

К. В. Баюл¹, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0003-1426-7956

С. В. Ващенко¹, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0001-8344-961X

О. Ю. Худяков¹, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-6507-1120

Н. О. Солодка^{1,2}, к.т.н., н.с., доц., ORCID 0000-0002-7545-4969

Е. Б. Прокудіна¹, інж. 2 кат.

¹*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*
²*ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»*

БАЗОВІ ПІДХОДИ ДО СИСТЕМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВАЛКОВИХ ПРЕСІВ ЗА МОДУЛЬНИМ ПРИНЦИПОМ

Анотація. Метою роботи є формування базових підходів до системного проектування валкових пресів за модульним принципом. Для проектування сучасних валкових пресів в багатьох галузях промисловості активно застосовується агрегатно-модульний принцип створення обладнання і знаходять розвиток методи структурно-параметричного синтезу та аналізу. У зв'язку з цим актуальним є необхідність подальшого розвитку методів аналізу та проектування валкових пресів. Особливо актуальними стають питання розвитку наукової бази для синтезу раціональних компоновальних і конструктивних рішень валкових пресів з урахуванням вимог щодо здійснення технологічного процесу пресування. В роботі показано, що незважаючи на велику кількість робіт, присвячених дослідженню процесу брикетування в валкових пресах, процес створення конструкції преса носить ітеративний характер проб та помилок. Це обумовлено багатофакторністю процесу і технології брикетування. Виділені основні взаємопов'язані фактори, що впливають на процес брикетування. Сформульовано основні складові системного проектування валкових пресів та системний підхід до моделювання раціональної конструкції даних машин з використанням методів структурно-параметричного синтезу та аналізу. Результат структурно-параметричного синтезу раціональної конструкції валкового преса представляється у вигляді таблиць, графіків і текстових файлів, які містять достатній набір інформації для розробки в системах автоматизованого проектування пакета конструкторської документації на виготовлення валкового преса. Сформульований підхід до проектування валкових пресів за модульним принципом. Наведено приклад узагальноної декомпозиції валкового преса конструкції ІЧМ з базових модулів. Створено масив даних базових елементів валкових пресів конструкції ІЧМ, які можуть бути використані при створенні нових модифікацій пресів за модульним принципом. Сформульовано параметри, цільові функції та алгоритми для проектування валкових пресів.

Ключові слова: валкові преси, брикетування, системне проектування, модульний принцип.

Посилання для цитування: Баюл К. В., Ващенко С. В., Худяков О. Ю., Солодка Н. О., Прокудіна Е. Б. Базові підходи до системного проектування валкових пресів за модульним принципом. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2021. Вип. 35. С. 159-185. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-159-185

Стан питання. В даний час все більшого розвитку набуває використання технологій брикетування дрібнофракційних сировинних матеріалів, що сприяють отриманню кондиційної сировини, утилізації відходів та вирішенню екологічних завдань. Валкові преси протягом багатьох років є одними з найбільш поширених машин у складі ліній брикетування сировини в металургійній, гірничодобувній, хімічній та інших галузях промисловості.

При виборі конструктивного виконання валкових пресів слід враховувати значну кількість факторів, таких, як фізико-механічні властивості матеріалів або їх сумішей [1-4]; необхідну продуктивність, форму і розмір брикетів [5, 6]; можливість швидкої зміни формуючих елементів робочих поверхонь валків; зносостійкість валків [7]; допустимі межі управління продуктивністю преса, показниками якості брикетів та ін. До теперішнього часу виконано значну кількість досліджень, в тому числі в Інституті чорної металургії НАН України, спрямованих на вивчення впливу властивостей шихтових матеріалів на енергосилові параметри процесу брикетування, створення технологій і пресового обладнання для брикетування дрібнофракційних металургійних відходів.

На сьогоднішній день не існує самостійних або інтегрованих в відомі САПР програмних засобів, що дозволяють з урахуванням всіх технологічних особливостей проводити розробку і моделювання всього життєвого циклу валкових брикетних пресів. В даний час для розробки конструкції валкових пресів, як і більшості сучасних промислових машин і агрегатів, активно застосовуються системи автоматизованого проектування (САПР), наприклад, SolidWorks, Компас і Autodesk Inventor та т.п. При створенні валкового преса наявність стандартного набору засобів САПР є необхідною, але не достатньою умовою, тому що не дозволяє приймати науково-обґрунтовані рішення щодо вибору раціональних конструктивних параметрів даних машин. Крім того, не до кінця досліджено взаємозв'язки між конструктивними та технологічними параметрами валкових пресів, що створює труднощі при проектуванні валкових пресів з урахуванням вимог і особливостей реалізації конкретної технології брикетування. Це робить актуальним необхідність вирішення питань аналізу та подальшого розвитку методів проектування валкових пресів.

Метою роботи є формування базових підходів до системного проектування валкових пресів за модульним принципом.

Викладення основних матеріалів.

Накопичення практичних і теоретичних досліджень дозволило виділити основні взаємопов'язані фактори, що впливають на процес брикетування (рис. 1). Як видно зі схеми, вибір конструктивних та силових параметрів пресового обладнання тісно пов'язаний з особливостями технології виробництва брикетів. Велика кількість факторів вказує на те, що розробка раціональної конструкції сучасного валкового преса для брикетування уявляє собою багатофакторну задачу, яка має вирішуватись відповідними методами.



Рисунок 1 – Основні фактори, що впливають на ефективність брикетування дрібнофракційних шихт у валковому пресі.

Аналіз літературних джерел [8-20] вказує, що на сьогодні виконані спроби створити системний підхід до визначення енергосилових та окремих конструктивних параметрів, насамперед, геометричних параметрів валків та формуючих елементів. При цьому не розробленими є критерії та показники раціональності конструкції валкових пресів, їх окремих вузлів та елементів.

Щодо взаємозв'язку конструктивних та технологічних параметрів невідзначеними, або не достатньо дослідженими є наступні питання:

- вплив швидкості деформації шихти в валках на показники якості брикетів та силові параметри процесу пресування;
- вплив величини зносу пресуючих поверхонь валків на якість брикетів та можливість подовження ресурсу експлуатації зношених валків шляхом регулювання режимів пресування;
- вплив конфігурації формуючих елементів та фізико-механічних властивостей шихти на розвиток пружної післядії в брикетах.

В процесі розвитку технологій і машин для брикетування розроблений і продовжує удосконалюватися цілий клас методів і математичних моделей, що дозволяють здійснювати прогноз, оцінку і вибір раціональних енергосилових і технологічних параметрів процесу брикетування, конструкції окремих деталей пресового устаткування і режимів його експлуатації. Розвитку таких методів приділяється значна увага фахівців Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (ІЧМ). Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених дослідженню процесу брикетування в валкових пресах і вдосконалення машин даного класу, процес створення конструкції преса носить ітеративний характер проб та помилок. Це обумовлено багатофакторністю процесу і технології брикетування.

Часом умови отримання якісних брикетів і забезпечення нормальних режимів роботи пресового обладнання в межах його технічних характеристик входять у взаємну суперечність. Це вимагає з одного боку коригування технології брикетування, а з іншого внесення змін у конструкцію преса. В даний час відсутня структурована система, методологія або алгоритм, які б були чіткою інструкцією до покрокового проектування раціональної конструкції валкового преса з урахуванням технологічних особливостей процесу брикетування.

