

UDC 662.763

Zinko R., Ph.D. in Engineering,
Serkiz O. Ph.D. in Engineering,

Lviv Polytechnic National University / Ukraine

STUDY WORK OF ROTARY CRUSHER FOR RECYCLING WASTE

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ

Abstract: Recycling common is grinding to a certain particle size of particles with their subsequent usage. To study processes of crushing was recorded generalized mathematical model of crusher for waste recycling by using the general equations of dynamics of discrete mechanical systems in generalized coordinates. The model will allow to investigate the performance of crusher depending on the structural features of its elements and the flow of grinding. Conducted a series of studies to determine the rational parameters of crusher and design implementation using environment SolidWorks. Developed research methodology and design crushing production machines of various designs gives you the opportunity to determine the effect of various features on performance parameters of the machine.

Keywords: SolidWorks, performance parameters of the machine, design, mathematical model.

INTRODUCTION

Recycling common is grinding to a certain particle size of particles with their subsequent usage. Cost of grinding in total expenditures can reach 70% [1,7]. Improving crushing machines significantly effects on the technological process shredding waste. On the ways quality improvement is creation of calculation methods that would allow fast, low cost to develop and modernize the design of crushing machines. The stage of simulation workflow crushers is an important component of such techniques. There are various simulation packages for simulating structurally complex dynamic system (Simulink, SimMechanics, Matlab, Easy5 (Boeing), the subsystem Build System of the package Matrix, VisSim (Visual Solution), Dymola (Dymasim), Modelica (The Modelica Design Group), OmSim (Lund University), etc. These bags are universal and have powerful tools for modeling and visualization of complex dynamical systems, but to build a model of dynamic system, crushing machine, taking into account all factors and disturbances affecting it, the environment of these packages difficult and requires careful study environment, tools and modeling tools, and time-consuming adjustment

Анотація: При переробці відходів поширеним є подрібнення до певного розміру часток з наступним їх використанням. Для дослідження процесів подрібнення відходів була записана узагальнена математична модель роботи дробарки для переробки відходів з використанням загального рівняння динаміки дискретних механічних систем в узагальнених координатах. Модель дозволить досліджувати експлуатаційні властивості дробарки залежно від конструкційних особливостей її елементів і протікання процесу подрібнення. Проведено цикл досліджень з метою визначення раціональних параметрів дробарки і їх конструктивної реалізації з використанням середовища SolidWorks. Розроблена методика дослідження і проектування подрібнювальних технологічних машин різної конструкції дає можливість визначити вплив різних конструктивних елементів на параметри ефективності машини.

Ключові слова: SolidWorks, параметри ефективності машини, проектування, математична модель.

ВСТУП

При переробці відходів поширеним є подрібнення до певного розміру часток з наступним їх використанням. Витрати на подрібнення в сумі загальних витрат можуть досягати 70% [1,7]. Вдосконалення подрібнювальних машин суттєво впливає на ефективність технологічного процесу подрібнення відходів. Одним з шляхів якісного вдосконалення є створення методик розрахунку, які б дозволяли швидко, з малими затратами розробляти і модернізувати конструкції подрібнювальних машин. Етап моделювання робочих процесів дробарок є важливою складовою таких методик. Відомі різні пакети моделювання, що дозволяють моделювати структурно-складні динамічні системи (Simulink, SimMechanics пакету Matlab, Easy5 (Boeing), підсистема System Build пакету Matrix, VisSim (Visual Solution), Dymola (Dymasim), Modelica (The Modelica Design Group), OmSim (Lund University) та ін. Ці пакети є універсальними і мають потужні засоби для моделювання і візуалізації складних динамічних систем, але побудувати модель динамічної системи подрібнювальної машини з урахуванням усіх чинників і збурень, що впливають на неї, в

Technological Complexes

of simulation (decomposition into elements, relations between elements, the description of behavior, etc.).

