

Synthesis of Roller Press Rational Design for Composite Solid Fuel Production

Baiul K.V.

Z. I. Nekrasov Iron & Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine
Dnipro, Ukraine

Abstract. The purpose of this work is a synthesis of roller press construction for alternative fuel production from small-fraction energetic valuable raw materials. Achievement of the goal set in the work is carried out by forming a systematic approach to the search for rational design solutions for roller presses. Studies conducted on analysis basis of open information sources in the field of theoretical research, development, and implementation of press equipment for small fractional raw materials briquetting that used as alternative energy sources. Established, that a promising direction for the development of alternative energy is composite solid fuels production by briquetting method from a mixture of small fraction energetic valuable materials. Shown that roller presses use is promising for composite fuel briquettes production. Revealed the problem that currently there is no software, independent or integrated into the well-known CAD-system, that allows, taking into account briquetting process technological features, develop and simulate the life cycle of roller briquette presses. The novelty of the work lies in the fact that for the first time a systematic approach based on the use of structural-parametric synthesis and analysis has been applied for creating a rational design of a roller briquette press for the production of composite solid fuel. Using the proposed system approach, a new improved roller press model for the production of fuel briquettes, including composite ones, from energetically valuable small fractional raw materials having a low bulk density ($0.2...0.6 \text{ g/cm}^3$) developed.

Keywords: alternative energy, composite solid fuel, briquettes, roller press design, structural-parametric synthesis.

DOI: 10.5281/zenodo.3367048

Sinteza unui design rațional al unei prese cu rolă pentru producerea de combustibili solizi compuși

Bayul K.V.

Institutul de Metalurgie Feroasă Z. I. Nekrasov ANȘ a Ucrainei
Dnipro, Ucraina

Rezumat. Obiectivul lucrării constă în propunerea modului de proiectare a preseii cu role pentru producerea de combustibili alternativi din materii prime cu fracții mici cu valoare energetică semnificativă prin brichetare. Obiectivul acesta se atinge prin abordarea sistematică a procesului de determinare a soluției structurale raționale preseii. S-au consultat surse bibliografice străine și autothone, experiența specialiștilor Institutului de metalurgiei fieroaselor în numele lui Z. I. Nekrasov a ANȘ a Ucrainei privind dezvoltarea și implementarea echipamentelor cu presă pentru brichetarea materiilor prime cu fracțiuni mici. S-a stabilit, că o direcție promițătoare în dezvoltarea energiei alternative este producerea de combustibili solizi compuși prin brichetare. S-a demonstrat perspectiva utilizării preselor cu rolă la producerea brichetelor de combustibil compozit. S-a constatat lipsa instrumentelor și software independente sau integrate în sistemele de proiectare asistate de computer pentru proiectarea preselor cu rolă care țin cont, de caracteristicile tehnologice, dezvoltarea și modelarea întregului ciclu de viață a preselor de producer a brichetelor din amestec cu dimensiuni mici a fracțiilor. Noutatea rezultatelor se determină de faptul, că s-a propus o abordare sistematică bazată pe utilizarea sintezei și analizei structurale și parametrice pentru construcția modulară a preseii cu rolă. Abordarea sistematică a asigurat dezvoltarea modelului nou îmbunătățit a preseii cu rolă pentru producerea brichetelor, inclusive, cele compozite din materii prime cu fracțiuni mici cu o densitate mare în vrac ($0,2 \dots 0,6 \text{ g / cm}^3$). Dezvoltarea abordării sistematice descrise în lucrare va simplifica dezvoltarea modificărilor preselor cu role, ținând cont de caracteristicile procesului de brichetare.

Cuvinte-cheie: surse alternative de energie, combustibil solid compus, brichete, presă cu rolă, sinteză structurală și parametrică.

Синтез рациональной конструкции валкового пресса для производства композитного твердого топлива

Баюл К.В.

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины
Днепр, Украина

Аннотація. Целью работы является синтез конструкции валкового пресса для производства альтернативных видов топлива из мелкофракционного энергетически ценного сырья методом брикетирования. Достижение поставленной в работе цели осуществляется путем формирования

системного подхода к поиску рациональных конструктивных решений валковых прессов. Исследования проводились на основе анализа зарубежных и отечественных литературных источников, практическом опыте специалистов Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины в области теоретических исследований, разработки и внедрения прессового оборудования для брикетирования мелкофракционного сырья, применяемого в качестве альтернативных источников энергии. Установлено, что перспективным направлением развития альтернативной энергетики является производство композитных твердых видов топлива методом брикетирования из смеси энергетически ценных мелкофракционных материалов. Показано, что для производства композитных топливных брикетов перспективным является использование валковых прессов. Выявлена проблема, состоящая в том, что на сегодняшний день не существует самостоятельных или интегрированных в известные системы автоматизированного проектирования программных средств, позволяющих с учетом технологических особенностей, проводить разработку и моделирование всего жизненного цикла валковых брикетных прессов. Новизна работы состоит в том, что впервые для создания по модульному принципу рациональной конструкции валкового брикетного пресса для производства композитного твердого топлива применен системный подход, основанный на использовании структурно-параметрического синтеза и анализа. С использованием предложенного системного подхода разработана новая усовершенствованная модель валкового пресса для производства топливных брикетов, в том числе композитных, из энергетически ценных мелкофракционных сырьевых материалов, имеющих малую насыпную плотность ($0,2 \dots 0,6 \text{ г/см}^3$). Развитие описанного в работе системного подхода позволит упростить разработку модификаций валковых прессов с учетом особенностей процесса брикетирования.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, композитное твердое топливо, брикеты, валковый пресс, структурно-параметрический синтез.

ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы исследований. Обеспечение энергоэффективности и энергетической безопасности предприятий и регионов являются актуальными проблемами современной экономики. В условиях постоянно растущих объемов энергопотребления особую актуальность приобретает поиск альтернативных источников энергии. В настоящее время известен целый ряд исследований, которые показывают, что в качестве альтернативных источников энергии могут применяться брикеты, производимые из угольных штыбов, шламов и коксовой мелочи [1, 2], продуктов пиролиза автомобильных шин [3], гидролизного лигнина [4], мелких фракций бурого угля [5], торфа [6], растительной биомассы [7], а также RDF (refuse derived fuel – твердое вторичное топливо на базе бытовых отходов) [8].

