

УДК 621.777.04

К. В. Баюл^{1,2}, д.т.н., с.н.с., с.д., ORCID 0000-0003-1426-7956
С. В. Ващенко¹, к.т.н., с.н.с., с.д., ORCID 0000-0001-8344-961X
О. Ю. Худяков¹, к.т.н., с.н.с., с.д., ORCID 0000-0002-6507-1120
А. В. Зінченко³, к.ф.-м.н., с.н.с., ORCID 0000-0003-0281-6663
Ю. С. Семенов¹, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0003-2299-5742
Н. О. Солодка^{1,2}, к.т.н., н.с., доц., ORCID 0000-0002-7545-4969

¹ Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України

² Український державний університет науки і технологій

³ Інститут транспортних систем і технологій НАН України

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ, ЯКІ МОЖУТЬ БУТИ ЗАСТОСОВАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ СУЧАСНОГО СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО СТВОРЕННЯ ВАЛКОВИХ БРИКЕТНИХ ПРЕСІВ

Анотація. Метою роботи є аналіз сучасних підходів та методів проектування для їх подальшого застосування для розробки сучасного системного підходу до проектування валкових брикетних пресів. Виконано аналіз та класифікацію базових походів теорії та методології проектування. Відзначено, що досі немає єдиного універсального підходу до проектування валкових пресів, що обумовлено різноманіттям конструктивних рішень пресів їх вузлів та деталей; в активному розвитку знаходяться методи визначення параметрів процесу брикетування та режимів роботи пресового обладнання; розширюється номенклатура матеріалів, що брикетуються; змінюються системи управління обладнанням; при проектуванні активно застосовуються нові матеріали, конструктивні деталі та вузли. Крім основ загальної теорії та методології проектування, наведено огляд та аналіз відомих методів проектування машин, технічних систем та процесів, які тісно пов'язані із зазначеною теорією та можуть бути використані при вдосконаленні системного підходу до проектування валкових пресів.

Ключові слова: валкові преси, брикетування, системний підхід, теорія та методологія проектування.

Посилання для цитування: Дослідження ефективності використання суміші повітря, димових газів та технологічного кисню в якості окиснювача при опаленні доменних повітрянагрівачів / К. В. Баюл, С. В. Ващенко, О. Ю. Худяков, А. В. Зінченко, Ю. С. Семенов, Н. О. Солодка // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2023. Вип. 37. С. 534-556. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-534-556>

Стан питання. Теорія проектування машин виникла у XIX столітті та розвивалися доволі повільно, але з 70-х років XX століття вони

активізувалися внаслідок розвитку інформаційних технологій. Сучасна теорія та методологія проектування машин охоплюють різноманітні методи та підходи. У минулому вважалося, що проектування машин базується на досвіді розробника, який потім піддавався перевірці інженерними методами. Однак це було обумовлено обмеженим математичним обґрунтуванням теорії проектування.

Накопичення знань в області методології проектування змінило цю ситуацію, але залишається розрив між теоретичними знаннями та практичним застосуванням. Більшість методологій розроблено узагальнено і не враховують конкретні деталі проектування об'єктів. У сфері інженерного проектування машинобудування часто не враховують вплив явищ із суміжних технологічних галузей.

На практиці вчені та інженери стикаються з викликами створення машин, враховуючи їх особливості в розробці, виготовленні, експлуатації та ремонті. Це особливо важливо в процесі створення валкових пресів для обробки сировини. Отже, актуальним є розробка методів проектування, які охоплюють весь життєвий цикл пресового обладнання.

Це вимагає огляду та аналізу інформації про сучасні методи та засоби проектування механічного обладнання для їх застосування при створенні валкових пресів. Валкові преси широко використовуються в різних промислових галузях для обробки сировини та отримання матеріалів із заданими властивостями. На рис. 1 наведено принципову конструктивну схему валкового преса.

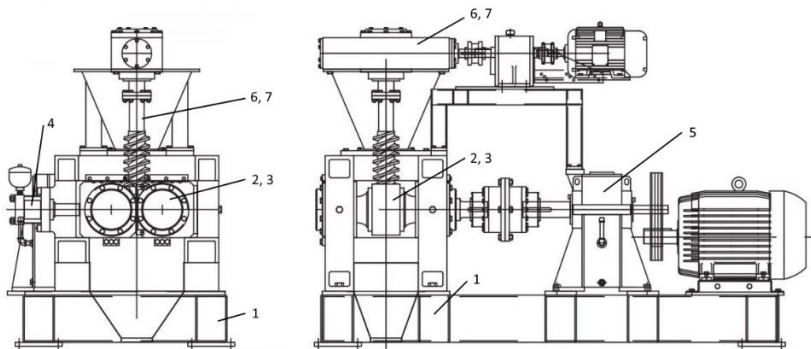


Рисунок 1 – Валковий прес принципова конструктивна схема: 1 – рама преса; 2 – валки; 3 – змінні бандажі валків; 4 – гідравлічний пристрій захисту валків від перевантаження; 5 – лінія приводу преса; 6 – підпресовник шнекового типу; 7 – завантажувальний пристрій.

В роботах [1-5] описані методології проектування, які добре структуровані та дають уявлення про методика проектування. Але вони більше підходять для узагальненого навчання фахівців в галузі

проектування.

На практиці інженерного проектування валкових пресів для брикетування в умовах реальної промисловості, інженери та менеджери більше стурбовані результатами проектування, ніж його процесом та методологією. Тобто, в даному варіанті є необхідність жорсткого дотримання умов гарантування того, що кінцевий результат проектування відповідає цілям реалізованих на виробництві проектів.

В таких умовах дотримуватися якихось жорстких правил проектування досить важко. Це на практиці призводить до виникнення трансформованих, нових методів та принципів створення машин. Наприклад, доволі багато великих машинобудівних компаній вже розробили свої власні моделі та процедури проектування, які залежать від їхніх промислових потреб. На базі багаторічного досвіду проектування та експлуатації вироблених ними машин їм вдається розробляти докладні процедури реалізації та оцінки ефективності проектів, що реалізуються. Теж саме стосується і розробок валкових пресів, які ведуться спеціалістами Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (ІЧМ). Фахівцями інституту накопичено значний досвід розробки та впровадження технологій та обладнання для брикетування, а також зібрано та систематизовано досвід партнерів та конкурентів, цілком актуальним є розробка власної науково обгрунтованої докладної покрокової процедури створення валкових пресів для брикетування сировинних матеріалів. Саме це підводить до необхідності аналізу та оцінки ефективності конкретних методологій проектування з метою з'ясування, чому одні методології є більш застосовними в освіті, інші на практиці інженерної справи з метою визначення найбільш ефективного підходу до подальшого розвитку методів проектування валкових пресів.