Більшість досліджень зосереджено на вирішенні конкретних завдань, зокрема, визначенні енергосилових параметрів брикетування, оптимізації конфігурації пресуючих поверхонь і т. п. Але навіть при достатній коректності відомих методів прогнозування та аналізу процесів брикетування і роботи пресового обладнання порядок їх застосування та інтерпретація результатів досі чітко не визначені. При такому підході до проектування з невеликої кількості випробуваних або знову розроблених конструкцій валкових пресів вибирається та, яка, на думку фахівця, є найбільш раціональною. Такий висновок підтверджується тим, що на сьогоднішній день не існує самостійних або інтегрованих в відомі САПР програмних засобів, що дозволяють з урахуванням всіх технологічних особливостей, проводити розробку і моделювання всього життєвого

циклу валкових брикетних пресів. Такі роботи виконуються з використанням розрізаних програмних засобів, кожне з яких вирішує лише вузьку конкретну задачу, що приводить до значного збільшення витрат часу і ресурсів. Це робить актуальним необхідність вирішення питань аналізу та подальшого розвитку засобів і методів проектування валкових пресів.

Для розробки нових підходів до створення валкових пресів проведено аналіз и узагальнення відомих процедур проектування механічного обладнання [21-25]. Ефективна розробка машини / агрегату, крім базових процедур проектування, повинна враховувати технологічні особливості реалізованого за участю цієї машини виробничого процесу. Проектування валкового преса може бути представлено у вигляді трансформації, яка вже стала класичною, схеми системного проектування (рис. 2).



Рисунок 2 – Основні складові системного проектування валкового преса.

Перспективним для вирішення такого завдання є застосування відомих в різних галузях знань структурно-параметричного синтезу і аналізу та розвиток засобів і методів формування нових моделей валкових пресів за модульним принципом, з урахуванням вже відомих розробок.

Аналізуючи викладене можна зробити висновок, що в ході раніше виконаних досліджень, результати яких наведені в джерелах технічної інформації, вирішувалися окремі питання, пов'язані з розробкою конструкцій і вузлів валкових пресів для конкретних технологічних умов отримання брикетів, визначення енергосилових параметрів процесу брикетування. Вирішення цих питань підготувало базу для вирішення завдання розвитку системного підходу до вибору раціональних

конструктивних рішень валковий пресів, які компонується за модульним принципом.

Перспективним для аналізу та розвитку засобів і методів проектування валкових пресів є застосування відомих в різних галузях знань структурно-параметричного синтезу і аналізу та розвиток засобів та методів формування нових моделей валкових пресів за модульним принципом з урахуванням вже відомих розробок. Виконаний в роботі аналіз та практичний досвід фахівців ЧМ зі створення та експлуатації валкових пресів дозволяє прийти до думки, що комплексний підхід до вибору раціональної конструкції валкових пресів для брикетування може створюватися на базі основних підходів, що застосовуються для аналізу і створення ієрархічних структур, тобто на базі структурно-параметричного синтезу і аналізу [26,27].

У практиці моделювання та розробки нових машин і систем виділяються базові завдання: структурний синтез; структурний аналіз; параметричний синтез; параметричний аналіз. На їх базі засновані комбіновані підходи: структурний синтез і аналіз; параметричний синтез і аналіз; структурно-параметричний синтез; структурно-параметричний аналіз. Розробка узагальненої системи структурно-параметричного синтезу і аналізу валкового преса включає адаптацію до вирішуваних задач, компонування та спільне застосування наступних принципів створення і дослідження складних систем – модульний, об'єктно-орієнтована, ієрархічний, композиції і декомпозиції.

Стосовно створення нових моделей валкових пресів кількість і порядок вирішення зазначених вище завдань визначається вимогами, що пред'являються до даного устаткування за такими основними умовами:

- можливість реалізації стабільного процесу виробництва якісних брикетів відповідно до прийнятої технології;
- забезпечення заданої продуктивності;
- надійність і довговічність роботи - максимально можливий ресурс експлуатації деталей і вузлів преса;
- мінімально можливі значення металоємності, енергоємності та витрат на сервісне обслуговування;
- висока ремонтпридатність;
- оптимальні витрати на розробку, виготовлення преса, його деталей, вузлів і т.п.

На рис. 3 наведена узагальнена структура системного підходу до моделювання раціональної конструкції валкового преса, яка відображає основні етапи створення нової модифікації машини даного типу – синтез, аналіз і остаточне формування конструкції преса.

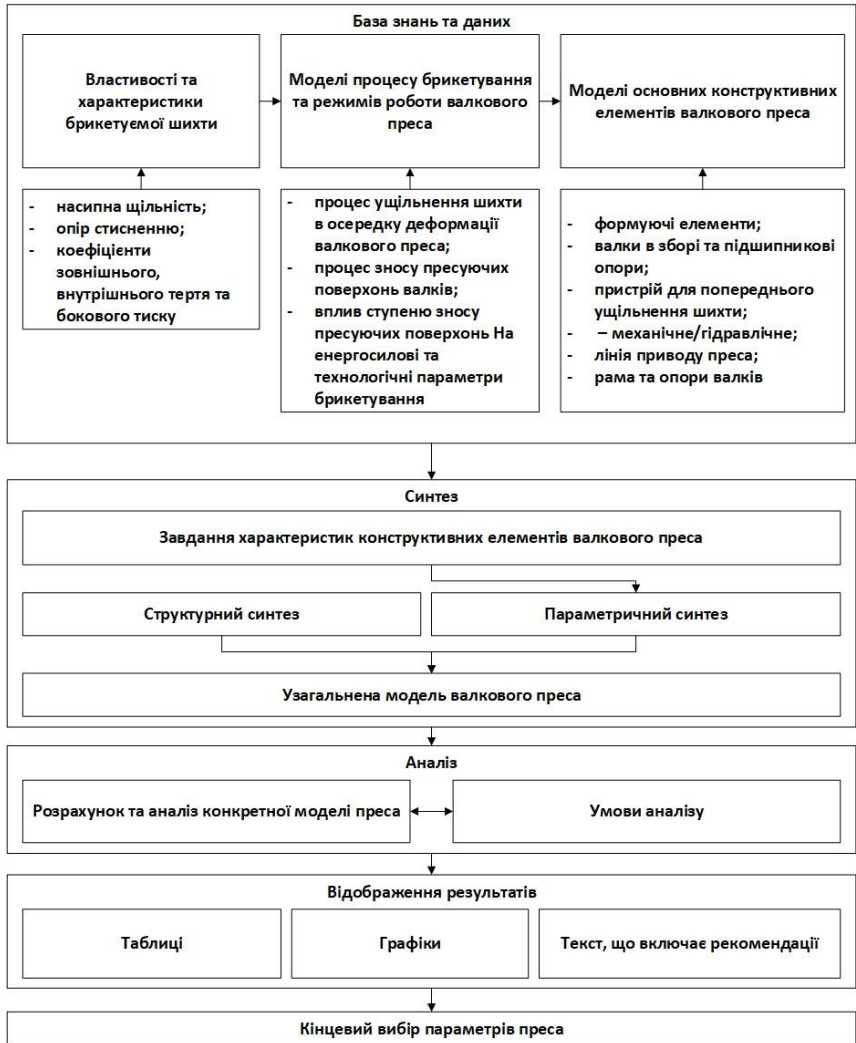


Рисунок 3 – Системний підхід до моделювання раціональної конструкції валкового преса.