Development of methods for design crushing machines with relatively simple mathematical models in conjunction with design environments is an important issue.

Analysis the state of problem

Analyzing the state of theory and practice of grinding [2,4,9,11,14], it's possible to make conclusion about the low efficiency of modern crushing machines, such as known types of these machines don't contain elements which, if perfected, would lead to radical increase of efficiency the grinding process. When creating new models of machines it's advisable to use a computer experiment that allows developer to make efficient use of their resources and time. However, to conduct computer experiments are needed necessary and sufficient level of quality mathematical model the machinery that you design. Development the methods of constructing mathematical models remains an important issue.

The purpose of the article

To study and analyze the performance of rotary crushing machines to develop software that takes into account the peculiarities of its operation.

MAIN ARTICLE

Creating software for research and analysis work of rotary crushing machines allows to select the stages of model building [12,15]:

1. Construction of rotary crushing machine model;
2. Task of managing and revolting actions;
3. Task of simulation parameters (boundary conditions, integration step, output parameters, and so on);
4. Task of numerical values of parameters and initial conditions;
5. Checking the adequacy of model;
6. Conducting a computational experiment.

The idea of using standard function blocks from which to form the structure of particular machine is known, for example, Simulink. Feature the proposed approach is that mathematical models correspond to machines that are structurally similar, but functionally unable to have different purpose. That, for machines with different functional purpose to use similar mathematical models designed for their analogues. The similarity mathematical models is determined on the basis of similarity graphs the structure level connections the generalized coordinates of these models [3]. Unlike Simulink, in which for each machine, need to make model, in

середовищі вказаних пакетів складно, і вимагає ретельного вивчення середовища, засобів і інструментів моделювання, а також трудомісткої підгонки до моделювання (декомпозиція на елементи, виявлення зв'язків між елементами, опис поведінки і т. д.).

Розробка методик проектування подрібнювальних машин з порівняно простішими математичними моделями в поєднанні з середовищами проектування є актуальною проблемою.

Аналіз стану проблеми. Аналізуючи стан теорії і практики подрібнення [2,4,9,11,14], можна зробити висновок щодо низької ефективності роботи сучасних подрібнювальних машин, так як відомі типи цих машин не містять елементів, вдосконалення котрих привело б до радикального підвищення ефективності процесу подрібнення. При створенні нових зразків машин доцільно користатися комп'ютерним експериментом, що дозволяє розробнику ощадливо використовувати свої ресурси і час. Разом з тим, для проведення комп'ютерних експериментів потрібні необхідного та достатнього рівня якісні математичні моделі роботи машин, що проектуються. Розробка методів побудови таких математичних моделей залишається актуальною проблемою.

Мета статті. Для дослідження і аналізу роботи роторних подрібнювальних машин розробити програмне забезпечення, яке враховує особливості його експлуатації.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Створення програмного забезпечення для дослідження і аналізу роботи роторних подрібнювальних машин дозволяє виділити етапи побудови моделі [12,15]:

1. Побудова моделі роторної подрібнювальної машини;
2. Задання управляючих і збурюючих дій;
3. Задання параметрів моделювання (граничних умов, кроку інтегрування, параметрів виведення результатів і так далі);
4. Задання чисельних значень параметрів і початкових умов;
5. Перевірка адекватності моделі;
6. Проведення обчислювального експерименту.

Ідея використовувати типові функціональні блоки, з яких можна формувати структуру тієї чи іншої машини відома, наприклад, для Simulink. Особливістю запропонованого підходу полягає в тому, що математичні моделі відповідають машинам, які структурно подібні між собою, але функціонально можуть мати різне призначення. Тобто, для машин, що мають різне функціональне призначення використовувати подібні математичні моделі розроблені для їх аналогів. Подібність математичних моделей визначається на основі подібності графів структури рівневих зв'язків

case of similarity graph design, can use the same model, just by entering its input parameters inherent to investigated machine.