Метою роботи є аналіз сучасних підходів та методів проектування для їх подальшого застосування для розробки сучасного системного підходу до проектування валкових брикетних пресів.

Викладення основних матеріалів.

Класифікація та аналіз базових походів теорії та методології проектування.

Класифікація та аналіз основних підходів у теорії та методології проектування є актуальним завданням, незважаючи на різноманіття теорій та методологій, які були розроблені до теперішнього часу. Проте визначення самого поняття "теорія та методологія проектування" залишається неоднозначним. Взаємозв'язок між різними теоріями та методологіями досліджений недостатньо, і часто розробники обладнання мають труднощі у виборі належного методу для проведення проектних процесів. У контексті проектування

валкових пресів, короткий огляд сутності теорії проектування може визначити оптимальний набір процесів та дій для створення цього технологічного агрегату.

Початково теорія та методологія проектування машин складалася як процес збору та узагальнення даних щодо окремих випадків проектування конкретних машин. З розвитком досліджень, ці аспекти почали розвиватися у бік більш абстрактних та загальних форм. Остаточною метою є отримання універсальної та абстрактної теорії проектування машин. Однак наявність недосконалих загальних теорій, поруч із індивідуальними, свідчить про те, що теорія проектування машин перебуває на стадії розвитку.

Це повною мірою стосується проектування валкових пресів для брикетування. Досі немає єдиного універсального підходу до проектування валкових пресів. Це зумовлено наступними причинами: різноманіття та конструктивних рішень пресів у цілому, а також їх вузлів та деталей; в активному розвитку знаходяться методи визначення технологічних та енергосилових параметрів процесу брикетування та режимів роботи пресового обладнання на різних стадіях експлуатації; розширюється номенклатура матеріалів, що брикетуються, що веде до зміни базових конструкцій пресового обладнання; змінюються системи управління обладнанням; при проектуванні пресів активно застосовуються нові матеріали, конструктивні деталі та вузли.

Згідно з даними, наведеними роботі [6], принципи теорії проектування машин можна представити у вигляді чотирьох взаємопов'язаних категорій підходів до проектування:

1. *Конкретний та індивідуальний*: групуючи та класифікуючи дані про окремі варіанти проектування, що належать до певного класу машин, виділяються загальні для них риси та принципи. При цьому формуються методи проектування цього конкретного класу машин. В нашому варіанті, це індивідуальні методи проектування валкових брикетних пресів.

2. *Конкретний та загальний*: Такий принцип теорії та методології проектування націлений на опис конкретних прикладів проектування, які при цьому застосовуються до широкого спектру об'єктів. Такий підхід може бути сформований шляхом узагальнення методів проектування. Щодо машинобудування таке узагальнення формується шляхом зосередження уваги на конкретних характеристиках та принципах їх проектування, які є загальними різних типів машин. Наприклад, при проектуванні валкових пресів для брикетування прийнятне узагальнення характеристик та принципів створення, які є загальними для ширшого класу обладнання – валкових машин та агрегатів (прокатних та волочильних станів, валкових дробарок,

компакторів, станів для прокатки-пресування металевих порошків та композитних матеріалів, валкових машин для формування полімерних матеріалів тощо). Зосередившись на функціях, ми отримуємо так звані методології розпорядчого проектування докладно описаних у роботі [7]. Так зосереджуючись на наборі конкретних цілей у рамках проектування пресового обладнання, буде сформовано конкретне конструкторське рішення одиначної машини. Якщо в процесі роботи фокус уваги буде зосереджений на управлінні процесом проектування пресового обладнання, то на виході буде отримано технологію процесу для контролю та управління розробкою пресового обладнання, як класу машин, що дозволяє реалізовувати принцип паралельного проектування.

3. *Абстрактний та індивідуальний*: абстрагуючи методи проектування формується теорія та методологія проектування, яка застосовна лише до певного типу машин. У разі методика проектування може бути описана аналітичними виразами, а проектні рішення можуть бути отримані алгоритмічно за допомогою обчислень. Така категорія теорії та методології проектування включає безліч обчислювальних методів для оптимізації та інженерних обчислень. При цьому ці обчислювальні методи не включають системи моделювання, такі як геометричне моделювання. Це пов'язано з тим, що системи моделювання є структурними складовими моделювання (інструментом створення моделі), а не методами проектування. Наприклад, САД-системи твердотільного моделювання є інструментом для створення та аналізу параметрів деталей і вузлів валкових пресів, причому самі по собі вони ніяк не пов'язані з теорією та методологією проектування цих машин, вони лише інструмент, що використовується при проектуванні.

4. *Абстрактний та загальний*: теорія процесів проектування, діях та знаннях, яка описує процес проектування у вигляді набору та певної послідовності операцій. Такий підхід часто застосовується при розробці та вдосконаленні CAD/CAM-систем [8].

Отже, формування методології проектування валкових пресів визначає початковий етап у створенні структури процесу проектування, яка може бути використана для розробки конкретних модифікацій пресів. Процес розробки будь-якої конструкції пресового обладнання, включаючи валкові преси, завжди складається з послідовності логічних етапів, на яких виконуються завдання з розробки та створення конкретних конструктивних елементів. Незважаючи на різноманіття компоновальних рішень, розмірів, що визначаються продуктивністю та силовими параметрами пресування, типу формуючих поверхонь і інших варіацій, всі моделі валкових пресів дотримуються аналогічного порядку та хронології процедур у процесі їх проектування та виробництва.

Суттєвий внесок у дослідження методології проектування машин внесли європейські вчені. Зокрема, варто відзначити важливі роботи Роденакера [9], а також Пала та Бейтца [1], де викладена методологія проектування, ґрунтована на функціональній декомпозиції. У цих дослідженнях запропоновано підхід, в рамках якого відбувається декомпозиція необхідних функцій на підфункції, формуючи ієрархію функцій. Далі визначається функціональний елемент, відповідальний за виконання функції конкретного перетворення в системі. Загальне рішення формується шляхом збирання таких функціональних елементів. Цей підхід на даний момент є популярним серед механіків і є доречним для розробки валкових пресів для брикетування.

Для полегшення використання такого підходу, Роденакер та Рот впровадили концепцію баз даних функціональних елементів [9, 10]. Навіть при наявності обмежень у роботах [1, 9, 10], представлені в них ідеї дозволили вивести теорію проектування на новий науковий рівень. Раніше, проектування передбачало комплекс інженерних розрахунків та створення робочих креслень. Тепер висунуто пропозицію розпочинати процес проектування з аналізу функціональності окремих елементів і всієї машини в цілому. Це представляє собою раціональний підхід до проектування, який значно скорочує тривалість розробки машини.