Проектування нової конструкції валкового преса можна представити у вигляді процесу рішення двох взаємозалежних завдань:

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2021. – Випуск 35
 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2021. – Vypusk 35
 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2021. – Collection 35

1. Вибору структури преса (типу, кількості, умов взаємодії деталей, вузлів та інших елементів преса), тобто структурний синтез.

2. Вибору числових значень параметрів конструктивних елементів преса, тобто параметричний синтез.

Результат структурно-параметричного синтезу раціональної конструкції валкового преса представляється у вигляді таблиць, графіків і текстових файлів, які містять достатній набір інформації для розробки в системах автоматизованого проектування пакета конструкторської документації на виготовлення валкового преса.

Практичний і теоретичний досвід співробітників ІЧМ по створенню валкових пресів і дослідженню процесу брикетування дозволяє розробити структуру системи моделювання раціональної конструкції валкових пресів. Для реалізації даної структури використовуються масиви даних і знань (правила і розрахунково-аналітичні методи):

1. Фізико-механічні характеристики матеріалів, що брикетуються:

- коефіцієнти зовнішнього, внутрішнього тертя і бічного тиску;
- експериментально встановлений і математично описаний функціональний взаємозв'язок між тиском пресування і величиною ущільнення шихти;

- характеристики пружної післядії в брикетах і т. п.

2. Моделі процесів, що відбуваються при роботі валкового преса:

- модель процесу брикетування дрібнофракційних шихт в осередку деформації валкового преса;

- модель процесу зношування робочої поверхні валків преса;

- модель для оцінки впливу ступеня зносу робочих поверхонь валків преса на енергосилові і технологічні параметри брикетування;

- модель пружної післядії в брикетах з урахуванням зміни формуючих елементів і т. п.

3. Моделі основних вузлів преса:

- модель валкового блоку;

- модель пристрою захисту валків від перевантажень;

- модель лінії приводу преса;

- модель підпресовника (якщо такий передбачений конструкцією виходячи з вимог технології брикетування).

На основі зазначених масивів даних і знань здійснюється структурний і параметричний синтез моделі валкового преса із завданням вхідних параметрів і визначенням значень параметрів основних конструктивних елементів та експлуатаційних характеристик преса. Далі більш детально зупинимося на кожній окремо з ранне зазначених базових задач моделювання і розробки машин стосовно створення нових моделей валкових пресів для брикетування дрібнофракційних матеріалів.

Структурний синтез валкового преса, як технічної системи, являє собою формування його алгоритмічної моделі – визначення основних вузлів і механізмів преса, способів їх об'єднання в єдину конструкцію і взаємодії в процесі роботи. При цьому виділяються основні вузли, що визначають його функціонування як основного агрегату в складі технологічної лінії брикетування:

- рама або станина;
- валковий блок;
- завантажувальний пристрій;
- пристрій захисту валків від перевантажень;
- підпресовник (якщо такий передбачений);
- лінія приводу (синхронізуюча передача, двигун, редуктор, муфти і т.п.);
- електрична керуюча апаратура;
- захисні елементи – кожухи тощо.

Структурний синтез преса здійснюється наступним чином. На основі конструктивної схеми складається принципова схема валкового преса із зазначенням функціональних елементів і їх зв'язків. Компонування моделі преса здійснюється на базі елементів кластера системи, що містить опис і характеристики, що є в наявності вже розроблених конструктивних елементів преса. Вибрані елементи моделі преса з'єднуються між собою інформаційними зв'язками, в результаті чого формується математична модель валкового преса, що розробляється. Кожній моделі преса присвоюється певне маркування.

Структурний синтез і аналіз має на увазі деталізацію структурної схеми математичної моделі створюваного преса або окремих його вузлів. Наприклад, прес оснащений пристроєм для запобігання валків від перевантажень. У такому варіанті деталізується конструктивне виконання даного пристрою. Вказується його тип – механічне або гідравлічне. При необхідності додатково деталізується структура принципового конструктивного виконання даного вузла преса. Наприклад, механічний запобіжний пристрій, що складається з двох силових елементів з тарілчастими пружинами, розташованими на деякій відстані вище лінії, що з'єднує центри валків преса і т.п. Такий опис формулюється з використанням спеціально створених блоків даних.

Структурний аналіз валкового преса представляється у вигляді процесу формування його структурної схеми, що відображає конструктивні, технологічні та інші особливості створюваної моделі. Технологічні особливості застосування валкових пресів в складі ліній брикетування дрібнофракційних сировинних матеріалів вимагають вирішення завдання їх структурного опису.

Прикладом завдання структурного аналізу стосовно валкових пресів є рішення задачі вибору раціонального компоновального рішення преса на основі аналізу набору різних варіантів його кінематичних схем з урахуванням особливостей проектної побудови лінії брикетування.

Структурно-параметричний синтез стосовно розробки валкового преса можна коротко проілюструвати так. Необхідно розробити валковий прес для брикетування матеріалу з малою напівною щільністю ($\rho_{\text{bulk}} \leq 0,3$ г/см³). Створення такого преса вимагає синтезу його кінематичної схеми, включаючи, при необхідності, схему підпресувальника – це відноситься до структурної частини синтезу. Вказівка конкретних значень геометричних, конструктивних енергосилових і інших параметрів створюваного преса є параметричною частиною синтезу преса.

Структурно-параметричний аналіз конструкції валкового преса, передбачає виділення одного або кількох критеріїв її оптимальності. На базі цих критеріїв вирішується завдання пошуку оптимальної структури валкового преса, що розробляється, серед усіх можливих варіантів. Тобто, проводиться аналіз ефективності можливих рішень задачі структурного синтезу модифікацій створюваного преса і вибір з них того варіанта, який максимально відповідає прийнятним критеріям оптимальності.

В загальному вигляді задача структурно-параметричного синтезу оптимальної конструкції валкового преса описана виразом:

$$\text{extr} F(X), X \in D_X, \quad (1)$$

де F – цільова функція; X – вектор проектних (керованих або варійованих) параметрів, що характеризують конструкцію або режими роботи створюваного преса.

Іншими словами, вектор X являє собою безліч можливих проектних рішень валкового преса в межах допустимої області:

$$D_X = \{X\} D_X = \{X | \varphi(X) < 0, \psi(X) = 0\}, \quad (2)$$

де $\varphi(X)$ и $\psi(X)$ – функції-обмеження завдання структурного синтезу конструкції валкового преса.

