризику виникнення дефектів виливка залежно від різноманітних порушень процесу їх виготовлення.

Якість виливків визначається точністю розмірів, структурою, механічними та фізичними властивостями металу, наявністю або відсутністю у виливках внутрішніх або зовнішніх пошкоджень, дефектів у вигляді тріщин та інше.

Для отримання якісних зразків виробів у Інституті металів та сплавів НАН України було проведено експерименти з охолодження різних металів та їх сплавів під дією різних режимів впливу на процес охолодження [1,2]. В [3] авторами побудовано моделі залежності проміжної температури від параметрів, які впливають на процес охолодження виливка за допомогою методу МГУА [4].

Підбір режиму охолодження для заданого виливка і отриманням якісного продукту відповідаючого вимогам є одним із елементів інформаційної

технології підтримки рішень у галузі ливарного виробництва, що розробляється авторами.

## 2. Огляд інсуючого програмного забезпечення в галузі ливарного виробництва

На сьогоднішній день існує багато різних програмних продуктів, які використовують технологи-ливарники на підприємствах.

Розглянемо програмні засоби, які найбільш використовують у світі, їх основні переваги та недоліки (табл. 1).

Таблиця 1.

Можливості та недоліки відомих програмних продуктів

<i>№</i>	<i>Назва продукту</i>	<i>Можливості</i>	<i>Недоліки</i>
1	<p><b>SolidCast</b></p> <p><b>Розробник:</b> Finite Solutions Inc., США</p> <p><b>Користувачі в Росії:</b> ТОВ "ММК МРК", м. Магнітогорськ (відмовились від SolidCast, використовують LVMFlow) ТОВ "Ростовський ливарний завод", м. Ростов-на-Дону</p>	<p>1. Заливка металу (швидка та нормальна)</p> <p>2. Затвердіння металу: розміщення теплових вузлів та усадочних дефектів</p> <p>3. Автоматична оптимізація ЛПС</p>	<p>1. Незручний інтерфейс; є можливість перекладу «Меню» на російську мову.</p> <p>2. Поганий вивід результатів розрахунків для візуального аналізу;</p> <p>3. Відсутня вітчизняна база даних з матеріалами та сплавами;</p> <p>4. В базі даних властивостей є постійні значення у всьому інтервалі температур;</p> <p>5. Довготривалий комп'ютерний розрахунок</p> <p>6. Проблеми з імпортом STL</p>
2	<p><b>Magmasoft</b></p> <p><b>Розробник:</b> Magma GmbH (Аахен, Германія)</p>	<p>Magmasoft моделює заповнені металом форми, кристалізацію, розрахунок напруженості та деформації, структуру, розподілення перліту і фериту, та багато інших корисних можливостей. Програма розпізнає при моделюванні різні види лиття.</p> <p>В базовому варіанті</p>	<p>1. Висока вартість</p> <p>2. Дуже важкий інтерфейс без підтримки російської мови</p> <p>3. Відсутність української (вітчизняної) бази даних металів та сплавів;</p> <p>4. Великі часові затрати на введення даних.</p>

		MAGMASOFT standard дозволяє моделювати лиття в піщано-глинисті форми та в кокіль. Для моделювання інших видів лиття необхідні додаткові модулі.	
3	<b>CastCAE</b> Розробник: СТ-Castech Inc. Oy, Espoo (Фінляндія)	1. Лиття під високим тиском; 2. Лиття під низьким тиском; 3. Лиття по виплавлених моделях; 4. Лиття в кокіль; 5. Лиття в піщану форму	CastCAE – програма початкового рівня. Можна використовувати дану програму для лиття нескладних виливків. За останні роки немає ніякої інформації про вихід нових версій даної програми.
4	<b>JSCast</b> Розробник: Осака, Японія.	1.Лиття по виплавлених моделях; 2.Лиття в кокіль; 3.Лиття в піщану форму; 4.Лиття під високим тиском; 5.Заливка металу; 6.Затвердіння металу: розміщення теплових вузлів та усадочних дефектів	1. Малий вибір можливостей програми; 2. Відсутність української (вітчизняної) бази даних металів та сплавів.
5	<b>AnyCasting</b> Розробник: AnyCasting Co., LTD (Корея)	<i>Програма моделює:</i> - Заливку металу; - Затвердіння металу: розміщення теплових вузлів та дефектів; - Напруження; - Структуру. <i>При моделюванні програма розрізняє такі види лиття:</i> Лиття по вакуумній плівковій формі; По виплавлених моделях; Лиття в кокіль; Лиття в піщану форму; Лиття під низьким тиском; Лиття під високим тиском	Немає російського інтерфейсу (перекладу); Відсутність української (вітчизняної) бази даних металів та сплавів.