1. The mechanical system of rotary crushing machines belong to systems with discrete elastic and inertial parameters. Differential equations the motion mechanical elements of such systems can be formed using the principle of D'Alembert [6]. In this case the inertial forces and moments in equation are determined from absolute accelerations. The latter simply determines if coordinates of bodies mechanical system are the absolute. In case of using relative coordinates the bodies system there are serious difficulties in determining absolute speed up need for repeated use of theorem about the Coriolis acceleration the material body in complex movement. In our case, the components of studied machines are in complex motion relative to three or more reference systems. Therefore, to write the equations of motion inertial elements in workflows, it is better to use Lagrange equations of second sort [6], which includes the kinetic energy of mechanical system, which is defined by their absolute speed. In writing the equations used generally accepted for studies functioning machines assumption [6,8,13]:

- Basic elements of machines are hard inertial bodies;
- The inertia of drive elements is given to executive elements;
- The drive elements have tangential compliance, which depends on the angle of tightening;
- Use a flat design scheme;
- Values of resistance forces functionally dependent on gravitational forces and relative speeds of movement machine elements;
- Characteristic of drive machines is accepted an ideal, that, its power in operating range almost constant value.

To write the Lagrange equations of used constructive scheme the rotary crushing machine, and on its basis graph is built structure the constructive scheme of this machine (Fig.1). Below graph structure of constructive scheme the machine understand this graph, which shows relationships of elements machine with regard to its structure and external influences [3]. The schema element «link» appears in circle, and the rigid kinematic connection between two elements – straight line, elastic tie – wavy. Double-headed arrow indicates possible movement. The entry of machine structure using graphs depersonalizing design of machine enables the analysis this design regardless of its purpose.

узагальнених координат цих моделей [3]. На відміну від Simulink, в якому для кожної машини, потрібно скласти свою модель, у випадку подібності графів конструкції, можна використовувати ту ж модель, тільки ввівши для її роботи вхідні параметри, що притаманні досліджуваній машині.

1. Механічні системи роторних подрібнювальних машин відносять до систем із дискретними інерційними та пружними параметрами. Диференціальні рівняння руху елементів таких механічних систем можна скласти, використовуючи принцип Даламбера [6]. При цьому інерційні сили і моменти, які входять у рівняння, визначаються з абсолютних прискорень. Останні достатньо просто визначаються, якщо координати тіл механічної системи є абсолютними. У випадку використання відносних координат тіл системи виникають серйозні ускладнення при визначенні абсолютних прискорень через необхідність багаторазового використання теореми Коріоліса про прискорення матеріальних тіл у складному русі. У нашому випадку складові досліджуваних машин перебувають у складному русі відносно трьох і більше систем відліку. Тому для запису рівнянь руху інерційних елементів у розрахункових схемах, вигідніше використати рівняння Лагранжа II-го роду [6], в яке входить кінетична енергія механічної системи, яка визначається через їх абсолютні швидкості. При записі рівнянь використовувалися загально прийняті для досліджень функціонування машин припущення [6,8,13]:

- Основні елементи машин – це жорсткі інерційні тіла;
- Інерційність елементів приводу приведена до виконавчих елементів;
- Елементи приводу можуть мати тангенціальну податливість, яка залежить від кута їх закручення;
- Використовується плоска розрахункова схема;
- Величини сил опору функціонально залежать від гравітаційних сил та від відносних швидкостей переміщення елементів машини;
- Характеристика приводу машин приймається ідеальною, тобто його потужність в робочому діапазоні практично стала величина.

Для запису рівнянь Лагранжа використовується конструктивна схема роторної подрібнювальної машини та на її основі будується граф структури конструктивної схеми цієї машини (рис.1). Під графом структури конструктивної схеми машини розуміємо такий граф, який показує зв'язками елементи машини з урахуванням її будови і зовнішніх впливів [3]. Елемент схеми «ланка» відображається кружком, а жорсткий кінематичний зв'язок між двома елементами – прямою лінією, пружний зв'язок – хвилястою. Двостороння стрілка вказує можливі переміщення. Запис структури машини за допомогою графів знеособлює конструкцію машини і дає можливість аналізу такої

Technological Complexes

конструкції незалежно від її призначення.