В якості керованих параметрів валкового преса можуть бути:

- ширина і діаметр робочих поверхонь валків преса;
- конфігурація і розміри формуючих елементів;
- геометричні параметри шнека механізму попереднього ущільнення шихти;
- межі мінімально і максимально допустимої величини ущільнення шихти, виражені через коефіцієнт ущільнення і визначають, за допомогою функціонального взаємозв'язку, щільність вироблених брикетів;

- максимально допустиме зусилля пресування, яке сприймається пристроєм запобігання валків від перевантажень;
 - максимальне значення моменту пресування, яке забезпечує нормальну роботу приводу преса;
 - питома зносостійкість робочих поверхонь валків, взаємопов'язана з механічними характеристиками матеріалу, що брикетується та матеріалу бандажа;
 - величина пружної післядії в брикетах;
 - максимально допустима частота обертання валків і т.д.
- В якості цільової функції можуть бути визначені:
- необхідна продуктивність преса;
 - досягнення необхідної щільності брикетів;
 - робота преса з мінімально можливими значеннями енергосилових параметрів – зусилля та момент пресування;
 - максимальний ресурс експлуатації робочих поверхонь валків (змінних кільцевих бандажів);
 - досягнення мінімального значення металосмістості при дотриманні умов надійної і безвідмовної роботи преса і т.д.

Параметричний синтез валкового преса полягає в наступному. Задаються характеристики та параметри елементів моделі преса. Параметричний синтез можна розглянути на прикладі основного конструктивного вузла преса – валок. Номенклатура вхідних параметрів валка може бути різною, тому як приклад в табл. 1 наведено один із можливих варіантів. Залежно від розв'язуваних завдань і задіяних при цьому математичних моделей кількість вхідних параметрів, що характеризують валки преса, може змінюватися.

З урахуванням того, що варіантів конструктивного виконання валків при синтезі конструкції преса може бути кілька, як, втім, і інших конструктивних елементів, то в процесі проектування кожному з таких варіантів повинне присвоюватися спеціальне маркування на манер маркування креслень даних складальних одиниць. Рішення завдання відповідно до виразів (1, 2) передбачає створення спеціалізованого розрахунково-аналітичного програмного забезпечення і об'єднання його в єдину експертну підсистему, яка може бути частиною більш великої експертної системи, що реалізує комплексний системний підхід до розробки технологій та обладнання для брикетування. Такий підхід обумовлений тим, що прийнятних рішень відповідно до вираження (1) може бути кілька і тоді експерт-проектувальник повинен буде, покладаючись на свій особистий досвід і накопичену на даний момент базу знань в області створення і експлуатації валкових пресів, вибрати лише одне конструктивне рішення створюваного преса.

Рішення таких завдань може здійснюватися з використанням широко використовуваних в різних галузях методів аналізу ієрархій, гілок і меж [26, 27].

Таблиця 1 – Варіант завдання вхідних параметрів конструкції валка брикетного преса.

№	Опис параметра	Значення
1.	Тип валка: 1 – суцільний; 2 – з кільцевими сегментами; 3 – з кільцевими бандажами	3
2.	Кількість пар пресуючих поверхонь: 1 – одна; 2 – дві	1
3.	Максимальне зусилля пресування, кН	2000
4.	Максимальний момент пресування, кН×м	85
5.	Діаметр валка середній, мм	648
6.	Діаметр валка максимальний, мм	705
7.	Діаметр валка мінімальний, мм	635
8.	Спосіб кріплення змінних пресуючих елементів для валків з кільцевими бандажами: 1 – шпонка призматична; 2 – шпонки сегментні; 3 – клинові кільця; 4 – клинові півкільця; 5 – самоцентрувальні швидкоз'ємні затискні елементи; 6 – не самоцентрувальні швидкоз'ємні затискні елементи	4
9.	Типорозмір формуючого елемента згідно з прийнятого кодування	R17
10.	Матеріал бандажів	Сталь 40X
11.	Твердість пресуючих поверхонь бандажів HRC	54...62

Параметричний синтез і аналіз валкового преса припускає дослідження структурної схеми преса з визначенням раціональних параметрів конструктивних елементів відповідно до заданих вихідних даних і прийнятих граничних значень характеристик преса, режимів його роботи і процесу брикетування. З використанням математичної моделі валкового преса та режимів його експлуатації формується масив x даних, які аналізуються відповідно до прийнятих обмежень. Якщо, числові

значення аналізованих параметрів не відповідають прийнятим обмеженням, то виконується внесення змін до конструктивних елементів преса. При визначеній структурі преса рішення зазначеного завдання здійснюється шляхом складання декількох варіантів конструкції преса з конкретними значеннями керованих параметрів. Варіанти конструкцій преса аналізуються за максимальним наближенням до оптимального значення цільової функції.

Наприклад, потрібно забезпечити максимально можливу продуктивність преса Q (цільова функція). Керованими параметрами можуть бути: частота обертання валків n , обумовлена конкретними значеннями кінематичних характеристик елементів приводу (електродвигуна, редуктора, клиноремінної передачі і т.д.); діаметр D та ширина L пресуючих поверхонь; конфігурація та об'єм формуючих елементів. В якості обмежень можуть виступати: максимально допустима частота обертання валків n_{max} , при якій неможливо отримання брикетів з необхідною щільністю і міцністю у зв'язку з погіршенням умов захоплення матеріалу валками; максимальний і мінімальний об'єм v_{br} формуючого елемента і його тип (відкритий або закритий), що не дозволяють забезпечити задану продуктивність преса і щільність брикетів; максимально допустима потужність приводу преса N_{max} , що залежить від параметрів ущільнення шихти.

Параметричний аналіз валкового преса може виконуватися для одного варіанта конструкції або для декількох – багатоваріантний аналіз. Прикладом параметричного аналізу може бути аналіз відповідності енергосилових характеристик процесу брикетування – максимальному зусиллю P та моменту пресування M , необхідної потужності приводу N і т. ін. При цьому необхідно дотримуватися умов отримання брикетів з заданими характеристиками ущільнення (коефіцієнт ущільнення шихти K_u , щільність брикетів ρ_{br}) та продуктивності технологічної лінії брикетування Q . У цьому завданні виділяються підтримувані і змінювані параметри до яких можна віднести: щільність брикетів ρ_{br} ; продуктивність преса Q ; зусилля пресування P ; момент пресування M ; потужність N . Вихідними параметрами, які можуть коригуватися, є: кут пресування α_{pr} ; насипна щільність шихти ρ_{bulk} ; опір шихти стисканню $p = aKu^b$; коефіцієнти тертя f_1, f_2 та бокового тиску ξ . Параметричний аналіз преса виступає в якості доповнення до рішення задачі параметричного синтезу. При цьому виконується розрахунок значень підтримуваних параметрів для різних варіантів змінюваних параметрів.

Ієрархічне представлення конструкції валкового преса.

Для ієрархічного уявлення конструктивних елементів валкового преса – деталей і вузлів в даній роботі запропоновано використовувати основні елементи теорії системного проектування [26]. При конструюванні валковий прес запропоновано розділяти на частини відповідно до їх функціонального призначення, які пов'язані між собою в єдину цілісну структуру – декомпозиції або ділення та агрегації, або об'єднання. Тобто, конструкція преса представляється у вигляді ієрархічної структури, в якій кожна вершина є об'єднанням більш нижчих рівнів (рис. 4). Обмеженням рівня декомпозиції валкового преса і його вузлів є деталь. При цьому слід зазначити, що для ряду задач структурно-параметричного синтезу валкового преса декомпозиція вузлів до деталей не є необхідною. Крім того, у різних вузлів і систем валкового преса можуть бути різні рівні декомпозиції.