Расширение сферы применения метода брикетирования в производстве альтернативных источников энергии привело к созданию перспективного направления – производства композитных твердых видов топлива (КТТ или CSF) из смеси различных энергетически ценных мелкофракционных материалов [9-12]. Указанный вид композитного топлива представляет собой окускованный продукт в виде пеллет или брикетов.

Преимущество производства такого вида топлива состоит в том, что могут быть обеспечены любые состав и размеры брикета или пеллеты в зависимости от их применения, в частности, для обогрева частных домовладений, маломощных котлов для отопления населенных пунктов, использования в качестве компонента шихты на тепловых электростанциях и в процессах газификации.

Основными компонентами для производства композитного твердого топлива в виде брикетов являются мелкие фракции низкосортных углей, лигнина, бурого угля, гидролизного лигнина и торфа, которые смешиваются в определенных пропорциях с растительной биомассой, техническим углеродом, RDF или мелкими фракциями высококачественных углей. Использование многокомпонентных брикетов в энергетике при правильном подборе их химического и компонентного состава позволяет обеспечить требуемую калорийность и механическую прочность данного вида топлива, снизить концентрацию выделения вредных веществ при использовании, особенно HCl, SO₂, NO_x, CO.

Для производства топливных брикетов, в том числе многокомпонентных, используемых в энергетической и горнодобывающей промышленности, зачастую применяются валковые прессы благодаря присущим им особенностям:

- широкому диапазону производительности, как правило, от 1 до 50 т/ч, в зависимости от конструктивного исполнения;
- непрерывности процесса прессования в очаге деформации;
- малой энергоемкости и металлоемкости при одинаковой производительности по сравнению с кривошипно-шатунными и гидравлическими прессами;
- возможностью брикетирования широкого спектра мелкофракционных смесей в чистом виде и со связующими добавками;
- возможностью брикетирования шихт с малой насыпной плотностью (200...600 кг/м³) при использовании устройств для принудительной подачи и предварительного уплотнения (подпрессовщиков);
- высокой надежности и ремонтпригодности.

Указанные преимущества валковых прессов делают их достаточно эффективным и перспективным типом прессового оборудования для производства брикетов из энергетически ценных мелкофракционных сырьевых материалов.

Широкое внедрение технологий производства брикетов из альтернативных видов топлива с помощью валковых прессов выдвигает на передний план задачу обоснованного выбора их конструктивных параметров для обеспечения условий получения качественных брикетов. Выбор конструктивного исполнения прессового оборудования определяется значительным количеством взаимосвязанных факторов [13-18]:

- напряженно-деформированным состоянием прессуемых материалов;
- энергосиловыми и технологическими параметрами прессования;
- технологией изготовления, эксплуатации и ремонта деталей и узлов пресса;
- экономической составляющей процесса создания прессового оборудования и т.д.

При этом важным является обеспечение оптимальных показателей энергоемкости, металлоемкости и ремонтпригодности валковых прессов.

Анализ развития методов определения рациональных конструктивных параметров валковых прессов. В настоящее время для разработки конструкции валковых прессов, как и большинства современных промышленных машин и агрегатов, активно применяются системы автоматизированного проектирования (САПР) – в основном

SolidWorks, Компас и AutoCad. Для создания рациональной конструкции валкового пресса наличие стандартного набора средств САПР является необходимым, но не достаточным условием в связи с необходимостью решения узкоспециализированных задач, обусловленных технологическими особенностями, условиями изготовления, монтажа и эксплуатации, присущими данному классу машин.

На это указывает и то, что в процессе развития технологий и машин для брикетирования разработан и продолжает совершенствоваться целый класс методов и математических моделей, позволяющих осуществлять прогноз, оценку и выбор рациональных энергосиловых и технологических параметров процесса брикетирования, конструкции отдельных деталей прессового оборудования и режимов его эксплуатации [13-18]. Развитию таких методов уделяется значительное внимание специалистов группы разработки технологий и оборудования для подготовки шихтовых материалов Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины (ИЧМ).

Несмотря на большое количество работ, посвященных исследованию процесса брикетирования в валковых прессах и усовершенствованию машин данного класса, процесс создания конструкции пресса носит итеративный характер проб и ошибок. Это обусловлено многофакторностью процесса и технологии брикетирования. Порой условия получения качественных брикетов и обеспечения нормальных режимов работы прессового оборудования в пределах его технических характеристик входят во взаимное противоречие. Это требует с одной стороны корректировки технологии брикетирования, а с другой внесения изменений в конструкцию пресса.

Анализ литературных источников [13-18] показывает, что в настоящее время отсутствует структурированная система, методология или алгоритм, которые бы являлись четкой инструкцией к пошаговому проектированию рациональной конструкции валкового пресса с учетом технологических особенностей процесса брикетирования. Большинство исследований сосредоточены на решении конкретных задач. К примеру, определении энергосиловых параметров брикетирования, оптимизации конфигурации прессующих поверхностей и т.п. Но даже при

достаточной корректности известных методов прогнозирования и анализа процессов брикетирования и работы прессового оборудования порядок их применения и интерпретация результатов до сих пор четко не определены.

При таком подходе к проектированию из небольшого количества опробованных или вновь разработанных конструкций валковых прессов выбирается та, которая по мнению специалиста является наиболее рациональной. Такой вывод подтверждается тем, что на сегодняшний день не существует самостоятельных или интегрированных в известные САПР программных средств, позволяющих с учетом всех технологических особенностей, проводить разработку и моделирование всего жизненного цикла валковых брикетных прессов. Такие работы выполняются с использованием разрозненных программных средств, каждое из которых решает лишь узкую конкретную задачу, что приводит к значительному увеличению затрат времени и ресурсов. Это делает актуальным необходимость решения вопросов анализа и дальнейшего развития средств и методов проектирования валковых прессов. Перспективным для решения такой задачи представляется применение известных в различных отраслях знаний структурно-параметрического синтеза и анализа и развитие средств и методов формирования новых моделей валковых прессов по модульному принципу, с учетом уже известных разработок.