Результатом проведених досліджень є створення узагальнених рекомендацій до проектування у формі нормативних документів [11, 12]. В даних роботах запропонований підхід, який в повній може бути застосований для розробки методів створення різних модифікацій валкових пресів, враховуючи використання уніфікованих модулів. На сьогодні цей підхід зазнав розвитку та трансформації у роботах Томіями [13], Йошикави [14], Какуди [15] та Грабовського [16].

Внаслідок еволюції загальної теорії проектування виникла математична формалізація процесів проектування, ґрунтована на аксіоматичній теорії множин. Це означає, що знання про процеси проектування перейшли на новий етап, де можлива їхня математична описові та подальше використання. При проектуванні машин і технологічних процесів тепер можливе опрацювання масивів, які включають точні фізичні концепції і величини, а також нечіткі, іноді суперечливі та обґрунтовані знання, які раніше лише описувались вербально.

В роботах [17, 18, 19] дослідження процесу проектування охоплює не лише вивчення методів теорії проектування, що є прагматичним підходом. При аналізі виробничої практики можна відзначити, що проектування зазвичай використовує різні методи та підходи, і тому не існує універсальних стратегій чи методів для створення технічних об'єктів – наявні різноманітні їх комбінації. Наприклад, метод розробки

продукції, впроваджений експертами Toyota [20], є одним із таких підходів, що включає регулярні перевірки результатів проектування не лише розробниками, але й зацікавленими сторонами для вчасного виявлення проблем та обміну інформацією щодо конструкції машин.

Однак у цьому підході не відляється достатньо уваги тому, як інтегрувати різноманітні методи та моделі, що використовуються при проектуванні, в одну систему. В рамках розробки сучасного машинобудівного обладнання, включаючи пресове устаткування, міждисциплінарні знання стають необхідними. Більш того, останні досягнення в області інформаційно-комунікаційних технологій значно змінюють підхід до розробки промислового обладнання, яке тісно інтегрується з різними технічними та інформаційними системами.

- CAD (англ. Computer-aided design/drafting) – засоби автоматизованого проектування, в контексті зазначеної класифікації означає засоби систем автоматизованого проектування (САПР), які призначені для автоматизації двовимірного та/або тривимірного геометричного проектування, створення конструкторської та/або технологічної документації;

- CAE (англ. Computer-aided engineering) – засоби автоматизації інженерних розрахунків, аналізу та симуляція фізичних процесів, з використанням яких здійснюють динамічне моделювання, перевірку та оптимізацію виробів;

- PDM (англ. Product data management) – управління даними продукту, тобто. використання програмного забезпечення для управління даними про продукти та процеси в рамках єдиної централізованої системи;

- CAM (Computer-aided manufacturing) – прикладна технологія, що використовує комп'ютерне програмне забезпечення та механізми для спрощення та автоматизації виробничих процесів;

- ERP (Enterprise Resource Planning) – спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє підприємствам будь-якого розміру керувати всіма процесами організації бізнесу, включаючи ланцюжки поставок, закупівлі, фінанси та проекти;

- CRM (англ. Customer relationship management) – прикладне програмне забезпечення, призначене для автоматизації стратегій підприємства по взаємодії з клієнтами;

- PLM (англ. Product lifecycle management) – прикладне програмне забезпечення для управління життєвим циклом продукції, яке є основою, що інтегрує інформаційний простір, у якому функціонують САПР, PDM, CRM та інші автоматизовані системи різних підприємств.

Сутність та застосування інженерних технологій та систем для моделювання валкових пресів та представлення проектних знань

виходять за межі даної публікації, однак вони є необхідною складовою сучасних підходів до проектування пресового обладнання і залишаються актуальними для розробки вдосконаленого методу створення валкових пресів.

Крім основ загальної теорії проектування, надається короткий огляд та аналіз відомих методів проектування машин, технічних систем і процесів, що тісно пов'язані із зазначеною теорією та можуть бути використані при розробці валкових пресів.

Адаптивне проектування [21] – це підхід, спрямований на створення конструкції машини, яка може легко адаптуватися до різних та змінних вимог. Цей метод стає особливо актуальним у випадку створення валкових пресів для обробки різноманітних дрібнофракційних матеріалів.

Аксиоматичний дизайн передбачає, що оптимальне конструктивне рішення відповідає двом аксіомам [22]: 1) максимальна незалежність функціональних елементів; 2) мінімальна інформативність. Теорія аксіоматичного проектування застосовується у різних промислових галузях, включаючи розробку програмного забезпечення і виробничих систем. Однак для проектування валкових пресів цей підхід виявляється менш актуальним.

Метод СРМ Вебера [23, 24] вирішує ряд завдань, включаючи:

- Розробку програмних засобів, які інтегрують кілька існуючих підходів теорії проектування, включаючи ті, що раніше вважалися несумісними, такі як європейські школи (наприклад, представлені Палом і Бейтцем або VDI 2221) та Аксиоматичний дизайн Су;
- Створення можливості інтеграції методів, таких як DfX, у процес проектування;
- Розгляд питань, які контролюють процес розробки/проектування продукту;
- Вирішення деяких відкритих теоретичних та практичних питань, таких як перехід від загальних концепцій проектування до конкретних процедур для застосувань;
- Забезпечення теоретичної бази для розробки та використання методів та інструментів у процесі розробки, таких як CAD/CAM/CAE.

Наразі такий підхід не є відповідним для проектування валкових пресів через складність його впровадження, що призведе до непотрібних фінансових витрат і затримок у часі.

Паралельне проектування (СЕ) – це метод розробки технічного обладнання, в якому об'єднуються знання та моделювання всіх етапів життєвого циклу обладнання, включаючи планування, проектування, виробництво, поставку, обслуговування та завершення життєвого циклу. Головна мета цього підходу - зменшення термінів розробки

обладнання та підвищення ефективності проектного процесу [25, 26]. Паралельне проектування становить ключовий компонент концепції ефективного виробництва.

Основні принципи цього підходу включають:

1. Використання спільних конструкторських концепцій, виробничих обмежень та інформації про життєвий цикл.
2. Орієнтацію на виробництво дизайну та його розширення до концепції дизайну для X (див. далі в тексті).
3. Масову кастомізацію для задоволення індивідуальних потреб клієнтів.
4. Здійснення реінжинірингу процесів за допомогою паралельного підходу.
5. Проведення переговорів та співпраця під час розробки обладнання.

Такий підхід можна вважати доволі актуальним при проектуванні валкових пресів для брикетування дрібнофракційних матеріалів, бо він доволі близько відповідає реальним емпірично складеним умовам створення даних машин.