Найбільш наочним і ефективним способом для вирішення завдання декомпозиції валкових пресів представляються графи і дерева типу «І-АБО-дерева» [26]. Декомпозиція валкового преса дозволяє представити його у вигляді модулів, які, в свою чергу, діляться на рівні, які утворюють ієрархічну модель. Під модулями в даному варіанті декомпозиції обладнання запропоновано розуміти конструктивні елементи, за допомогою яких можливий синтез різних варіантів конструкції валкового преса. На рис. 4 представлена узагальнена схема декомпозиції валкового преса. Відповідно до представленої схеми декомпозиції преса з базових модулів складений приклад даних модулів (таблиця 2), які можуть застосовуватися в різних модифікаціях валкових пресів конструкції ІЧМ.

Таким чином, представивши конструкцію валкового преса у вигляді ієрархічної багаторівневої системи, з'являється можливість вирішення наступних завдань:

1. Структурувати набір можливих конструктивно-функціональних модулів (вузлів і деталей) преса.
2. Накопичити базу даних різних типорозмірів конструктивних елементів преса.
3. Застосувати до вирішення завдання синтезу раціональної конструкції преса методи багатofакторного аналізу - теорію графів і метод аналізу ієрархій.

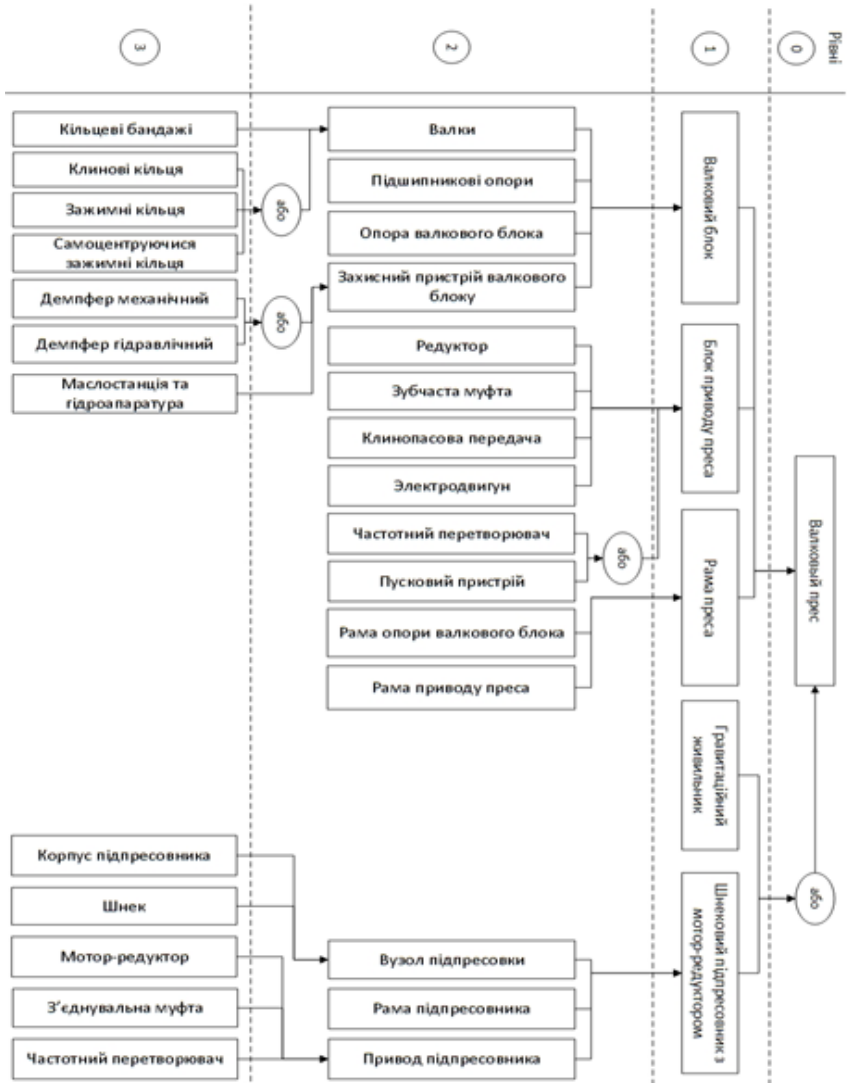


Рисунок 4 – Узагальнена декомпозиція валкового преса конструкції ІЧМ з базових модулів.

Таблиця 2 – Основні базові елементи валкових пресів конструкції ІЧМ, використовувані при створенні пресів за модульним принципом.

1. Валковий блок					
1.1. Валки					
1.1.1 Кільцеві бандажі					
Позначення	Ширина, мм	Діаметр середній, мм	Типорозмір формуючого елемента	Спосіб кріплення на ступицю валка	Модифікації пресів
R6KK648/360	360	648	R6 (25,0×21,0×12,0мм)	Клинове кільце	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R14KK648/360	360	648	R14 (32,0×30,0×15,0мм)	Клинове кільце	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R17KK648/360	360	648	R17 (40,0Ч38,5Ч18,5мм)	Клинове кільце	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R30KK648/360	360	648	R30 (63,6Ч60,0Ч30,0мм)	Клинове кільце	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R6KN648/360	360	648	R6 (25,0Ч21,0Ч12,0мм)	Затискні кільця	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R14KN648/360	360	648	R14 (32,0Ч30,0Ч15,0мм)	Затискні кільця	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R17KN648/360	360	648	R17 (40,0Ч38,5Ч18,5мм)	Затискні кільця	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R30KN648/360	360	648	R30 (63,6Ч60,0Ч30,0мм)	Затискні кільця	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М

Продовження табл. 2

Позначення	Ширина, мм	Діаметр середній, мм	Типорозмір формульного елемента	Спосіб кріплення на ступицю валка	Модифікації пресів
R6KS648/360	360	648	R6 (25,0Ч21,0Ч12,0мм)	Затискні самоцентру- вальні кільця	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R14KS648/360	360	648	R14 (32,0Ч30,0Ч15,0мм)	Затискні самоцентру- вальні кільця	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R17KS648/360	360	648	R17 (40,0Ч38,5Ч18,5мм)	Затискні самоцентру- вальні кільця	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R30KS648/360	360	648	R30 (63,6Ч60,0Ч30,0мм)	Затискні самоцентру- вальні кільця	16, 19, 19М, 25М, 25Л, 22М
R6KK648/202	202	648	R6 (25,0Ч21,0Ч12,0мм)	Клинове кільце	24М, 24МП, 24Б
R14KK648/202	202	648	R14 (32,0Ч30,0Ч15,0мм)	Клинове кільце	24М, 24МП, 24Б
R17KK648/202	202	648	R17 (40,0Ч38,5Ч18,5мм)	Клинове кільце	24М, 24МП, 24Б
R30KK648/360	202	648	R30 (63,6Ч60,0Ч30,0мм)	Клинове кільце	24М, 24МП, 24Б
R6KN648/202	202	648	R6 (25,0Ч21,0Ч12,0мм)	Затискні кільця	24М, 24МП, 24Б
R14KN648/202	202	648	R14 (32,0Ч30,0Ч15,0мм)	Затискні кільця	24М, 24МП, 24Б