Целью работы является синтез конструкции валкового пресса для производства альтернативных видов топлива из мелкофракционного энергетически ценного сырья методом брикетирования.

Достижение поставленной в работе цели осуществляется путем формирования системного подхода к поиску рациональных конструктивных решений валковых прессов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В практике моделирования и разработки новых машин и систем выделяются базовые задачи:

- структурный синтез;
- структурный анализ;
- параметрический синтез;
- параметрический анализ.

На их базе основаны комбинированные подходы:

- структурный синтез и анализ;
- параметрический синтез и анализ;
- структурно-параметрический синтез;
- структурно-параметрический анализ.

Разработка обобщенной математической модели и системы структурно-параметрического синтеза и анализа валкового пресса включает адаптацию к решаемым задачам, компоновку и совместное применение следующих принципов создания и исследования сложных систем – модульный, объектно-ориентированный, иерархический, композиции и декомпозиции [19-21].

Применительно к созданию новых моделей валковых прессов количество и порядок решения указанных выше задач определяется требованиями, предъявляемыми к данному оборудованию по следующим основным условиям:

- возможность реализации стабильного процесса производства качественных брикетов в соответствии с принятой технологией;
- обеспечение заданной производительности;
- надежность и долговечность работы – максимально возможный ресурс эксплуатации деталей и узлов пресса;
- минимально возможные значения металлоемкости, энергоемкости и затрат на сервисное обслуживание;
- высокая ремонтпригодность;
- оптимальные затраты на разработку, изготовление пресса, его деталей, узлов и т.д.

На рис. 1 приведена обобщенная структура системного подхода к моделированию рациональной конструкции валкового пресса с использованием модульного принципа конструирования, которая отображает основные этапы создания новой модификации машины данного типа – синтез, анализ и окончательное формирование конструкции пресса.

Проектирование новой конструкции валкового пресса можно представить в виде процесса решения двух взаимосвязанных задач:

1. Выбора структуры пресса (типа, количества, условий взаимодействия деталей, узлов и других элементов пресса), т.е. структурный синтез.
2. Выбора числовых значений параметров конструктивных элементов пресса, т.е. параметрический синтез.

Результат структурно-параметрического синтеза рациональной конструкции валкового пресса представляется в виде таблиц, графиков и текстовых файлов, которые содержат достаточный набор информации для разработки в системах автоматизированного проектирования пакета конструкторской документации на изготовление валкового пресса.

Практический и теоретический опыт сотрудников ИЧМ по созданию валковых прессов и исследованию процесса брикетирования позволяет разработать структуру системы моделирования рациональной конструкции валковых прессов.

Для реализации данной структуры используются массивы данных и знаний (правила и расчетно-аналитические методы):

1. Физико-механические характеристики брикетируемых материалов:
 - коэффициенты внешнего, внутреннего трения и бокового давления;
 - экспериментально установленная и математически описанная функциональная взаимосвязь между давлением прессования и величиной уплотнения брикетируемой шихты;
 - характеристики упругого последействия в брикетах и т. д.
2. Модели процессов, происходящих при работе валкового пресса:
 - модель процесса брикетирования мелкофракционной шихты в очаге деформации валкового пресса;
 - модель процесса изнашивания рабочей поверхности валков пресса
 - модель для оценки влияния степени износа рабочих поверхностей валков пресса на энергосиловые и технологические параметры брикетирования и т. д.
3. Модели основных узлов пресса:
 - модель валкового блока;
 - модель устройства предохранения валков от перегрузок;
 - модель линии привода пресса;
 - модель подпрессовщика (если таковой предусмотрен требованиями технологии брикетирования).

На основе указанных массивов данных и знаний осуществляется структурный и параметрический синтез модели валкового пресса с заданием входных параметров и определением значений параметров основных

конструктивных элементов и эксплуатационных характеристик пресса.

Далее более детально остановимся на каждой в отдельности из ранее указанных базовых задач моделирования и разработки машин применительно к созданию новых моделей валковых прессов для брикетирования мелкофракционных материалов.

Структурный синтез валкового пресса как технической системы представляет собой формирование его алгоритмической модели – определение основных узлов и механизмов пресса, способов их объединения в единую конструкцию и взаимодействия в процессе работы.

При этом выделяются основные узлы, определяющие его функционирование как основного агрегата в составе технологической линии брикетирования:

- рама или станина;
- валковый блок;
- загрузочное устройство;
- устройство защиты валков от перегрузок;
- подпрессовщик (если таковой предусмотрен);
- линия привода (синхронизирующая зубчатая передача, двигатель, редуктор, муфты и т.п.);
- электрическая управляющая аппаратура;
- защитные элементы – кожухи и т.п.

Структурный синтез пресса осуществляется следующим образом. На основе конструктивной схемы составляется принципиальная схема валкового пресса с указанием функциональных элементов и их связей.

Компоновка модели пресса осуществляется на базе элементов кластера системы, содержащего описание и характеристики, имеющихся в наличии уже разработанных конструктивных элементов пресса.

Выбранные элементы модели пресса соединяются между собой информационными связями, в результате чего формируется математическая модель разрабатываемого валкового пресса. Каждой модели пресса присваивается определенная маркировка.

Структурный синтез и анализ подразумевает детализацию структурной схемы математической модели создаваемого пресса или отдельных его узлов. К примеру, пресс оснащен устройством для предохранения валков от перегрузок. В таком варианте детализируется конструктивное

исполнение данного устройства. Указывается его тип – механическое или гидравлическое. При необходимости дополнительно детализируется структура принципиального конструктивного исполнения данного узла пресса. Например, механическое предохранительное устройство, состоящее из двух силовых элементов с тарельчатыми пружинами, расположенными на некотором расстоянии выше линии, соединяющей центры валков пресса и т.п. Такое описание в программном модуле, формулируется с использованием специально создаваемых блоков данных.

Структурный анализ валкового пресса представляется в виде процесса формирования его структурной схемы, отражающей конструктивные, технологические и другие особенности создаваемой модели.

Технологические особенности применения валковых прессов в составе линий брикетирования мелкофракционных сырьевых материалов требуют решения задачи их структурного описания.