Модель контактів і каналів (C&CM) Альберса базується на аналогіях із будівельними технологіями, де система розглядається як набір блоків під час декомпозиції [27]. В процесі проектування головною метою є об'єднання цих блоків у єдину структуру шляхом перевірки точного відповідності властивостей блоків для ефективного та правильного їх взаємозв'язку. Щодо проектування брикетних пресів, такий підхід може бути актуальним, оскільки при використанні модульного принципу базові конструктивні модулі групуються так, щоб з них можна було синтезувати надійну та ефективну конструкцію. З іншого боку, під час проектування пресів важливо, щоб певні деталі та вузли з'єднувалися у єдину конструкцію лише при відповідності заданим умовам та конструктивній відповідності один одному.

Дизайн для X (DfX) – це узагальнена термінологія для сімейства методологій, розроблених та впроваджених з метою покращення характеристик/індикаторів об'єкта проектування, а також процесу проектування з певної перспективи, представленої символом X [28-30]. Наприклад, X може визначати:

- конкретну характеристику (наприклад, вартість, якість, час виконання замовлення, ефективність, гнучкість, ризик або вплив на навколишнє середовище);
- фазу життєвого циклу продукту (наприклад, виробництво деталей, збірка, розповсюдження, обслуговування або утилізація) або один із підпроцесів (наприклад, захоплення або подача матеріалу, що обробляється машиною).

Цей підхід виявляється ефективним у випадку розробки валкових пресів, коли наявні значні досягнення в даному напрямку, а також чітко визначені вимоги до проектування, альтернативи базових проектних рішень вже відомі.

Методи прийняття рішень в області проектування розглядалися як повторюваний процес, а не як відокремлена подія [31-34]. Цей підхід був вперше запропонований Гербертом Саймоном. Процес прийняття рішень у широкому контексті включає формування альтернативних варіантів дизайну, розробку системи оцінювання для аналізу альтернатив та, врешті-решт, вибір найбільш привабливої альтернативи дизайну.

Дослідження в галузі методів прийняття проектних рішень зазвичай передбачає, що створення альтернативних варіантів конструкції не представляє собою проблеми; скоріше, основна трудність полягає в обранні одного з наявних варіантів. Для здійснення оптимального вибору проектувальникам необхідно чітко сформулювати цілі проектування і вміло оцінювати чи прогнозувати показники ефективності альтернатив в порівнянні з визначеними цілями в умовах невизначеності.

Це також відноситься до умов проектування валкових пресів, де можливість розробки широкого спектру конструктивних рішень призводить до великої кількості варіантів. У таких умовах вибір конкретного проектного рішення для забезпечення ефективного використання його у складі технологічної лінії брикетування стає завданням, пов'язаним із значною невизначеністю. Тому ключовим аспектом стає вибір, базований на досвіді розробників та фахівців, які працюють із цим типом обладнання.

Матриця структури проекту (DSM), також відома як метод структури залежностей, матриця структури залежностей, матриця вирішення проблем (PSM), матриця інцидентності, N-квадратна матриця або матриця пріоритету дизайну [35, 36], представляє собою підхід до управління складними системами, зосереджуючись на інформаційних потоках та взаємозалежностях всередині та між різними областями, такими як просторова, енергетична, інформаційна та матеріальна області. DSM широко використовується для різноманітних цілей, таких як структурування та кластеризація компонентів продукту. Концепція DSM була розглянута в роботах Браунінга, а метод модуляції на основі концепції DSM був описаний Пімлером та Еппінгером.

DSM представляє собою матричне візуальне представлення, наприклад, машини чи агрегату. Застосовуючи алгоритми кластеризації, можна ідентифікувати модулі, що складаються з даної

машини, використовуючи інформацію, яка зберігається в матриці структури проекту.

На сьогодні існує низка комп'ютерних програм, які використовують DSM. Проте, створення та використання DSM для розв'язання конкретних завдань вимагає значного часу та глибоких знань про об'єкт та область проектування від різних фахівців. Важливо відзначити, що при проектуванні валкових пресів за модульним принципом застосування методу матриці структури проекту може бути потенційно ефективним, але на практиці його реалізація є складною задачею.

Емерджентний синтез [37, 38] є методом, спрямованим на управління складними системами, де взаємодії між локальними компонентами формують глобальну поведінку. Цей підхід використовує як висхідні, так і нисхідні стратегії для досягнення цілей всієї системи. Застосування емерджентності дозволяє розробляти ефективні та адаптивні рішення, враховуючи локальні та глобальні цілі конструювання. Компоненти системи утворюють ієрархію конструкції так, щоб досягти оптимальних параметрів проекту в цілому. Такий підхід виглядає перспективним для розвитку сучасних методів проектування валкових пресів.

Аналіз видів і наслідків відмов (FMEA) [39] представляє собою систематичний підхід до розгляду проблем, пов'язаних з відмовою обладнання, і був розроблений у 1960-х роках в аерокосмічній промисловості США.

Процедура FMEA для умов проектування валкового преса охоплює наступні етапи:

1. Визначення параметрів та моделювання валкового преса, враховуючи технологічний процес брикетування.
2. Виявлення потенційних режимів відмови преса та його компонентів.
3. Висновок щодо ймовірності відмови преса через кожний режим відмови.
4. Розрахунок міри критичності кожного режиму відмови на основі виникнення режиму відмови, серйозності відмови преса та виявлення режиму відмови.
5. Удосконалення конструкції преса з урахуванням розрахованої міри критичності.

Однак FMEA залишається недостатньо формалізованим і в значній мірі залежить від рівня кваліфікації та практичного досвіду фахівців. Крім того, ускладнюється процес визначення міри критичності, що обмежує використання цього методу в сучасних системах автоматизованого проектування (САПР).

Метод Хансена – визначає систему як чітко розмежовану частину

реальності, яка має: відносини із навколишнім середовищем (U), структуру (S) та функцію (F) [40, 41].

Властивості системи (вектора P) формально можна виразити так:

$$P = \{U, F, S\} \quad (1)$$

Таким чином, ключовою проблемою інженерного проектування є відносини між набором функцій та наборами структур, які, загалом, характеризуються виразами (2), (3), в яких подвійна стрілка позначає багатоваріантне відображення:

$$\text{Аналіз: } S \rightarrow F \quad (2)$$

$$\text{Синтез: } F \Rightarrow S \quad (3)$$

Отже, метод, розроблений Хансеном, відіграв важливу роль у розвитку структурно-параметричного аналізу та синтезу машин і технічних систем. Цей підхід є особливо цікавим, оскільки багато розробників сучасного обладнання, зокрема в металургійній галузі, визнають ефективність рішень, які виникають при використанні методів структурно-параметричного аналізу та синтезу.