Продовження табл. 2

Позначення	Ширина, мм	Діаметр середній, мм	Типорозмір формулюючого елемента	Спосіб кріплення на ступицю валка	Модифікації пресів
R17KN648/202	202	648	R17 (40,0Ч38,5Ч18,5мм)	Затискні кільця	24М, 24МП, 24Б
R30KN648/202	202	648	R30 (63,6Ч60,0Ч30,0мм)	Затискні кільця	24М, 24МП, 24Б
R6KS648/202	202	648	R6 (25,0Ч21,0Ч12,0мм)	Затискні само- центруваль- ні кільця	16, 19, 19М, 25М, 22М
R14KS648/202	360	648	R14 (32,0Ч30,0Ч15,0мм)	Затискні само- центруваль- ні кільця	16, 19, 19М, 25М, 22М
R17KS648/202	360	648	R17 (40,0Ч38,5Ч18,5мм)	Затискні само- центруваль- ні кільця	16, 19, 19М, 25М, 22М
R30KS648/202	360	648	R30 (63,6Ч60,0Ч30,0мм)	Затискні само- центруваль- ні кільця	16, 19, 19М, 25М, 22М

Продовження табл. 2

1.1.2 Кріплення бандажів на валок			
Позначення	Крутний момент, що передається, кН×м	Габаритні розміри D×d×H, мм	Модифікації ї пресів
Клинове кільце 16.1.9	≈100	520Ч410Ч85	16, 19, 19М, 24М, 24Б, 24МП 25М, 25Л, 22М
KLGG 400/495	до 459		24М, 24Б, 24МП 25М, 25Л, 22М

Продовження табл. 2

1.2 Підшипникові опори							
Позначення	Підшипник					Зусилля, що сприймається валком, кН	Модифікації пресів
	номер	d, мм	D, мм	L, мм	P, кН		
22М.1.1, 22М.2.1	3003 744	220	370	120	1380	2000 (до 2760)	22М
25М.1.1, 25М.2.1	3538 Н	190	340	92	800	1500 (до 1600)	25М, 25Л
24М.1.1, 24М.2.1	3532 Н	160	290	80	600	1000 (до 1200)	19, 19М, 24М, 24Б
1.3 Опори валкового блока							
Позначення			Модифікації пресів				
19М.3.1			19М, 25М				
24М.3.1			24М, 24Б				
25Т.3.1			25Л				
22М.3.2			22М				
1.4 Захисний пристрій валкового блока							
1.4.1 Демпфера пристрої захисту валків від перевантажень							
Позначення	Тип	Зусилля на одному демпфері / загальне, кН					Модифікації пресів
24.М.4	механічний	260/1040(≈1000)					24М, 24Б, 19М
22.М.9	механічний	630/2520(≈2500)					22М
25.М.4.П	механічний	≈400/1600					25М
22М.4	гідравлічний	500...650/2000...2550					22М
25М.4	гідравлічний	400/1600					25М
1.4.2 Маслостанції та гідроапаратура							
Позначення	Робочий тиск в демпферах, МПа	Тип приводу насоса					Модифікації пресів
22.4.00.001	26	електричний					16, 19, 19М, 24М, 24Б, 24МП, 25М, 25Л, 22М
22.10	26	ручний					16, 19, 19М, 24М, 24Б, 24МП, 25М, 25Л, 22М

Продовження табл. 2

2 Блок приводу преса					
2.1 Редуктор					
Позначення	Номінальний крутний момент, кН×м	D1, мм	D2, мм	Маса, т	Модифікації пресів
Ц2Н-450-50-12	35	80	160	1,5	19М, 24М, 24Б
Ц3Н-450-200-12	35; 40	50	160	1,7	19М, 24М, 24Б
Ц2Н-500-50-12	40; 56	90	180	2,1	24М, 25М, 25Л
Ц3Н-500-160-12	56	55	180	2,1	25М, 25Л
ЦДН-630-50-12	71	80	220	3,7	22М, 25М, 25Л
Ц3Н-630-160-12	85(90)	80	220	3,9	22М, 25М, 25Л
2.2 Зубчаста муфта					
Позначення	Номінальний крутний момент, кН×м	d, мм	D, мм	Маса, кг	Модифікації пресів
МЗ-10	50	110	260	264	19М, 24М, 24Б
МЗ-11	71	120	300	376	25М
МЗ-12	100	140	340	531	22М
2.3 Клиноремінна передача					
Тип ременів	Передавальне відношення передачі, яке визначається співвідношенням діаметрів шківів				Модифікації пресів
SPC-2240Ш	1,0; 1,5; 2,0				19М, 23, 24М
SPC-2800Ш	1,0; 1,67; 2,26				25М, 22М
SPC-2900Ш	2,12				25Л

Продовження табл. 2

2.4 Електродвигун					
Модель (старе маркування/ нове маркування)	Тип	Напруга мережі, В	Потужність, кВт	Частота обертів, мин ⁻¹	Модифікації пресів
4A200M8У3 / АИР 200 М8	асинхрон- ний	220/3 80	18,5	750	23
4A225M8У3 / АИР225М8	асинхрон- ний	220/3 80	30	750	24М, 19, 19М
4A225М4У3 / АИР225М4	асинхрон- ний	220/3 80	55	1500	19М, 24М, 24Б
4A250S4У3 / АИР250S4	асинхрон- ний	220/3 80	75	1500	25М, 25Л, 22М
2.5 Частотний перетворювач					
Виробник, серія	Модель	Напруга мережі, В	Потужність, кВт	Модифікації пресів	
Delta Electronics VFD-CP2000	VFD185C P4EB-21	380	18,5	23	
	VFD220C P43A-21	380	22,0	23	
	VFD300C P4EB-21	380	30,0	19, 19М, 24М	
	VFD370C P43B-21	380	37,0	19, 19М, 24М	
	VFD550C P43S-21	380	55,0	19М, 24М, 24Б	
	VFD750C P43B-21	380	75,0	19М, 24М, 24Б, 25М, 25Л, 22М	
	VFD900C P43A-21	380	90,0	25М, 25Л, 22М	
3 Рама					
Позначення	Модифікації пресів				
24М.3	24М				
24М.3-01	24М				
24М.3-02	24М				

Висновки

В роботі виділені базові фактори, які впливають на процес брикетування у валкових пресах. Сформульовано основні складові, щодо системного проектування та моделювання раціональної конструкції валкових пресів з використанням методів структурно-параметричного

синтезу та аналізу. Розроблено підхід до узагальненої декомпозиції валкового преса конструкції ІЧМ при складанні його з базових конструктивних модулів. Сформований масив базових конструктивних елементів валкових пресів ІЧМ, що створює умови для проектування нових модифікацій пресів за модульним принципом.