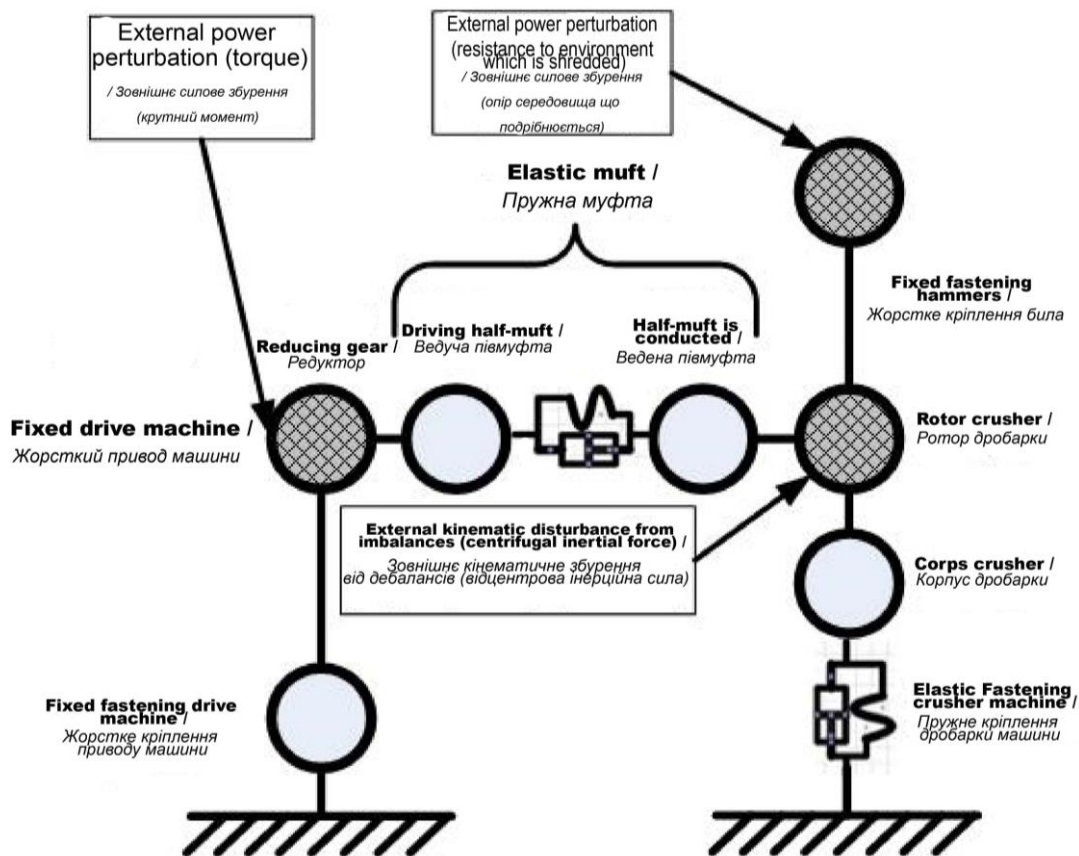


Fig. 1. Graph structure the design diagram of rotary crushing machine with crusher on elastically secured base and rigidly fixed hard drive, authors'/ *Граф структури конструктивної схеми роторної подрібнювальної машини з дробаркою на пружно закріпленій основі та жорстко закріпленим жорстким приводом, авторська розробка*

2. Examines set of input actions on system: resistance of medium, the speed rotor, specified output. Also, taken into account is set of environmental actions: forces from elastic supports; gravity; moments resistance to shredding material; moment from elastic deformations of elastic coupling, connecting rotary shaft crusher with output shaft the machine drive.