Метод Хубки та Едера [42, 43] – у дуже спрощеному формулюванні даний метод базується на наступних складових:

1. Міркування про проєктовані об'єкти та його властивості (теорія технічних систем).

2. Заяви та рекомендації про процес та корисні операції у проєктуванні (методологія та процес проєктування).

3. Концепція структурування знань, пов'язаних із проєктуванням.

Ядро підходу Хубки та Едера представляється так:

1. Загальна модель процесу трансформації, яка служить для визначення мети та завдань технічної системи, яка буде або розробляється, і яка може бути адаптована до різних фаз життя системи.

2. Модель, що відноситься до видів структур технічної системи, які послідовно встановлюються відповідно до етапів процесу проєктування (мета, внутрішній процес, функції, органи, компоненти).

3. Структура (системних) властивостей, які визначають та описують технічний продукт чи систему після того, як вони були спроектовані.

Метод комплексного розвитку продукту Андреасена [44, 45] відноситься до категорії інтегрованих моделей проєктування машин та систем, де процеси пов'язані з трьома ключовими аспектами – потребами ринку, об'єктом проєктування та виробництвом.

В окремих методологіях проєктування існує ризик фокусування лише на формулюванні сценаріїв для етапу розробки, замість створення структури для керівництва процесами на даному етапі. Андреасен визнав це, врахувавши відмінність між переходом між

фазами у процесі розробки машин та необхідними процесами.

Цикл розробки машини відповідно до цього методу виглядає так:

1. Визнання необхідності розробки нової машини чи її модифікації.
2. Дослідження потреби – встановлення потреб, які задовольняються даною машиною відповідно до її типу, класу та реалізованого нею процесом.
3. Принцип машини – формується уявлення про параметри та умови експлуатації машини та загальні принципи її побудови, визначаються методи та способи виробництва, оцінюються параметри у співвідношенні з аналогічними машинами конкурентів.
4. Проектування машини – оцінюється можливість реалізації процесу виготовлення машини, виробничі процеси та становище на ринку обладнання.
5. Підготовка виробництва – включає підготовку до виробництва, модифікацію машини для умов виробництва, розробка заходів щодо передпродажної підготовки.
6. Етап реалізації – процес виготовлення машини, адаптація у процесі виробництва, продаж.

Метод Коллера [46] представляє собою фізично та алгоритмічно орієнтований підхід до проектування, в якому визначаються етапи, завдання, типи виконуваних дій та прийняті рішення. Ця модель адаптується до відомих етапів проектування, таких як прояснення завдання, функціональне обґрунтування, пошук принципів роботи, компонування та детальне проектування.

Метод Коллера відомий обширними каталогами принципів рішення, систематизованими за типами базових операцій та їх комбінаціями введення/виведення. Цей підхід також відзначається значними розширеннями, зокрема в сфері систематичних варіацій концепцій та схем, порівняно з іншими методами, розробленими іншими авторами.

У 1970-х роках Коллер активно займався розробкою програмного забезпечення для систем автоматизованого проектування (САПР), що завжди пов'язувалося з методологією проектування.

Метод Пала і Бейтса [47], визнаний одним із найбільш використовуваних у промисловості та освіті, базується на ретельному аналізі технічних систем, системному підході та процесах вирішення проблем. Основна мета цього методу полягає в адаптації загальних положень до вимог процесу проектування машинобудівельних систем та включенні конкретних етапів роботи та прийняття рішень.

У цьому методі проектування центральним видом є прогнозування життєвого циклу машини.

Сам процес проектування чи розробки машини розбивається на

чотири основні етапи: планування та уточнення завдань; концептуальне проєктування; здійснення проєкту; детальне проєктування.

Розгортання функції якості (QFD) [48] – розробляється виходячи з виробничого досвіду. Спочатку QFD було визначено як покрокова процедура для систематичного розгортання процесів чи функцій розробки продукту, які сприяють досягненню необхідної якості продукції.

Практичні етапи процесу QFD можуть бути різними залежно від типів розробок, таких як: удосконалення існуючих розробок, новітні розробки, розробки для масового виробництва, елементи, зроблені на замовлення, елементи іншої якості. Стандартизовані кроки QFD виглядають так:

1. Якісне використання: відображення летких органічних сполук у вимірних характеристиках якості продукту, структурі продукту, а потім у компонентах продукту.

2. Розгортання технологій: відображення структури продукту та компонентів у технологічних елементах та виробничих процесах.

3. Розгортання витрат: перерахування статей витрат відповідно до розгортання технологій.

4. Розгортання надійності: FMEA (аналіз видів та наслідків відмов) на основі результатів трьох попередніх кроків.

Застосування методів QFD нині спрямовано створення екологічно безпечних проєктів, що може бути доволі цікаво при створенні валкових пресів, які, в більшості варіантів, є складовою ланкою з переробки техногенних сировинних матеріалів.

Метод Рота [49, 50] – явно ставиться до завдань проєктування та виключає ті кроки, які відбуваються після завершення проєктування, хоча структура моделі підходить для всієї фази розробки. Цей метод можна вважати цілком прийнятним для проєктування валкових пресів.

Модель процесу проєктування визначає чотири різні етапи:

1. На етапі формулювання завдання проєктування визначається вказівкою функцій.

2. На функціональній фазі об'єкт розробки розвивається у кілька концепцій шляхом визначення різних функцій об'єкта, фаза закінчується порівнянням концептуальних функцій із заданими функціями першої фази. За потреби на цьому рівні можливий перехід до будь-якого попереднього кроку. На цьому та наступному етапі слід звертатися до каталогу проектних рішень.

3. На етапі проєктування форми функціональна концепція об'єкта проєктування буде деталізована шляхом визначення форми, матеріалів, методів виробництва та витрат. Після деталізації

властивості розробленого продукту порівнюватимуться з його функціональними вимогами, визначеними першому етапі.

4. На етапі результатів спроектований об'єкт буде підготовлений до виробництва шляхом створення виробничих креслень виготовлення.

Метод Тагучі [51] націлено на покращення якості продукції та процесів протягом усього життєвого циклу машини, здійснюючи підхід до надійного проектування. Цей метод визначає параметричне проектування як ключову складову, де встановлюються фактори управління та їх значення, спрямовані на мінімізацію чутливості якості продукту до негативних зовнішніх факторів під час експлуатації машини. Зазвичай метод Тагучі використовується у поєднанні з іншими методами.