Примером задачи структурного анализа применительно к валковым прессам является решение задачи выбора рационального компоновочного решения пресса на основе анализа набора различных вариантов его кинематических схем с учетом особенностей проектного построения линии брикетирования.

Структурно-параметрический синтез применительно к разработке валкового пресса можно кратко проиллюстрировать следующим примером. Необходимо разработать валковый пресс для брикетирования материала с малой насыпной плотностью ($\rho_{нас} \leq 300 \text{ кг/м}^3$). Создание такого пресса требует синтеза его кинематической схемы, включая, при необходимости, схему подпрессовщика – это относится к структурной части синтеза. Указание конкретных значений геометрических, конструктивных энергосиловых и других параметров создаваемого пресса представляет собой параметрическую часть синтеза пресса.

Структурно-параметрический анализ конструкции валкового пресса, предполагает выделение одного или нескольких критериев ее оптимальности. На базе этих критериев решается задача поиска оптимальной структуры разрабатываемого валкового пресса среди всех возможных вариантов. То

есть производится анализ эффективности возможных решений задачи структурного синтеза модификаций создаваемого пресса и выбор из них того варианта, который максимально соответствует принятому критерию оптимальности.

В общем виде задача структурно-параметрического синтеза оптимальной конструкции валкового пресса описывается выражением:

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

где

F – целевая функция;

X – вектор проектных (управляемых или варьируемых) параметров, характеризующих конструкцию или режимы работы создаваемого пресса.

Другими словами, вектор X представляет собой множество возможных проектных решений валкового пресса в границах допустимой области:

$$D_x = \{X \mid \varphi(X) < 0, \psi(X) = 0\}, (2)$$

где $\varphi(X)$ и $\psi(X)$ – функции-ограничения задачи структурного синтеза конструкции валкового пресса.

В качестве управляемых параметров валкового пресса могут быть:

- ширина и диаметр рабочих поверхностей валков пресса;
- конфигурация и размеры формирующих элементов;
- геометрические параметры шнека механизма предварительного уплотнения шихты;
- границы минимально и максимально допустимой величины уплотнения брикетируемой шихты, выраженные через коэффициент уплотнения и определяющие, посредством функциональной взаимосвязи, плотность производимых брикетов;
- максимально допустимое усилие прессования, воспринимаемое устройством предохранения валков от перегрузок;
- максимальное значение момента прессования, которое обеспечивает нормальную работу привода пресса;
- удельная износостойкость рабочих поверхностей валков, взаимосвязанная с механическими характеристиками

брикетируемого материала и материала бандажа;

- максимально допустимая частота вращения валков и т.д.

В качестве целевой функции могут быть определены:

- требуемая производительность пресса;
- достижение требуемой плотности брикетов;
- работа пресса с минимально возможными значениями энергосиловых параметров – усилия и момента прессования;
- максимальный ресурс эксплуатации рабочих поверхностей валков (сменных кольцевых бандажей);
- достижение минимального значения металлоемкости при соблюдении условий надежной и безотказной работы пресса и т.д.

Решение задачи в соответствии с выражениями (1, 2) предполагает создание специализированного расчетно-аналитического программного обеспечения и объединения его в единую экспертную подсистему, которая может быть частью более крупной экспертной системы, реализующей комплексный системный подход к разработке технологий и оборудования для брикетирования.

Такой подход обусловлен тем, что приемлемых решений в соответствии с выражением (1) может быть несколько и тогда эксперт-проектировщик, должен будет полагаясь на свой личный опыт и накопленную на данный момент базу знаний в области создания и эксплуатации валковых прессов выбрать лишь одно конструктивное решение создаваемого пресса.

Решение таких задач может осуществляться с использованием широко применяемых в различных отраслях методов анализа иерархий, ветвей и границ [19-21].

Параметрический синтез валкового пресса состоит в следующем. Задаются характеристики и параметры элементов модели пресса. Параметрический синтез можно рассмотреть на примере основного конструктивного узла пресса – валок.

Номенклатура входных параметров валка может быть различной, поэтому в качестве примера в табл.1 приведен один их возможных вариантов.

В зависимости от решаемых задач и задействованных при этом математических моделей количество входных параметров, характеризующих валки пресса (табл.1) может изменяться.

С учетом того, что вариантов конструктивного исполнения валков при синтезе конструкции пресса может быть несколько, как, впрочем, и других конструктивных элементов, то в процессе проектирования каждому из таких вариантов должна присваиваться специальная маркировка по типу маркировки чертежей данных сборочных единиц.

Параметрический синтез и анализ валкового пресса предполагает исследование структурной схемы пресса с определением рациональных параметров конструктивных элементов в соответствии с заданными исходными данными и принятыми граничными значениями характеристик пресса, режимов его работы и процесса брикетирования.

После проведения вычислений в соответствии с совокупностью математических моделей и методов, описывающих валковый пресс и режимы его эксплуатации, образуется массив расчетных данных.

Эти данные анализируются в соответствии с принятыми ограничениями.

Если какие-либо из полученных числовых значений анализируемых параметров, характеризующих валковый пресс, не соответствуют принятым или требуемым значениям, то производится внесение изменений в конструктивные элементы пресса.

К примеру, требуется обеспечить максимально возможную производительность пресса Q (целевая функция). Управляемыми параметрами могут быть:

- частота вращения валков n , определяемая конкретными значениями кинематических характеристик элементов привода (электродвигателя, редуктора, клиноременной передачи и т.д.);
- диаметр D и ширина L прессующих поверхностей;
- конфигурация и объем формующих элементов.