Перелік посилань

1. Худяков А. Ю., Ващенко С. В., Баюл К. В., Семенов Ю. С. Опытная верификация новых уравнений прессования мелкофракционных материалов горно-металлургического комплекса. Часть 2. Стадийное уравнение. *Новые огнеупоры*. 2021. № 2. С. 7-13. <https://doi.org/10.1007/s11148-021-00555-y>
2. Худяков А. Ю., Ващенко С. В., Баюл К. В., Семенов Ю. С., Горупаха В. В. Новый метод прогнозирования уплотняемости шихт из мелкофракционных материалов горно-металлургического комплекса. *Металлург*. 2021. № 9. С. 15-22. https://doi.org/10.52351/00260827_2021_09_15
3. Vashchenko S. V., Khudyakov A. Yu., Baiul K. V. et al. Method for predicting the strength of pellets produced from dry fine-grained materials. *Powder Metall. Met Ceram*. 2021. Vol. 60, No. 3-4 (538). p. 148-159. <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00233-1>
4. Ващенко С. В., Худяков О. Ю., Баюл К. В., Семенов Ю. С. Метод прогнозирования прочностных характеристик брикетов, полученных из сухих мелкофракционных материалов. *Черные металлы*. 2021. № 6. С. 59-64. <https://doi.org/10.17580/chm.2021.06.11>
5. Baiul K. V. Effect of the geometrical parameters of roll press forming elements on the briquetting process: analytical study. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2012. Vol. 51. p. 157-164. <https://doi.org/10.1007/s11106-012-9411-8>.
6. Baiul K., Solodka N., Khudyakov A. et al. Selection of rational surface configuration for roller press tires. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2020. Vol. 59. № 1-2. p. 9-20. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00133-w>.
7. Baiul K., Vashchenko S., Khudyakov A. et al. Optimization of wastes compaction parameters in case of gradual wear of briquetting press rolls. Proceedings of the first virtual conference on mechanical fatigue (VCMF2020). 2020. p. 53-54
8. Большаков В. И., Баюл К. В. Анализ современных машин для брикетирования мелкофракционных сырьевых материалов. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 4. С. 92-96.
9. Bembenek M. Badania i perspektywy nowych obszarów stosowania pras walcowych. *Przemysł Chemiczny*, 2017, t. 96 nr. 9, 1845-1847. <https://doi.org/10.15199/62.2017.9.3>
10. Hryniewicz M., Janewicz A. Badania i rozwój konstrukcji prasy walcowej. *Problemy Eksploatacji*, 2008. no. 3. p. 143-151.
11. Hryniewicz M., Kosturkiewicz B., Janewicz A. Selected problems of development of construction and exploitation of roll presses. *Problemy Eksploatacji*. 2004. Vol. 4. p. 63-70.

12. Hryniewicz M., Bembenek M., Gara P. Problem of roll press compacting unit selection to consolidate material in two-stage granulation process, *Chemik: nauka – technika – rynek*. 2008. Y. 61, Vol. 9, p. 425-428.
13. Wennerstrum S. Ten things you need to consider when choosing and installing a roller press system. *Powder and bulk engineering*, 2000, p. 37-47.
14. Dec R. T., Komarek R. K. Computer aided design of roll type briquetters and compactors. IBA Proceedings, Vol. 21, November, 1989, 21st. Biennial Conference, New Orleans, LA, pp. 35-38.
15. Dec R. T., Komarek R. K. Roll press design for powder and bulk solids. 15th Powder and Bulk Solids Conference/Exhibition, Proceedings of the Technical Program, June, 4-7, 1990, O'Hare Exposition Center, Rosemont, IL, pp. 125-136.
16. Dec R. T., Zavaliangos A., Cunningham J. C., Comparison of various modeling methods for analysis of powder compaction in roller press. *Powder Technology*, 2003, vol. 130, no. 1-3, pp. 265–271. [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00203-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00203-6).
17. Мавич Б. М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. Москва : Металлургия, 1975. 232 с.
18. Маймур Б. Н., Худяков А. Ю., Петренко В. И., Ващенко С. В., Баюл К. В. Брикетирование Металлургического сырья. Актуальность и пути развития метода. *Бюл. научно-технической и экономической информации. Черная металлургия*. 2016. Вып. 1. С. 74-81.
19. Barnett T. Roll-press briquetting: Compacting fines to reduce waste-handling costs. *Powder and bulk engineering*. 2010, vol. 24. no. 10, pp.1-6.
20. Srikant Pimple, Akash J., Mahesh D., Astik S. Roller Compaction Design and Critical Parameters in Drug Formulation and Development: Review. *International Journal of Pharm Tech Research*, 2015, vol. 7, No. 1, pp. 90-98.
21. Хорошев А. Н. Введение в управление проектированием механических систем: учебное пособие. Белгород, 1999. 372 с. ISBN 5-217-00016-3.
22. Sharma P. C., Aggarwal D. K. Machine Design. S. K. Kataria & Sons, 2010. 1100 p.
23. Bhandari V. B. Design of Machine Elements. New Delhi : Tata McGraw-Hill, 2007. Print.
24. Budynas R. G, Nisbett J. K., Shigley J. E. Shigley's Mechanical Engineering Design. 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2011. 1120 p.
25. Golenko A. Fundamentals of machine design: a coursebook for Polish and foreign students. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2010. 175 p.
26. Rao S. S. Engineering Optimization: Theory and Practice. Fourth Edition. John Wiley and Sons, 2009. 813 p. <https://doi.org/10.1002/9780470549124>
27. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks. New York : Springer, 2013. 370 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7279-7>

References

1. Khudyakov A.Yu., Vashchenko S.V., Bayul K.V., Semenov Yu.S. (2021). Opytnaya verifikatsiya novykh uravneniy pressovaniya melkofraktsionnykh materialov gorno-

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2021. – Випуск 35
 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2021. – Vypusk 35
 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2021. – Collection 35

- metallurgicheskogo kompleksa. Chast' 2. Stadiynoye uravneniye [Experimental verification of new compaction equations for fine materials of the mining & metallurgical complex. Part 2. Stage compaction equatin]. *Novyye ogneupory [New Refractories]*, 2021, 2, 7-13. [In Russian]. <https://doi.org/10.1007/s11148-021-00555-y>
2. Khudyakov A.Yu., Vashchenko S.V., Bayul K.V., Semenov Yu.S., Gorupakha V.V. (2021). Novyy metod prognozirovaniya uplotnyayemosti shikht iz melkofraktsionnykh materialov gorno-metallurgicheskogo kompleksa [New method for predicting compaction of charges from fine-fraction materials of mining and metallurgical complex]. *Metallurg [Metallurgist]*, 2021, 9, 15-22. [In Russian]. https://doi.org/10.52351/00260827_2021_09_15
 3. Vashchenko S.V., Khudyakov A.Yu., Baiul K.V. et al. (2021). Method for predicting the strength of pellets produced from dry fine-grained materials. *Powder Metallurgy & Metal Ceramics*, 2021, Vol. 60, 3-4 (538), 148-159. <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00233-1>
 4. Vashchenko S.V., Khudyakov O.Yu., Bayul K.V., Semenov Yu.S. (2021). Metod prognozirovaniya prochnostnykh kharakteristik briketov, poluchennykh iz sukhikh melkofraktsionnykh materialov [Method to predict strength characteristics of briquettes obtained from dry fine-grained materials]. *Chernyye metally [Ferrous metals]*, 2021, 6, 59-64. [In Russian]. <https://doi.org/10.17580/chm.2021.06.11>
 5. Bayul K.V. Effect of the geometrical parameters of roll press forming elements on the briquetting process: analytical study. *Powder Metallurgy & Metal Ceramics*, 2012, Vol. 51, 3-4, 157-164. <https://doi.org/10.1007/s11106-012-9411-8>
 6. Baiul K., Solodka N., Khudyakov A. et al. (2020). Selection of rational surface configuration for roller press tires. *Powder Metallurgy & Metal Ceramics*, 2020, Vol. 59, 1-2, 9-20. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00133-w>
 7. Baiul K., Vashchenko S., Khudyakov A. et al. (2020). Optimization of wastes compaction parameters in case of gradual wear of briquetting press rolls. *Proceedings of the first virtual conference on mechanical fatigue (VCMF2020)*, 2020, 53-54.
 8. Bol'shakov V.I., Bayul K.V. (2013). Analiz sovremennykh mashin dlya briketirovaniya melkofraktsionnykh syr'yevykh materialov [Analysis of modern machines for briquetting small fraction of raw material]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' [Metallurgical & Mining Indusry]*, 2013, 4, 92-96. [In Russian].
 9. Bembenek M. (2017). Badania i perspektywy nowych obszaryw stosowania pras walcowych. [Research and prospects for new areas of roller press application]. *Przemysł Chemiczny [Chemical industry]*, 2017, 96, 9, 1845-1847. [In Polish]. <https://doi.org/10.15199/62.2017.9.3>
 10. Hryniewicz M., Janewicz A. (2008). Badania i rozwój konstrukcji prasy walcowej [Research and development of roll press construction]. *Problemy Eksploatacji [Exploitation problems]*, 2008, 3, 143-151. [In Polish].
 11. Hryniewicz M., Kosturkiewicz B., Janewicz A. (2004). Selected problems of development of construction and exploitation of roll presses. *Problemy Eksploatacji [Exploitation problems]*, 2004, 4, 63-70.