Для оцінки якості продукції впроваджено концепцію функції втрат. Функція втрат вимірює втрати користувача при використанні машини, враховуючи втрати, спричинені змінами функцій машини та іншими факторами, такими як вартість та побічні ефекти. Розрахунок втрат здійснюється за допомогою середньоквадратичного відхилення від цільового значення. Різноманіття в функціях продукту пояснюється впливом різних факторів шуму, таких як:

- Внутрішній шум, що включає варіації та знос компонентів тощо.
- Зовнішній шум, пов'язаний з умовами використання та довкіллям тощо.
- Виробничий шум.

Надійне проектування за методом Тагучі включає два основних етапи:

1. Параметричне проектування: Спочатку визначаються всі значущі контрольні фактори, і формується необхідний набір функціональних експериментів відповідно до методу, який аналогічний плануванню експерименту на основі наперед визначених ортогональних масивів. Проведення функціональних експериментів можливо з використанням комп'ютерного моделювання, при цьому в імітаційну модель вводяться відповідні коефіцієнти шуму. Результати експериментів оцінюються за величиною відношення сигнал/шум (S/N), що відображає стійкість функціональних характеристик машини відносно шумів. Аналізуючи значення відношення сигнал/шум для кожного контрольного фактора, можна визначити їхню відносну важливість та оптимальні рівні.

2. Проектування з допусками: Для деталізації параметричного проектування та досягнення ефективного балансу між функціональністю машини та іншими факторами, такими як вартість,

визначаються точні налаштування допусків для керуючих факторів. Задаються значення допусків, і проводяться функціональні експерименти, що аналогічні параметричному проектуванню.

На сучасному етапі метод Тагучі розширено для використання в програмному забезпеченні та інших областях розробки, він може вважатись доволі перспективним для використання при проектуванні брикетного обладнання, включаючи всі елементи технологічної лінії, в т.ч. валковий прес.

Методологія загального проектування Пьюга [52] встановлює фундамент для структурованої моделі процесу проектування, що широко використовується промисловими фахівцями на практиці. Це визначається його основним елементом – "Процес відбору концепцій", який дозволяє ітеративно обирати найкращу концепцію із численних кандидатів на основі заданих критеріїв, використовуючи матрицю вибору концепцій (відому як матриця П'юга). Метод може застосовуватися не лише на етапі концептуального проектування загальних проектних рішень, але також для вибору концепцій загальної архітектури системи, підсистем та окремих компонентів. Ядром методології Пьюга є "Специфікації проекту об'єкта, що створюється".

У порівнянні з іншими методами, методологія Пьюга відзначається своєю простотою та зручністю використання, чого підтверджено численними промисловими застосуваннями. Також важливо відзначити, що метод Пьюга може бути успішно інтегрований з методом якості функції (QFD). На базі методу Пьюга розроблено значну кількість додаткових розробок, зокрема, розгортання покращеної функції якості та розгортання функції екологічності.

Метод ТВВЗ (Теорія вирішення винахідницьких завдань), зокрема описаний у роботах [53-55], виник шляхом спостереження за інваріантами, які є характерними для еволюції технічних об'єктів. В рамках вирішення завдань проектування в ТВВЗ конкретна проблема переосмислюється як більш загальна, розв'язується за допомогою інструментарію ТВВЗ і потім знову трансформується назад у конкретну ситуацію. Методологія ТВВЗ акцентує увагу на концепції ідеального кінцевого результату та спрямовує користувача в напрямку зближення до винахідницьких рішень для конкретної проблеми, уникаючи компромісів, як потенційного варіанту вирішення. Такий підхід стоїть у контрасті з іншими методами проектування, які ґрунтуються на взаємодії ідей для виникнення нових пропозицій та, як правило, надають перевагу великій кількості ідей. Виявлення протиріч та застосування принципів вирішення підкреслюють можливі обмеження в наявних знаннях і, таким чином, вказують на систематичний підхід до інтеграції нових компетенцій та технологій. Окрім розв'язання конкретних

завдань, ТБВЗ також включає узагальнені закони розвитку для прогнозування еволюції технічних систем та машин.

Деякі підприємства обмежуються інтеграцією конкретних інструментів ТБВЗ або впровадженням спрощених інноваційних методологій, що базуються на ТБВЗ. У той час як інші прикладають зусилля, навчаючи своїх співробітників класичній ТБВЗ.

Відмінність успіху застосування цього методу відзначається німецькими промисловцями, які розглядають ТРВЗ як ефективний підхід до розв'язання проблем і вказують на економічну вигоду від «досить високої» до «дуже високої» для 57% компаній, які використовують ТБВЗ. Це підтверджується зростаючою участю компаній у конференціях з ТРВЗ та розширенням бази передплатників на публікації із цієї тематики.

Універсальна теорія проектування (УТП) [56, 57], розроблена науковцями під керівництвом Ганса Грабовські, та представляє собою концептуальний підхід, який інтегрує компактним та послідовним способом інформацію з різних галузей наукових дисциплін, таких як машинобудування, матеріалознавство, інформатика, хімія, хімічна інженерія або фармацевтика. УТП становить наукову основу для систематизації міждисциплінарних розробок продуктів, спрямовану на поліпшення ефективності та надійності виробів.

Метод Ульмана [58] спрямований на систематизацію процесу проектування механічних систем. Його методологія розглядається як системне проектування, що охоплює етапи визначення параметрів механічної системи, розробку проектних специфікацій, концептуальний проект, детальне проектування, розробку та тестування готової машини. На концептуальному рівні цей підхід виявляє небагато відмінностей в порівнянні з раніше розглянутими методами. В методології Ульмана ключовим аспектом є комунікація, яка ґрунтується на спільному розумінні термінології, використовуваної у процесі проектування. Учасники розробницького колективу мають використовувати спільні терміни для опису об'єктів, процесів, методів і дій.

Метод Ульріха та Еппінгера [59] фокусується переважно на аспектах «розробки продукту», які є складними, порівняно з простим інженерним проектуванням. Практичне втілення цього методу розпочинається з детального визначення планування продукту, конкретизації його визначення і навіть врахування маркетингових аспектів. Щодо інженерного проектування, метод висвітлює важливість системної архітектури, охоплюючи такі аспекти, як модульна архітектура, виробничі вимоги (DfX, вартість і т.д.) і аспекти процесу (паралелізм процесів).

За концепцією Ульріха та Еппінгера, архітектура машини може

бути визначена у вигляді специфікації, в якій функціональні елементи організовані в «фізичні блоки», тобто елементи, кожен з яких виконує певні функції. Важливою характеристикою архітектури є її модульність або інтегральність. Машини, побудовані на принципі модульності, складаються з блоків, що включають в себе конкретний набір функціональних елементів, і мають чітко визначені взаємодії з іншими блоками.

Дії, які передбачає даний метод у процесі проектування: 1. Створення схематичного зображення машини; 2. Формування компонентів кластера у межах цієї схеми; 3. Створення жорсткого геометричного макету; 4. Визначення фундаментальних та випадкових взаємодій.