Провівши огляд існуючого програмного забезпечення, можна зробити такі висновки.

1. Усі програми є дуже дорогими, до того ж кожна з них потребує постійного доповнення додатковими компонентами та оновлення старої версії програми.

2. Програми розроблені іноземними фахівцями, тому вони написані мовою розробника, що не завжди зрозуміло нашому українському фахівцю, а також мають складний інтерфейс, тому потребують роз'яснення та детального інструктажу.

3. Враховуючи, що на багатьох вітчизняних підприємствах встановлено досить застаріле обладнання (комп'ютери, прилади для вимірювань), яке вимагає або повністю оновлення операційних систем, відеокарт, або взагалі повної заміни старого обладнання на нове, тому багато програмних засобів, розроблених на удосконалених комп'ютерах, не може бути використано на вітчизняних підприємствах.

4. Усі розглянуті вище засоби використовують метод кінцевих різниць, тому для усунення усадочної пористості у виливках відповідального призначення такі програми не підходять, тому що застосовуваний математичний метод погано працює в разі тонкостінних виливків, коли товщина стінок стає порівнянною з кроком сітки.

5. Також недоліком існуючих програм є відсутність вітчизняної бази даних металів та сплавів, а це, у свою чергу, ускладнює роботу ливарника.

### **3. Створення системи інформаційної підтримки рішень у ливарному виробництві «Радник ливарника»**

В роботах [5,6] наведено задачі, які повинна розв'язувати інформаційна технологія розв'язання задач моніторингу процесів ливарного виробництва та її блок схема. Така система складатимися з трьох блоків які розв'язують такі задачі.

1. Супровід ливарника з прийняття рішення, які вироби можна отримати з металу або сплаву, який він має у наявності (склад його може бути не відомий).

2. Супровід ливарника з прийняття рішення з підбору невідомих складових у сплавах, які є в наявності у ливарника, шляхом розплавлення та зняття проб, експрес – аналізу, коригування складу до отримання якісного виливка.

3. Супровід прийняття рішень ливарником у процесі лиття і охолодження з метою підбору найращого режиму.

Розглянемо детальніше кожен з задач.

Задача 1. Супровід ливарника з прийняття рішення, які вироби можна отримати з існуючого металу або сплаву

Фахівець, який займається литтям, має відомі йому метали та сплави у достатній кількості. Він може вибрати з бази даних наявні метали та матиме змогу дізнатися, які вироби він може отримати. Спочатку, на першому етапі, фахівець повинен обрати галузь, у якій планується використати даний виріб. Наприклад, на рис. 1. наведено варіант такого вибору.

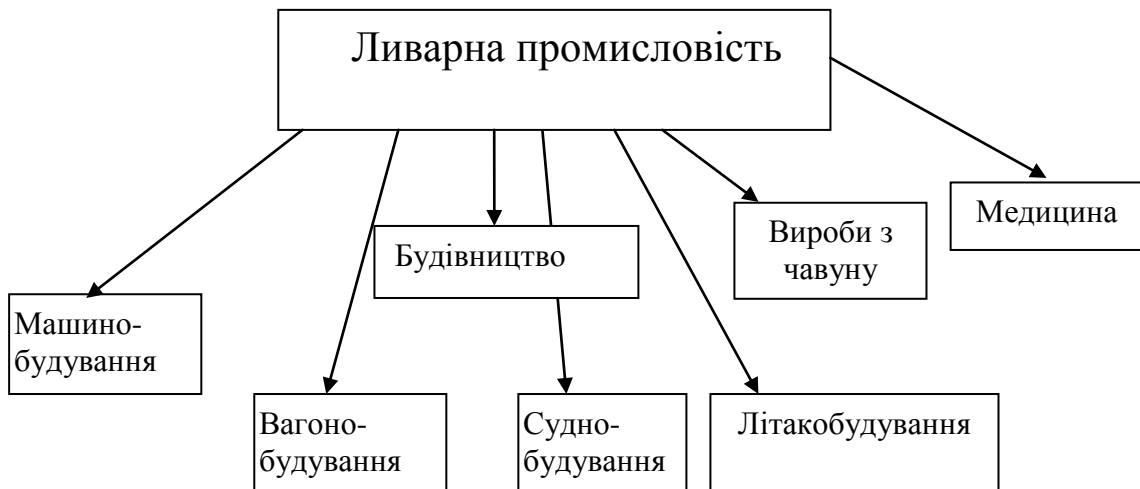


Рис. 1 Пропозиція експерту вибрати необхідну галузь

Коли експерт визначить галузь, в якій буде працювати, програма запропонує йому вибрати «підгалузь». На рис. 2 наведено приклад можливих підгалузей.