12. Hryniewicz M., Bembenek M., Gara P. (2008). Problem of roll press compacting unit selection to consolidate material in two-stage granulation process. *Chemik: nauka – technika – rynek [Chemist: Science - Technology - Market]*, 2008, 61, 9, 425-428.
13. Wennerstrum S. (2000). Ten things you need to consider when choosing and installing a roller press system. *Powder and bulk engineering*, 2000, 37-47.
14. Dec R.T., Komarek R.K. (1989). Computer aided design of roll type briquetters and compactors. *IBA Proceedings, 21st. Biennial Conference, New Orleans, LA, 1989, Vol. 21*, 35-38.
15. Dec R.T., Komarek R.K. (1990). Roll press design for powder and bulk solids. *15th Powder and Bulk Solids Conference/Exhibition, Proceedings of the Technical Program, June, 4-7, 1990, O'Hare Exposition Center, Rosemont, IL*, 125-136.
16. Dec R.T., Zavaliangos A., Cunningham J.C. (2003). Comparison of various modeling methods for analysis of powder compaction in roller press. *Powder Technology*, 2003, Vol. 130, 1-3, 265–271. [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00203-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00203-6).
17. Ravich B.M. (1975). *Briketirovaniye v tsvetnoy i chernoy metallurgii [Briquetting in non-ferrous and ferrous metallurgy]*. Moskva: Metallurgiya, 1975, 232. [In Russian].
18. Maymur B.N., Khudyakov A.Yu., Petrenko V.I., Vashchenko S.V., Bayul K.V. (2016). Briketirovaniye Metallurgicheskogo syr'ya. Aktual'nost' i puti razvitiya metoda [Briquetting of Metallurgical raw materials. Relevance and development of the method]. *Byul. nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii. Chernaya metallurgiya. [Bul. scientific, technical and economic information. Ferrous metallurgy]*, 2016, 1, 74-81. [In Russian].
19. Barnett T. (2010). Roll-press briquetting: Compacting fines to reduce waste-handling costs. *Powder and bulk engineering*, 2010, Vol. 24, 10, 1-6.
20. Srikant Pimple, Akash J., Mahesh D., Astik S. (2015). Roller Compaction Design and Critical Parameters in Drug Formulation and Development: Review. *International Journal of Pharm Tech Research*, 2015, Vol. 7, 1, 90-98.
21. Khoroshev A.N. (1999). *Vvedeniye v upravleniye proyektirovaniyem mekhanicheskikh sistem: Uchebnoye posobiye [An Introduction to Mechanical Design Management]*. Belgorod, 1999, 372, ISBN 5-217-00016-3. [In Russian].
22. Sharma P.C., Aggarwal D.K. (2010). *Machine Design*. S.K. Kataria & Sons, 2010, 1100.
23. Bhandari V.B. (2007). *Design of Machine Elements*. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2007.
24. Budynas R.G., Nisbett J.K., Shigley J.E. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. (9th ed). New York: McGraw-Hill, 2011, 1120.
25. Golenko A. (2010). *Fundamentals of machine design: a coursebook for Polish and foreign students*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2010, 175.
26. Rao S.S. (2009). *Engineering Optimization: Theory and Practice*. 4th Edition. John Wiley and Sons, 2009, 813. <https://doi.org/10.1002/978470549124>
27. Saaty T.L., Vargas L.G. (2013). *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits*,

K. V Baiul¹, Dr. Sci. Eng., Senior Researcher, ORCID 0000-0003-1426-7956
S. V. Vashchenko¹, PhD Eng., Senior Researcher, ORCID 0000-0001-8344-961X
O. Yu. Khudyakov¹, PhD Eng., Senior Researcher, ORCID 0000-0002-6507-1120
N. O. Solodka^{1,2}, PhD Eng., Senior Researcher, Associate professor, ORCID 0000-0002-7545-4969
E. B. Prokudina, 2-th kat. eng.

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

² *SHEI Ukrainian State University of Chemical Technology*

BASIC APPROACHES TO SYSTEM DESIGN OF ROLLER PRESSES ON THE MODULAR PRINCIPLE

Summary. The work aims to form basic approaches to the system design of roller presses on a modular basis. For the design of modern roller presses in many industries, the aggregate-modular principle of equipment creation is actively used. In this regard, the need to further develop methods for roller presses analysis and design is urgent. The issues of development of the scientific base for the synthesis of rational layout and design solutions of roller presses taking into account the requirements for the implementation of the technological process of pressing are becoming especially relevant. The paper shows that despite the large number of works devoted to the study of the briquetting process in roller presses, the process of creating a press design is iterative in nature of trial and error. This is due to the multifactorial process and briquetting technology. The main interrelated factors influencing the briquetting process are highlighted. The main components of the system design of roller presses and the system approach to modeling the rational design of these machines using the methods of structural-parametric synthesis and analysis are formulated. The result of structural and parametric synthesis of the rational design of the roller press is presented in the form of tables, graphs, and text files that contain a sufficient set of information for development in automated design systems package of design documentation for the production of the roller press. An approach to the design of roller presses on a modular basis is formulated. An example of generalized decomposition of a roller press design of an Iron & Steel Institute from basic modules is given. The roller presses of the Iron & Steel Institute design basic elements data array have been created, which can be used when creating new modifications of presses on a modular basis. Parameters, target functions, and algorithms for designing roller presses are formulated.

Key words: roll presses, briquetting, system design, modular principle.

For citation: *Baiul K.V., Vashchenko S.V., Khudyakov O.Yu., Solodka N.O. Prokudina E. B.* Bazovi pidkholdy do systemnoho proektuvannya valkovykh presiv za

modul'nym printsypom [Basic approaches to system design of roller presses on the modular principle]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii* [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy], 2021, 35, 159-185. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-159-185

*Стаття надійшла до редакції збірника 15.12.21 року,
пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування
(Протокол засідання редакційної колегії
збірника № 4 від 22 грудня 2021 року)*