Висновки

Сучасні методи проектування машин можна розділити на дві основні категорії:

1. Теоретичні методи, які переважно використовуються в процесах навчання інженерів.

2. Методи, що застосовуються як у навчанні, так і на практиці в умовах реального виробництва. Це супроводжується активною гібридизацією відомих методів, їх комбінуванням та поєднанням.

Раніше класичні методології проектування підкреслювали важливість системного підходу до проектування, починаючи з функціональних міркувань, проте не розглядали, як досягти інноваційного результату в процесі проектування.

Проте останнім часом в промисловості все більше використовується інноваційне проектування, що передбачає створення принципово нових конструкторських та технічних рішень, а також використання модульності в зборці, синтезу та структурування конструкцій машин. З цієї причини, наприклад, теорія вирішення винахідницьких завдань набуває популярності, як метод розширення інноваційних можливостей.

У розробці вдосконаленого системного підходу до створення валкових брикетних пресів перспективною є розробка гібридного системного підходу, що об'єднує різні методи проектування деталей, вузлів та машин в цілому.

Раніше вказувалося, що методи проектування перебувають у процесі активного розвитку. Тому в процесі вдосконалення системного підходу до проектування валкових пресів необхідно уникати повного відкидання класичних методів проектування. Це пояснюється тим, що на сучасному етапі існують приклади успішного використання нових методик проектування, які інтегрують елементи класичної теорії проектування з інноваційним підходом, що дозволяє досягати

ефективних практичних результатів. Одночасно з розробкою сучасного системного підходу до створення валкових брикетних пресів, окрім базових знань теорії та методології проектування, необхідно враховувати три важливі аспекти:

- Досвід у створенні складних багатопрофільних машин та агрегатів, при створенні яких враховується взаємодія значної кількості параметрів та факторів (конструктивних, технологічних, експлуатаційних тощо).

- Використання у побудові методик проектування пресів сучасних інструментів галузі цифрової та віртуальної інженерії (CAD, CAE, CAM тощо) для підвищення ефективності вирішення проектних завдань.

- Врахування сучасних умов глобалізації інженерних рішень, стандартизації конструктивних елементів та баз даних деталей та вузлів машин при розробці методів пошуку раціонального конструктивного рішення пресів.

Перелік посилань / References

1. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering Design – A Systematic Approach*. Wallace K, Blessing L (Trans. and Eds.) 3rd ed. Springer, Berlin
2. Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2008). *Product Design and Development*. 4th Edition, McGraw-Hill, New York
3. Ullman, D. G. (2002). *The Mechanical Design Process*. McGraw Hill
4. Pugh, S. (1991). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Prentice Hall, New York
5. Dixon, J., & Poli, C. (1995). *Engineering Design and Design for Manufacturing: A Structured Approach*. Field Stone Publishers, Conway, MA
6. Tomiyama, T (1997). A Note on Research Directions of Design Studies. In Riitahuhta A, (Ed.) WDK 25, *Proceedings of the 11th ICED*, Vol. 3. Tampere University of Technology, Tampere, Finland, pp. 29–34
7. Andreasen, M. M, & Hein, L. (1987). *Integrated Product Development*. Springer, New York
8. Tomiyama, T., & Yoshikawa, H. (1987). Extended General Design Theory. In Yoshikawa H, & Warman EA, (Eds.) *Design Theory for CAD*. North-Holland, Amsterdam, pp. 95–130
9. Rodenacker, W. G. (1976). *Methodisches Konstruieren: Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele*. Springer, Berlin.
10. Roth, K. (1982). *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*, vol. II/ Kataloge. Springer, Berlin
11. VDI. (1993). *VDI 2221: Systematic Approach to the Development and Design of Technical Systems and Products*. Beuth Verlag
12. VDI. (1997) *VDI 2222: Part 1. Methodic Development of Solution Principles*. Beuth Verlag
13. Tomiyama, T. (2006). A Classification of Design Theories and Methodologies. *Proceedings of the 2006 ASME IDETC*, Paper No. DETC2006-

99444, ASME

14. Tomiyama, T., & Yoshikawa, H. (1987). Extended General Design Theory. In Yoshikawa H., Warman EA, (Eds.) *Design Theory for CAD*. North-Holland, Amsterdam, pp. 95–130

15. Kakuda, Y., & Kikuchi, M., (2001). Abstract Design Theory. *Annals of Japan Association of Philosophical Science*, 10(3), 19–35

16. Grabowski, H., Rude, S., Grein, G., Meis, E., & El-Mejbir, E. (1998). Universal Design Theory: Elements and Applicability to Computers. in Grabowski, H., Rude, S., Grein, G., (Eds.) *Universal Design Theory*. Shaker Verlag, Aachen, pp. 209–220

17. Finger, S., & Dixon, J.R. (1989). A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part II: Representations, Analysis, and Design for the Life Cycle. *Research in Engineering Design*, 1(2), 121–137

18. Horva'th, I. (2004). A Treatise on Order in Engineering Design Research. *Research in Engineering Design*, 15(3), 155–181

19. Finger, S., & Dixon, J. R. (1989). A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-based Models of Design Processes. *Research in Engineering Design*, 1(1), 51–67

20. Morgan, J. M., & Liker, J. K. (2006). *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process and Technology*. Productivity Press, Seattle, WA

21. Gu, P., Hashemian, M., & Nee, A. Y. C. (2004). Adaptable Design. *Annals of CIRP*, 53(2), 539–557

22. Suh, N. P. (1990) *The Principles of Design*. Oxford University Press, Oxford

23. Weber, C. (2005). CPM/PDD – An Extended Theoretical Approach to Modelling Products and Product Development Processes. *Proceedings of the 2-nd German Israeli Symposium on Advances in Methods and Systems for Development of Products and Processes*, Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart, pp. 159–179

24. Weber, C. (2007). Looking at 'DFX' and 'Product Maturity' from the Perspective of a New Approach to Modelling Product and Product Development Processes. In *The Future of Product Development*. Springer, Berlin, pp. 85–104

25. Warmack, J. P., & Jones, D. T. (1991). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. Harper Perennial, New York

26. Sohlenius, G. (1992). Concurrent Engineering. *Annals of CIRP*, 41(2), 645–656

27. Albers, A., & Alink, T. (2007). Support of Design Engineering Activity for a Systematic Improvement of Products. In *The Future of Product Development*. Springer, Berlin, pp. 105–114

28. Farmer, L. E., & Gladman, C. A. (1986). Tolerance Technology – Computer-based Analysis. *Annals of CIRP*, 35(1), 7–10