В данном варианте в качестве ограничений могут выступать:

- максимально допустимая частота вращения валков n_{\max} при которой невозможно получение брикетов с требуемой плотностью и прочностью, за счет ухудшения условий захвата материала валками;

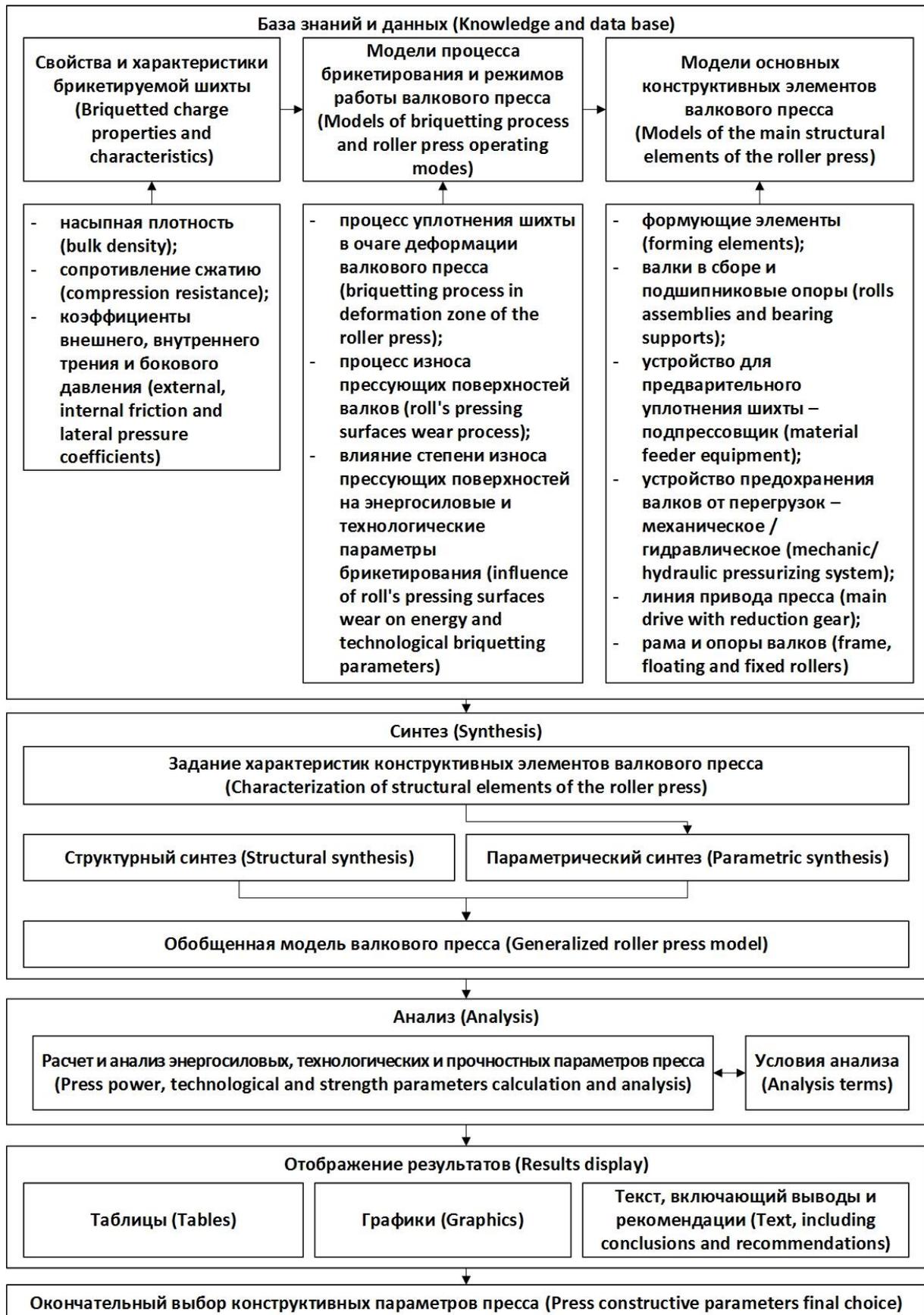


Рис. 1. Системный подход к моделированию рациональной конструкции валкового пресса.¹

¹ Appendix 1

Таблица 1.²

Вариант задания входных параметров конструкции вала брикетного пресса.³

№	Описание параметра (Parameter description)	Значение (Value)
1.	Тип вала (Roll type): 1 – цельный (solid); 2 – с кольцевыми сегментами (segmented); 3 – с кольцевыми бандажами (with tires)	3
2.	Количество пар прессующих поверхностей (The number of pressing surfaces pairs): 1 – одна (one); 2 – две (two)	1
3.	Максимальное усилие прессования, кН (Maximum pressing force, kN)	2000
4.	Максимальный момент прессования, кН×м (Maximum pressing torque, kN×m)	85
5.	Диаметр вала средний, мм (Average roll diameter, mm)	648
6.	Диаметр вала максимальный, мм (Maximum roll diameter, mm)	705
7.	Диаметр вала минимальный, мм (Minimum roll diameter, mm)	635
8.	Способ крепления сменных прессующих элементов для валков с кольцевыми бандажами (Replaceable pressing elements fastening method for rolls with tires): 1 – шпонка призматическая (prismatic key); 2 – шпонки сегментные (segment keys); 3 – клиновые кольца (wedge rings); 4 – клиновые полукольца (wedge half rings); 5 – самоцентрирующиеся быстросъемные зажимные элементы (self-centering quick-release clamping elements); 6 – не самоцентрирующиеся быстросъемные зажимные элементы (non-centering quick-release clamping elements)	4
9.	Типоразмер формующего элемента согласно принятой кодировки (Forming element size according to the adopted coding)	R17
10.	Материал бандажей (Tires material)	40X
11.	Твердость прессующих поверхностей бандажей HRC (Pressing surfaces hardness HRC of tires)	62

- максимальный и минимальный объем v_{br} формующего элемента и его тип (открытый или закрытый), не позволяющие обеспечить заданную производительность пресса и плотность брикетов;
- максимально допустимая мощность привода пресса N_{max} , напрямую зависящая от увеличения частоты вращения валков пресса.

При уже определенной структуре пресса решение указанной задачи осуществляется путем составления нескольких вариантов конструкции пресса с конкретными значениями управляемых параметров. Составленные варианты конструкций пресса анализируются на предмет максимального приближения к оптимальному значению целевой функции в соответствии со значением управляемого параметра и принятых ограничений.

Параметрический анализ валкового пресса может выполняться и для одного варианта конструкции и для нескольких – многовариантный анализ.