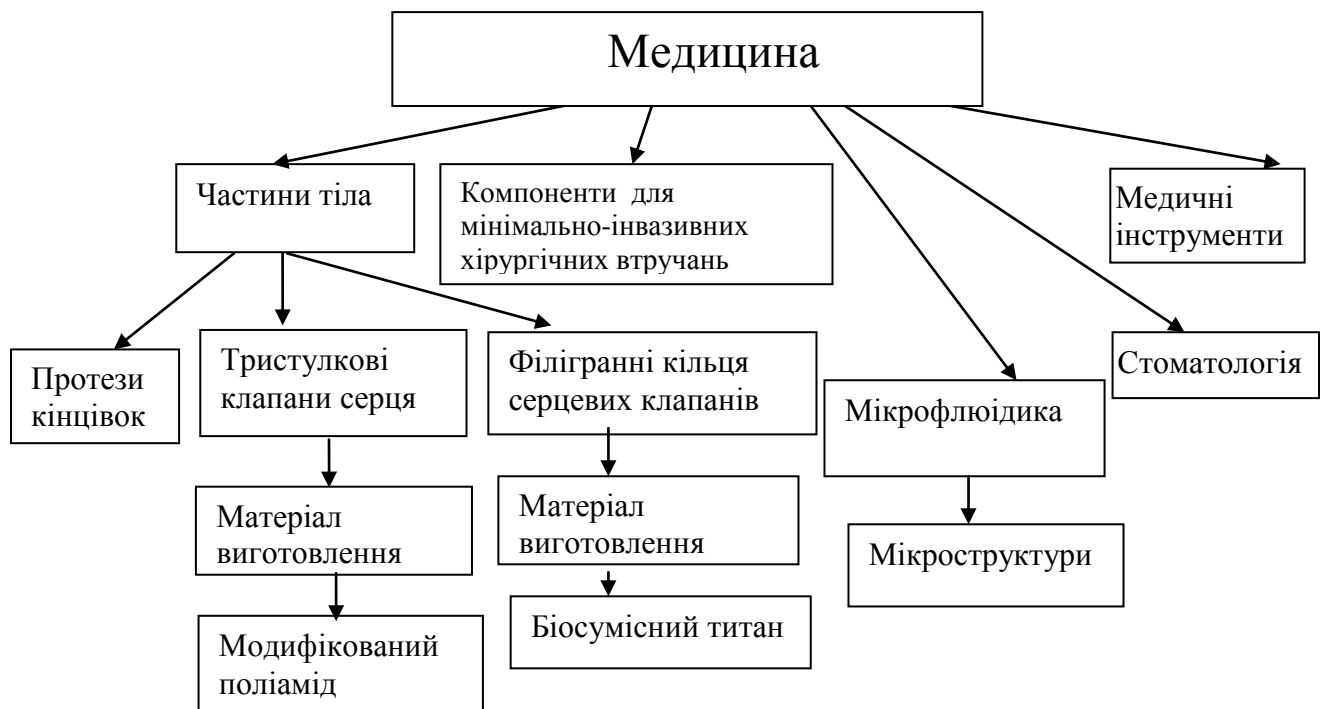


Рис. 2. Вибір підгалузі застосування виробу

Наприклад, якщо користувач обирає галузь «машинобудування», він отримає сфери застосування у цій галузі (рис. 3).