For modeling influence of external (input and environment) forces in study of rotary grinding machine, can use simple deterministic functions: harmonic signal, pulse, linear function, step action. External actions can give as arrays of values t and $f(t)$ with interpolation values at intermediate points; or values in projections on axis of coordinate systems.

3. Set simulation parameters (boundary conditions, integration step, parameters of output and so on) is implemented in programming environment.

4. Common initial condition motion of machine is movement from state of equilibrium resting condition, in which all generalized velocities are equal to zero, and values of generalized coordinates

2. Розглядається сукупність вхідних дій на систему: опір середовища, швидкість ротора, задана потужність. Також враховується сукупність дій довкілля: сили з боку пружних опор; сили тяжіння; моменти опору матеріалу, що подрібнюється; момент від пружних деформацій пружної муфти, що з'єднує роторний вал дробарки з вихідним валом приводу машини.

Для моделювання впливу зовнішніх (вхідних і довкілля) сил при дослідженні роторної подрібнювальної машини можна використовувати прості детерміновані функції: гармонійний сигнал, імпульс, лінійну функцію, ступінчасту дію. Зовнішні дії можуть задаватися у вигляді масивів значень t і $f(t)$ з інтерполяцією значень в проміжних точках; або значеннями в проекціях на осі систем координат.

3. Задання параметрів моделювання (граничних умов, кроку інтегрування, параметрів виведення результатів і так далі) здійснюється в середовищі програмування.

4. Поширеною початковою умовою руху машини є її рух зі стану зрівноваженого спокою – стану, при якому всі узагальнені швидкості дорівнюють нулю, а

Technological Complexes

such that external force is balanced by reactions of elastic supports framework. The question then arises of finding these values the generalized coordinates. In this case, although coordinates are independent among themselves, their initial values are interrelated.

5. Adequacy the mathematical model is correspondence results of computing experiment the behavior real object. Adequacy is determined by:

A. Precision (closeness of values, minimum of approval values);

For study of machinery were considered typical modes of operation, for example, when the engine is off. It was determined error of basic output characteristics. In case of cars moving to their basic elements didn't exceed 10^{-6} m, speed – 10^{-5} m/s, acceleration -- 10^{-3} m/s² force in elastic elements don't exceed 10^2 N.

B. Consistency (closeness of process, apparently).

Considered trivial cases are known physical processes, for example, description non-rotation rotor crusher (statics) by system of differential equations (the dynamics).

When constructing an algorithm for checking adequacy it is necessary to take into account both the features of model and scope of its application:

– *limited admissible range of parameters system (due to limited field of operation the facility in which it is modeled).*

To study the operation crusher used method of solving the Cauchy problem for systems of differential equations first order. Therefore, in every part of Mathcad programs were executed the transition from system differential equations of second order systems of differential equations first order, solved with respect to these derivatives. The integration obtained system of equations was performed by RADAUS algorithm for stiff systems of differential equations using standard Mathcad functions: Radaus (y_0, t_0, t_1, M, F) [5]. In study of crusher used discrete models with the presence point mass because the geometric dimensions of machine elements is comparatively small relative to gravitational values environment. Depending on initial conditions the movement of machine can simulate various driving modes: in particular acceleration, braking, reversing the drive torque; slip in clutches drive machines, etc.

– *compliance mathematical description of conditions real and computational experiments.*

When creating mathematical models there are various ways of checking for adequacy the playback respective technical systems. To check the adequacy of upgraded models offer mathematically – computer method with three-level test

(Fig. 2): using the model trivial cases, the dynamics equations of balance – static, comparison with results obtained by other researchers. This is the level of quality conformity models. Following the

значення узагальнених координат такі, що зовнішні сили зрівноважені реакціями пружних опор основи. Тоді постає питання про знаходження цих значень узагальнених координат. У цьому випадку, хоча самі координати між собою є незалежними, їх початкові значення взаємопов'язані.