Примером параметрического анализа может являться анализ соответствия энергосиловых характеристик процесса брикетирования – максимально допустимых усилия P и момента прессования M и требуемой мощности привода N реальным техническим характеристикам пресса. При этом должно соблюдаться условие получения брикетов с заданными характеристиками уплотнения (коэффициент уплотнения шихты K_u , плотность брикетов ρ_{br}) и производительности технологической линии брикетирования Q .

В данной задаче выделяются поддерживаемые и изменяемые параметры.

В соответствии с поставленной задачей поддерживаемыми параметрами являются:

- плотность брикетов ρ_{br} ;
- производительность пресса Q ;
- усилие прессования P ;
- момент прессования M ;
- мощность N .

^{2,3} Appendix 1

Исходными параметрами, которые могут корректироваться, являются:

- угол прессования α_{pr} ;
- насыпная плотность шихты ρ_{nas} ;
- сопротивление шихты сжатию $p = aKy^b$;
- коэффициенты трения f_1 , f_2 и бокового давления ξ .

При этом насыпная плотность, сопротивление шихты сжатию, коэффициенты трения и бокового давления, в свою очередь, зависят от ряда физико-механических характеристик: размера и физико-механических свойств частиц, составляющих шихту, типа и количества связующего, которые относятся к иерархии более простого порядка.

Параметрический анализ пресса выступает в качестве дополнения к решению задачи параметрического синтеза.

В процессе параметрического анализа выполняется расчет значений поддерживаемых параметров для различных вариантов изменяемых параметров. Результаты расчета могут быть выведены в табличном и графическом виде.

Руководствуясь системным подходом, описанным в работе, проведены расчетно-аналитические исследования и разработан валковый пресс для производства композитных топливных брикетов.

Новый пресс сконструирован по модульному типу с использованием ряда унифицированных деталей и узлов из модельного ряда валковых прессов, разработанных в ИЧМ.

В данной конструкции пресса к таким унифицированным деталям и узлам, которые могут быть применены на еще нескольких модификациях прессов, относятся:

- сменные кольцевые бандажи валков;
- детали для крепления бандажей на ступицы валков;
- устройства для предохранения валков от перегрузок – демпфера механического типа;
- устройство для подачи и предварительного уплотнения шихты – подпрессовщик шнекового типа;
- линия привода пресса – электродвигатель, клиноременная передача, редуктор и зубчатая муфта.

В табл. 2. приведены основные технические характеристики пресса.

Применение такого пресса позволяет производить брикеты из следующих видов материалов и их смесей: торф, бурый уголь, гидролизный лигнин, угольные штыбы и шламы, технический углерод и т.п.

Также возможна добавка к основной шихтовке измельченного сырья растительного происхождения.

Данный пресс является базовой модификацией валковых прессов, оснащенных подпрессовщиком, предназначенной для брикетирования легковесных мелкофракционных материалов (насыпная плотность $\rho_{nas} \approx 200...600 \text{ кг/м}^3$).

Работа пресса в зависимости от конкретных технологических условий может вестись с использованием подпрессовщика.

При необходимости возможен его быстрый демонтаж и работа в условиях гравитационной подачи шихты (как правило при $\rho_{nas} \geq 600 \text{ кг/м}^3$) с использованием специального устройства регулирующего объем материала, подаваемого в межвалковое пространство.

В составе линии привода пресса и подпрессовщика предусмотрено использование преобразователей частоты Delta Electronics – VFD900CP43A-21 (пресс), VFD185C43A (подпрессовщик). Это обусловлено следующими соображениями.

В реальных производственных условиях, при изменении фракционного и компонентного состава шихт, для получения качественных брикетов и обеспечения работы пресса в границах его технических характеристик требуется согласование потока брикетируемого материала путем управления частотой вращения шнека подпрессовщика и валков пресса.

Для ряда шихт существует ограничение по скорости деформации, при которой возможно получение качественных брикетов.

Поэтому использование частотных преобразователей позволяет регулировать скорость деформации шихты и обеспечить требуемое силовое воздействие на уплотняемый материал.

В дальнейшем на базе данной машины будут разработаны ее модификации в которых предполагается использование:

- гидравлического устройства для предохранения валков пресса от перегрузок;
- оснащение, в зависимости от условий эксплуатации, электродвигателями во взрывозащищенном или общепромышленном исполнении;
- дооснащение пресса дополнительными комплектами бандажей с различной калибровкой прессующих поверхностей и сменными шнеками подпрессовщика с различным шагом витков, необходимых для оптимизации конкретных технологий брикетирования и т.п.

Таблица 2.⁴

Основные технические характеристики валкового брикетного пресса ПБВ-648/360-200П-19 для производства композитного твердого топлива.⁵

Тип пресса (Press type)	Валковый (Roller)
Усилие прессования максимальное, кН (Maximum pressing force, kN)	2000
Тип устройства предохранения валков от перегрузок (Pressurizing system)	Механическое (Mechanical)
Производительность, т/ч (Productivity, t/h)	≈3...17.5*
Максимальный момент прессования, кН×м (Maximum pressing torque, kN×m)	71
Диаметр валков, мм (Roll diameter, mm)	648
Ширина валков, мм (Roll width, mm)	360
Номинальная частота вращения валков, мин ⁻¹ (Nominal roll speed, min ⁻¹)	7
Мощность электродвигателя привода пресса, кВт (Press drive motor power, kW)	75
Параметры формующих элементов/брикетов (Forming elements/briquettes parameters):	
- объем, см ³ (volume, cm ³)	19...21
- размеры, мм (dimensions, mm)	40,0x38,5x18,5
Тип подпрессовщика (Feeder type)	Шнековый (Screw)
Номинальный момент подпрессовщика, Н×м (Nominal screw torque, N×m)	1500
Номинальная частота вращения шнека, мин ⁻¹ (Nominal screw speed, min ⁻¹)	90
Мощность привода подпрессовщика, кВт (Screw drive power, kW)	15
Габаритные размеры пресса, мм (Press overall dimensions, mm)	≈3715x2200x4300
Масса пресса, кг (Press weight, kg)	≈11000
Масса пресса с подпрессовщиком, кг (Press weight with feeder, kg)	≈12000

* Зависит от насыпной плотности шихты, частоты вращения валков, размеров и плотности брикетов (Depending on briquetting charge bulk density, rolls speed, briquettes size and density)

Проведен сравнительный анализ разработанной конструкции пресса с близкими по техническим характеристикам и назначению валковыми прессами других производителей:

- ДН 400 (K.R. Komarek Inc., США);
- MS200 (Верех, США);
- GY750-220 (Luoyang Zhongyuan Mining Machine Manufacture Co., Ltd., Китай).