29. Finger, S., & Dixon, J. R. (1989). A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-based Models of Design Processes. *Research in Engineering Design*, 1(1), 51–67

30. Finger, S., & Dixon, J. R. (1989). A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part II: Representations, Analysis, and Design for the Life Cycle. *Research in Engineering Design*, 1(2), 121–137

31. Simon, H. A. (1960). *The New Science of Management Decision*. Harper and Row, New York, NY

32. Nikolaidis, E., Ghiocel, D. M., & Singhal, S., (Eds.) (2004). *Engineering Design Reliability Handbook*. CRC Press, Boca Raton, FL
33. Keeney, R. L. (2004). Stimulating Creative Design Alternatives Using Customer Values. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics. Part C. Applications and Reviews*, 34(4), 450–459
34. Suh, N. P. (1990). *The Principles of Design*. Oxford University Press, Oxford
35. Browning, T. R. (2001). Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(3), 292–306
36. ProSTEP. (2008) *HOPE: Fields of Research for the Holistic Optimization of Product Creation, White Paper*. ProSTEP iViP Association
37. Ueda, K., Fujii, T., & Inoue, R. (2007). An Emergent Synthesis Approach to Simultaneous Process Planning and Scheduling. *Annals of CIRP*, 56(1), 463–466
38. Ueda, K., Kito, T., & Takenaka, T. (2008). Modelling of Value Creation Based on Emergent Synthesis. *Annals of CIRP*, 57(1), 473–476
39. Rausand, M., & Høyland, A. (2004). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications* (2nd ed.). Wiley. p. 88
40. Hansen, F. (1974). *Konstruktionswissenschaft – Grundlagen und Methoden*. 2nd ed. Hanser-Verlag, Munchen-Wien. <http://www.dmg-lib.org/dmglib/main/portal.jsp?mainNaviState=browsen.docum.meta&id=4892009>
41. Hansen, F. (1966). *Konstruktionsystematik*. 3rd ed. VEB-Verlag Technik, Berlin. <http://www.dmg-lib.org/dmglib/main/portal.jsp?mainNaviState=browsen.docum.meta&id=4886009>
42. Hubka, V. (1976). *Theorie der Konstruktionsprozesse*. Springer, Berlin/Heidelberg
43. Hubka, V., & Eder, W. E. (1996). *Design Science*. Springer, London
44. Andreasen, M. M. (1994). Modelling- The Language of the Designer. *Journal of Engineering Design*, 5(2), 103–115
45. Andreasen, M. M., & Hein, L. (1987). *Integrated Product Development*. Springer, New York, NY
46. Koller, R. (1998). *Konstruktionslehre für den Maschinenbau*. 4th ed. SpringerVerlag
47. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K-H. (2007). *Engineering Design – A Systematic Approach*. Wallace, K., Blessing, L. (Trans. and Eds.) 3rd ed. Springer, Berlin
48. Mizuno, S., & Akao, Y. (1993). *QFD: The Customer-driven Approach to Quality Planning & Deployment*. Asian Productivity Organization, Tokyo
49. Roth, K. (1982). *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*, vol. I. Konstruktionslehre. Springer, Berlin
50. Roth, K. (1982). *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*, vol. II. Kataloge. Springer, Berlin
51. Taguchi, G. (1987). *The System of Experimental Design Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Cost*, vols. 1 and 2. American Supplier Institute, Dearborn, MI
52. Pugh, S. (1991). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Prentice Hall, New York

53. Altshuller, G. (1999). *The Innovation Algorithm*. Technical Innovation Center, Worcester, MA
54. Cavallucci, D., & Weil, R. (2001). Integrating Altshuller's Development Laws for Technical Systems into the Design Process. *Annals of CIRP*, 50(1), 115–120
55. Journal of the European TRIZ Association: INNOVATOR, ISSN 1866-4180 <https://etria.eu/portal/index.php/innovator-etria-official-journal>
56. Grabowski, H., & Lossack, R. (2000). The Axiomatic Approach in the Universal Design Theory. *Proceedings of the First International Conference on Axiomatic Design*, Cambridge, MA, June 21–23
57. Grabowski, H., Rude, S., Grein, G., Meis, E., & El-Mejbir, E. (1998). Universal Design Theory: Elements and Applicability to Computers. In Grabowski, H., Rude, S., Grein, G. (Eds.) *Universal Design Theory*. Shaker Verlag, Aachen, pp. 209–220
58. Ullman, D. G. (2002). *The Mechanical Design Process*. McGraw Hill
59. Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2007). *Product Design and Development*. McGraw-Hill, New York

K. V. Baiul^{1,2}, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0003-1426-7956

S. V. Vashchenko¹, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0001-8344-961X

A. Yu. Khudyakov¹, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-6507-1120

A. V. Zinchenko³, Ph. D. (Pys.-Math.), Senior Researcher, ORCID 0000-0003-0281-6663

Yu. S. Semenov¹, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0003-2299-5742

N. O. Solodka^{1,2}, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-7545-4969

¹ *Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine*

² *Ukrainian State University of Science and Technologies*

³ *Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine*

**ANALYSIS OF MODERN APPROACHES AND METHODS
FOR DESIGNING MECHANICAL EQUIPMENT, WHICH
CAN BE APPLIED IN THE DEVELOPMENT OF A CONTEMPORARY
SYSTEMATIC APPROACH TO CREATING ROLLER
BRIQUETTING PRESSES**

Abstract. The objective of this work is to analyze modern design approaches and explore their potential application in developing a contemporary system approach to designing roller briquette presses. The analysis and classification of fundamental approaches in the theory and methodology of design have been conducted. It is emphasized that there is still no universally accepted approach to the design of roller presses. This lack of uniformity arises from the diverse array of structural solutions, components, and details inherent in presses. Furthermore, methods for determining briquetting process parameters and press equipment operation modes are actively evolving. The nomenclature of briquetting materials is expanding, and there are

ongoing changes in equipment management systems. The design field is witnessing the active incorporation of new materials, structural details, and components. In addition to covering the fundamentals of general theory and design methodology, this work offers an overview and analysis of established methods for designing machines, technical systems, and processes. These methods are closely related to the specified theory and can be applied to enhance the system approach to designing roller presses.

Key words: roller presses, briquetting, system approach, design theory and methodology.

For citation: Baiul, K. V., Vashchenko, S. V., Khudyakov, A. Yu., Zinchenko, A. V., Semenov, Yu. S., & Solodka, N. O. (2023). Analysis of modern approaches and methods for designing mechanical equipment, which can be applied in the development of a contemporary systematic approach to creating roller briquetting presses. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 37, 534-556. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-534-556>

*Стаття надійшла до редакції збірника 03.10.2023 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 9 від 19.12.2023 р.)*