5. Адекватність математичної моделі – це відповідність результатів обчислювального експерименту поведінці реального об'єкту. Адекватність визначається:

A. Точністю (близькість значень, мінімальність значень узгоджень);

Для досліджуваних машин розглядалися типові режими роботи, наприклад, коли двигун виключений. При цьому визначалася похибка основних вихідних характеристик. У випадку дослідження машин переміщення їх основних елементів не перевищували 10^{-6} м, швидкості переміщень – 10^{-5} м/с, пришвидження – 10^{-3} м/с², зусилля в пружних елементах не перевищувало 10^2 Н.

B. Несуперечність (близькість процесів, очевидність).

Розглядалися тривіальні випадки відомих фізичних процесів, наприклад, опис необертання ротора дробарки (статика) за допомогою системи диференціальних рівнянь (динаміка).

При побудові алгоритму перевірки адекватності необхідно враховувати як особливості моделі, так і сферу її застосування:

– *обмеженість допустимого діапазону зміни параметрів системи (внаслідок обмеженої області функціонування об'єкта, в якій він моделюється).* Для дослідження функціонування дробарки використовувався метод розв'язання задачі Коші для систем диференціальних рівнянь першого порядку. Тому в кожній частині Mathcad-програми виконувався перехід від системи диференціальних рівнянь другого порядку до систем диференціальних рівнянь першого порядку, розв'язаних відносно цих похідних. Інтегрування отриманих систем рівнянь виконувалося за алгоритмом RADAUS для жорстких систем диференціальних рівнянь із використанням стандартної Mathcad-функції: Radaus (y_0, t_0, t_1, M, F) [5]. При дослідженні дробарки використовувалися дискретні моделі з наявністю точкової маси оскільки геометричні розміри елементів машин порівняно невеликі у відношенні до гравітаційних значень середовища. Залежно від початкових умов руху машини можна моделювати різні режими руху: зокрема розгін, гальмування, реверсування моменту приводу; проковзування в муфтах приводу машин тощо.

– *відповідність математичного опису умов реального і обчислювального експериментів.* При створенні математичних моделей відомі різні способи перевірки їх на адекватність відтворення роботи відповідних технічних систем. Для перевірки адекватності моделей пропонується

Technological Complexes

third level – partial conduct the experiment, are determined only when required for operation model, parameters and characteristics the studied machine is level of quantitative agreement.

модернізований математично – комп'ютерний метод з трирівневою перевіркою (рис. 2): використання типових тривіальних випадків, опис рівняннями динаміки стану рівноваги – статички, співставлення з результатами, отриманими іншими дослідниками. Це рівень якісної відповідності моделей. Наступний третій рівень – проведення часткового натурного експерименту, коли визначаються тільки необхідні для роботи моделі параметри та характеристики досліджуваної машини – це рівень кількісної відповідності.