Также для сравнения выбран кривошипно-шатунный штемпельный пресс Б9032, который является распространенной машиной для производства топливных брикетов из торфа и волокнистых материалов с насыпной плотностью от 200 до 600 кг/м³.

Помимо анализа технических характеристик, для оценки конструкции пресса, по аналогии с критериями оценки металлургического оборудова-

ния [22] предложены параметры эффективности – удельное усилие прессования P_u , удельная энергоемкость E_u , удельная металлоемкость G_u :

$$P_u = P_{\max} / L_v ; E_u = N / Q ; G_u = m / Q , (3)$$

где P_{\max} – максимальное усилие прессования (технологическая нагрузка), кН;

L_v – ширина валков (прессующей поверхности), см;

N – мощность, потребляемая прессом, кВт;

Q – производительность пресса, т/ч;

m – масса пресса, т;

Технические характеристики и показатели эффективности анализируемых прессов приведены в табл. 3.

^{4,5} Appendix 1

Таблица 3.⁶

Основные технические характеристики и показатели эффективности брикетных прессов⁷

Тип прессы (Press type)	Валковый (Roller)				Штемпельный (Stamping)
Модель прессы (Press model)	ПБВ-648/360-200П-19	ДН 400	MS200	GY750-200	Б9032
Диаметр валков, мм (Roll diameter, mm)	648	521	711	650	-
Ширина валков, мм (Roll width, mm)	360	102...508	550	205	-
Максимальное усилие прессования, кН (Maximum pressing force, kN)	2000	1780	2000	2200	1600
Мощность, кВт (Power, kW)	90.0	97.0	160.0	90.0	168.2
Производительность, т/час (Productivity, t/h)	3.0...17.5	4.5...18.0	10.0	4.0...6.5	4.0
Масса прессы, кг (Press weight, kg)	12000	14500	12000	19200	56000
Удельное усилие прессования P_u , кН/см (Specific pressing force, kN/cm)	55.0	26.0...130.0	36.4	107.0	44.0 (≈63.0*)
Удельная энергоемкость E_u , кВт×час/т (Specific energy consumption, kW×h/t)	5.1...30.0	5.4...21.6	16.0	13.9...22.5	42.1
Удельная металлоемкость G_u , т/(т×час) (Specific metal consumption t/t×h)	0.7...4.0	0.8...3.2	1.2	3.0...4.8	14.0

* – давление прессования в МПа (pressing pressure MPa).

Сравнительный анализ данных табл. 3 показывает следующее:

1. Значения силовых параметров (максимальное и удельное усилия прессования) и производительности соответствуют средним величинам этих показателей для аналогичных машин ведущих производителей и позволяют брикетировать широкий спектр материалов с малой (200...600 кг/м³) и с высокой (≥600 кг/м³) насыпной плотностью.
2. Соотношение массы прессы и его производительности показывает, что в сравнении с аналогичными валковыми машинами он имеет хорошие показатели, а в по отношению к штемпельным прессам имеет неоспоримое преимущество.

3. Разработанный пресс, при максимальном значении производительности (17.5 т/ч), имеет удельную энергоемкость 5.14 кВт×час/т. Это хороший показатель для валкового прессы и существенно лучший в сравнении со штемпельным. При этом следует учитывать, что существует значительное количество шихт, подверженных псевдоожигению в очаге деформации с ярко выраженным упругим последствием. В этом случае, для получения качественных брикетов приходится снижать частоту вращения шнека и валков. При этом наблюдается рост силовых параметров брикетирования и увеличение энергоемкости прессы, что для ряда технологий допустимо.

^{6,7} Appendix 1

ВЫВОДЫ

В работе показана перспективность создания и внедрения технологий и оборудования для производства брикетированного композитного твердого топлива на базе вторичных техногенных энергетически ценных мелкофракционных материалов и растительной биомассы с использованием в качестве основного технологического агрегата валкового брикетного пресса.

Сформулирован и описан системный подход к применению структурно-параметрического синтеза и анализа к поиску рациональных конструктивных решений валковых прессов для производства топливных брикетов.

С использованием предложенного системного подхода разработана усовершенствованная модель валкового пресса для производства топливных брикетов, в том числе композитных из энергетически ценных мелкофракционных сырьевых материалов, имеющих малую насыпную плотность (200...600 кг/м³).

В дальнейшем, предложенный в работе системный подход, будет использован для создания специализированного программного обеспечения для проектирования валковых прессов, которое может быть представлено в виде:

- самостоятельного экспертно-аналитического программного продукта;
- составной части экспертной системы для разработки технологий и оборудования для брикетирования;
- программного модуля в составе стандартных САД-систем, используемых при проектировании прессового оборудования.

Создание такого программного обеспечения будет способствовать развитию и внедрению эффективного прессового оборудования и технологий для производства топливных брикетов из техногенных сырьевых материалов и растительного сырья, что позволит снизить негативную нагрузку на окружающую среду и расширить ресурсную базу энергетической отрасли.

APPENDIX 1 (ПРИЛОЖЕНИЕ 1)

¹**Fig. 1.** Обобщенная структура системного подхода к моделированию рациональной конструкции валкового пресса.

The generalized structure of a systematic approach to the modeling of a rational design of a roller press.

^{2,3}**Table 1.** Вариант задания входных параметров конструкции вала брикетного пресса.

Option setting input parameters design roll briquette press.

^{4,5}**Table 2.** Basic technical characteristics of roller briquette press ПББ-648/360-200П-19 for composite solid fuel production.

^{6,7}**Table 3.** Briquetting presses basic technical characteristics and efficiency indicators.