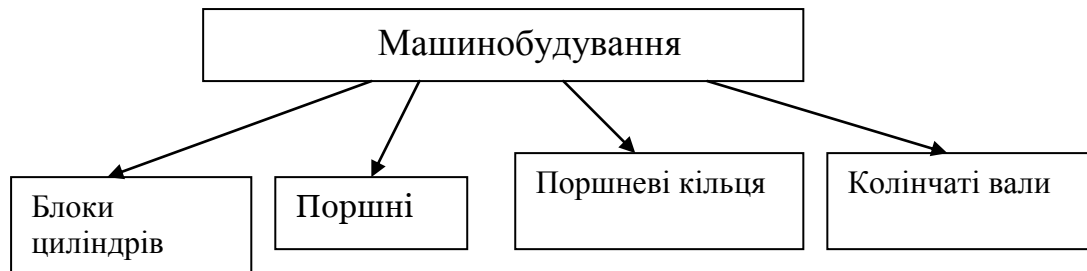


Рис. 3. Приклад можливостей застосування у машинобудуванні

Коли фахівець вибере підгалузь, йому буде запропоновано вибрати із існуючої бази матеріалів саме той, який буде значений замовником. Далі програма пропонуватиме послідовно обирати налаштування: вибір прес-форми для отримання виливка, методи розплавлення та режими охолодження для застигання виливка, які будуть відповідати європейським стандартам GMP.

Налаштувавши усі необхідні параметри та виставивши критерії одержання готового виливка, користувач задає «СТАРТ» програми.

Після завершення роботи перед фахівцем постає задача оцінки виробу на виключення дефектів та браку. Після проведення необхідних експрес-аналізів фахівець погоджує виріб з замовником. При виявленні бракованих деталей процес переплавлення починається з початку, але змінюються режими охолодження.

### *Задача 2. Супровід ливарника з прийняття рішення з підбору невідомих складових у сплавах*

Вважаємо, що фахівець, який буде користуватися даною системою, має у своєму розпорядженні металобрухт з невідомим складом, який він хоче використати для подальшого лиття, щоб отримати певний продукт із заданими властивостями.

Спочатку проводиться експрес-аналіз цього сплаву (визначення кількості його складових) з виводом на екран, які компоненти і в якій кількості входять до сплаву. Отримані результати порівнюються з тими, що є у базі даних (еталонами), щоб визначити, чи є цей сплав відомим та чи є можливим використання цього сплаву для отримання якогось продукту. Висновком програми буде: чи підходить заданий сплав для отримання кінцевого вибору, чи потрібно коригувати цей сплав, вводячи нові компоненти. Якщо підходить, задаємо режими виливання і отримуємо необхідний продукт. Якщо ні, то розраховуємо, які компоненти і в якій кількості потрібні, щоб отримати сплав із заданими властивостями.



*Задача 3. Супровід прийняття рішень ливарником у процесі лиття і охолодження*

Опираючись на задані критерії фахівець, концентруючи свою увагу на отриманні виливків із заданими критеріями, задає потрібні параметри процесу лиття та охолодження в програмному засобі. Весь процес виготовлення вилівка, від його розплавлення до затвердіння, фахівець тримає під контролем і у разі збою програми може перезапустити увесь процес спочатку.

### **Висновки**

У статті сформульовано підхід до розробки системи інформаційної підтримки рішень у ливарному виробництві, яка дозволить фахівцю у галузі лиття отримувати автоматичну допомогу при виборі галузі, де можуть бути застосовані дані метали та сплави, або при наявності невідомого сплаву отримувати вироби заданої якості.

### **Література**

1. Кравченко В.П., Кравченко О.В. Дистанционный экомониторинг технологических процессов в промышленности // IX Международная научная конференция «Литье. Металлургия. 2014», Запорожье, ФТіМС НАНУ, Київ, 2014. – С. 54-56.

2. Кравченко В.П., Кравченко Е.В. Построение математических моделей анализа результатов оперативного мониторинга объектов и процессов литейного производства // International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxines, Special number (IX International Conference “ Strategy of Quality in Industry and Education”), V.3, Varna, Bulgaria, 2013. – P. 489-491.

3. Савченко Є.А., Кравченко О.В. Застосування індуктивного підходу для моделювання процесу охолодження вилівка за експериментальними даними // Індуктивне моделювання складних систем. – К.: МННЦ ІТС, вип. 6. – 2014. – С. 126-136.

4. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев: Наук. думка, 1982 – 296 с.

5. Кравченко О.В., Савченко Є.А. Інформаційна технологія індуктивного моделювання моніторингу процесів ливарного виробництва // Індуктивне моделювання складних систем. Збірник наукових праць. – К.: МННЦ ІТС, вип.7. – 2015. – С. 140-146.

6. Кравченко О.В., Савченко Є.А. Розробка інформаційної технології індуктивного моделювання моніторингу процесів ливарного виробництва // Праці III Міжнародної конференції з автоматичного управління та інформаційних технологій ICASIT-2015, Київ, 11-13 грудня 2015.– С. 116-117.