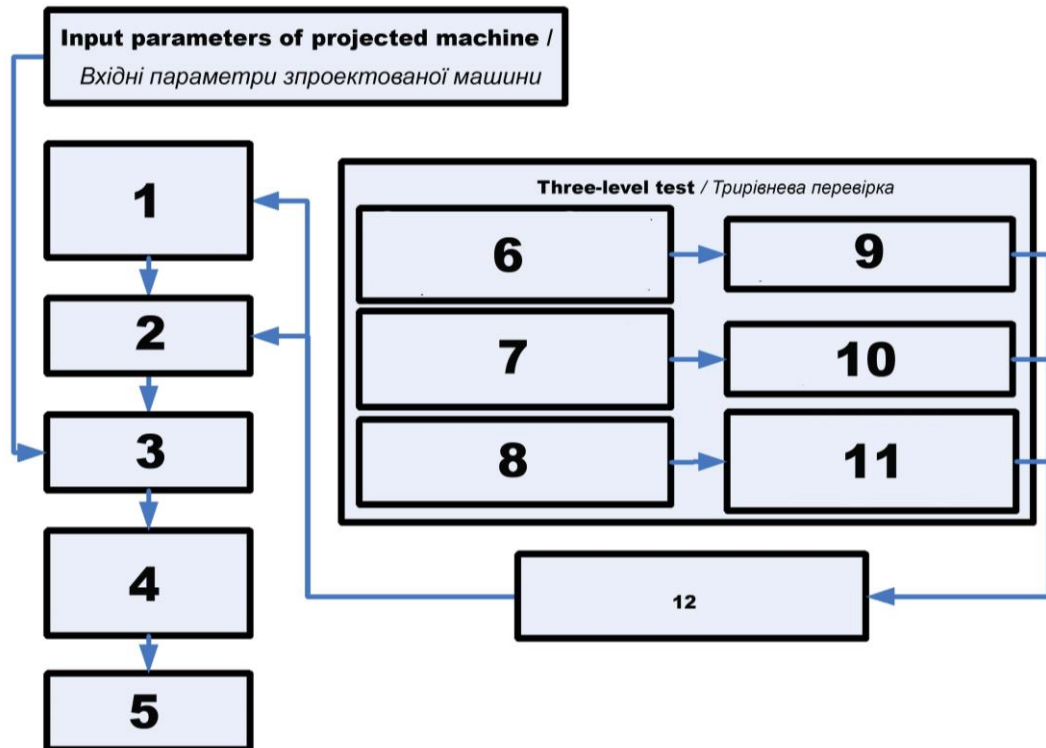


Fig. 2. Modernized mathematical - computer method of research the mechanisms and machine nodes, authors: 1 - mathematical model of operation machine; 2 - computer program; 3 - computer research; 4 - results of computer researches; 5 - conclusions and recommendations; 6 - parameters trivial cases work designed; 7 - parameters well-known researches of similar; 8 - limited physical parameters of experiment; 9 - results of trivial cases; 10 - results of known studies; 11 - results of limited physical experiment; 12 - results of three-level check; / *Модернізований математично – комп'ютерний метод дослідження роботи механізмів та вузлів машини, авторська розробка: 1 - математична модель роботи машини; 2 – комп'ютерна програма 3 – комп'ютерні дослідження; 4 – результати комп'ютерних досліджень; 5 – висновки і рекомендації; 6 – параметри тривіальних випадків роботи зпроектованих машин; 7- параметри відомих досліджень подібних машин; 8 – Параметри обмеженого фізичного експерименту; 9 – результати тривіальних випадків; 10 – результати відомих досліджень; 11 – результати обмеженого фізичного експерименту; 12 – результати трирівневої перевірки;*

6. Defining the evaluation considered totality of output characteristics system: dependence of engine power and performance crusher from design parameters, which then became the basis for design and calculation.

Constructive realization of obtained parameters was carried out using the environment SolidWorks (Fig. 3).

6. Визначальною в оцінці вважалася сукупність вихідних характеристик системи: залежність потужності двигуна і продуктивності дробарки від конструктивних параметрів, які потім стали основою для проектного і конструкторського розрахунку.

Конструктивна реалізація отриманих параметрів і характеристик здійснювалася з використанням середовища SolidWorks (рис. 3).