Литература (References)

- [1] *Best Practices and Perspectives of Energy-Efficiency Technologies for Utilization of Low Rank Coal within APEC Economies*. Reports. SOM Steering Committee on Economic and Technical Cooperation (SCE), Energy Working Group (EWG)., 2013. p. 89.
<https://www.apec.org/Publications/2013/02/Best-Practices-and-Perspectives-of-EnergyEfficiency-Technologies-for-Utilization-of-Low-Rank-Coal-wi> (accessed 12.08.2019.)
- [2] Gabriel Borowski, Jan J. Hycnar, Utilization of fine coal waste as a fuel briquettes. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 2013, 33:194-204, p.194-204. DOI:10/1080/19392699.2013.787993.
- [3] Popov V., Papin A., Ignatova A., Makarovskikh A. Composite fuel based on residue from tire and secondary polymer pyrolysis. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 43 (2016). 012065 doi:10.1088/1755-1315/43/1/012065.
- [4] Rabinovich M.L. Lignin by-products of soviet hydrolysis industry: resources, characteristics, and utilization as a fuel. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2014, vol. 48 no. 7–8, pp. 613–631.
- [5] Kinoshita S., Yamamoto S., Deguchi T., Shigehisa T. Demonstration of upgraded brown coal (UBC) process by 600 tonnes/day plant. *KOBELCO Technology Review*, 2010, no. 29, pp.93-98.
- [6] Bustan A., Arsyad M. Are Peat and Sawdust Truly Improve Quality of Briquettes as Fuel Alternative? *Journal of Sustainable Development*, 2017. vol. 10, no.5 pp.61-70.
- [7] Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyzaniak M., Gulczynski P., Mleczek M. Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass. *Renewable Energy*, 2013, vol. 57, pp.20-26.
Ganesh T., Vignesh P., Arun Kumar G. Refuse Derived Fuel to Electricity. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* 2013, vol. 02, Issue 09, pp. 2930-2932.
<https://www.ijert.org/refuse-derived-fuel-to-electricity> (accessed 12.08.2019.)
- [8] Zarringhalam-Moghaddam A., Gholipour-Zanjani N., Dorosti S., Vaez M. Physical properties of solid fuel briquettes from bituminous coal waste and biomass. *Journal of Coal Science and Engineering*, 2011, vol.17 no. 4, pp. 434–438.
- [9] Purohit P., Tripathi A.K., Kandpal T.C. Energetics of coal substitution by briquettes of agricultural residues. *Energy*, 2006, vol. 31, no. 8-9, pp. 1321-1331.

- [10] Janewicz A., Kosturkiewicz B., Magdziarz A., Briquetting lignite-biomass blends to obtain composite solid fuels for combustion purposes. *2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development*. IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 214, 2019, 012053 doi:10.1088/1755-1315/214/1/012053.
- [11] Borowski G. Possibilities of utilization of energy briquettes. *EEEIC International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Karpacz, Poland, May 10-13, 2009. pp. 110-113.
- [12] Srikant, Pimple et al. Roller Compaction Design and Critical Parameters in Drug Formulation and Development: Review. *International Journal of Pharm Tech Research*, 2014-2015, vol.7, No.1, pp 90-98.
- [13] 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). (accessed 12.08.2019.)
- [14] Reynolds G., Ingale R., Roberts R., Kothari S., Gururajan B. Practical application of roller compaction process modeling. *Computers & Chemical Engineering*, 2010, vol.34, no. 7, pp.1049–1057. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2010.03.004>. (accessed 12.08.2019.)
- [15] Guigon P., Simon O. Roll Press design – influence of force feed systems on compaction. *Powder Technology*, 2003, vol. 130, no. 1-3, pp. 41–48.
- [16] Barnett T. Roll-press briquetting: Compacting fines to reduce waste-handling costs. *Powder and bulk engineering*, 2010, vol. 24, no. 10, pp. 1-6. http://www.powderbulk.com/wp-content/uploads/pdf/pbe_201010_058.pdf. (accessed 12.08.2019.)
- Hryniewicz M., Janewicz A. Badania i rozwój konstrukcji prasy walcowej [Research and development of roll press construction]. *Problemy Eksploatacji*, 2008, no. 3, pp. 143- 151. (In Polish).
- [17] Noskov V. A. *Sozdaniye i vnedreniye pressovogo oborudovaniya dlya briketirovaniya melkofraktsionnykh metallurgicheskikh otkhodov*. Dis. dokt. tekhn. nauk [Creation and introduction of press equipment for briquetting of small fraction metallurgical wastes. Dr. tech. sci. diss.]. Dnepropetrovsk, 2001. 318 p. (In Russian).
- [18] Maymur B.N., Petrenko V.I., Lebed' A.T. Sovershenstvovaniye konstruktssii i uluchsheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik valkovykh briketnykh pressov [Improving the design and improving the performance characteristics of roller briquette presses] *Byul. nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii Chernaya metallurgiya*, 2011, no. 12, pp. 67-71. (In Russian).
- [19] Akimov S. V. Analiz problemy avtomatizatsii strukturno-parametricheskogo sinteza [Analysis of the problem of automation of structural-parametric synthesis] *Doklady TUSUR – Proceedings of TUSUR*, 2011, no. 2(24). part. 2, pp. 204–211. (In Russian).
- [20] Rao S.S. *Engineering Optimization: Theory and Practice*. Fourth Edition. John Wiley and Sons, 2009. 813 p. <https://doi.org/10.1002/9780470549124> (accessed 12.08.2019.)
- [21] Saaty, T.L. and 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. 370p.
- [22] Grebenik V.M., Gordiyenko A.V., Tsapko V.K. *Povysheniye nadezhnosti metallurgicheskogo oborudovaniya* [Improving the reliability of metallurgical equipment]. Moscow, Metallurgiya, 1988. 688 p.

Сведения об авторе.



Баюл Константин Васильевич, кандидат технических наук, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной академии наук Украины. Область научных интересов: оптимальный синтез машин и механизмов, исследование технологических и энергосиловых параметров, надежности и ресурса эксплуатации механического оборудования, разработка технологий и оборудования для брикетирования мелкофракционных сырьевых материалов.
E-mail: baiulkonstantin@gmail.com