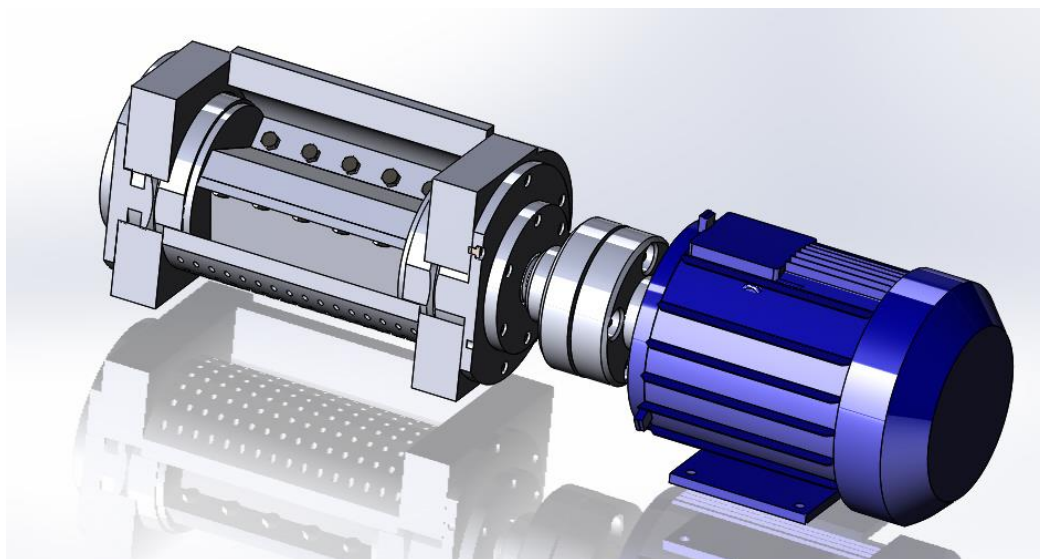


Fig. 3. Result of use the developed method of research and design rotary crushing machines authors' /
*Результат використання розробленої методики дослідження і проектування роторних
подрібнювальних машин, авторська розробка*

CONCLUSIONS

Developed research methodology and design crushing machines of different design makes it possible to determine the influence of some constructive elements on the performance parameters of machine. Constructive realization of obtained parameters was carried out using the environment SolidWorks.

REFERENCES

- [1] Akulov, V.I.(1996). *About efficiency factors of grinding processes and specific energy consumption*. Chemical Industry, vol. 10, 7-10.
- [2] Aristarkhov, D.V. & Zhuravsky, H.I. (2001). *Technologies processing of waste plant biomass, technical rubber and plastics*. Engineering Physical Journal, vol. 6, 152- 156.
- [3] Burmistsenkov, O. P., Misyats, V. P., Panasyuk, I. V. & Zlottenko, B. M. (2012). *Processing of waste rubber and thermoplastic materials* [Monograph]. Kyiv.: Department.
- [4] Demidov, A.R. & Tchirkov, S.E. (1969). *Methods of grinding and methods for assessing their effectiveness*. Moscow: Goskomzaga USSR.
- [5] Zinko, R.V. (2014). *Morphological environment for study of technical systems* [Monograph]. Lviv: Lviv Polytechnic National University Publishing House.
- [6] Zinko, R.V. & Serkiz, O.R. (2016). *Substantiation parameters of grinding machine for waste processing*. Technological complexes, vol.12, 5 - 11.
- [7] Krymskaya, Yu. A., Titova, E.I. & Yachynova, S.N. (2013). *Construction of mathematical models in applied problems*. Young scientist, vol. 12, 3-6.

ВИСНОВКИ

Розроблена методика дослідження і проектування подрібнювальних машин різної конструкції дає можливість визначити вплив низки конструктивних елементів на параметри ефективності машини. Конструктивна реалізація отриманих параметрів і характеристик здійснювалася з використанням середовища SolidWorks.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1] Акулов В.И. О коэффициентах полезного действия процессов измельчения и удельных энергозатрат / В.И. Акулов [Текст] // Химическая промышленность. – 1996. – № 10. – С. 7-10.
- [2] Аристархов Д.В., Журавский Г.И. и др. Технологии переработки отходов растительной биомассы, технической резины и пластмассы / Д.В. Аристархов, Г.И. Журавский [Текст] // Инженерно-физический журнал. – 2001. – № 6. – С. 152- 156.
- [3] Переробка відходів гуми та термопластичних матеріалів: монографія / О. П. Бурмістенков, В. П. Місяць, І. В. Панасюк, Б. М. Злотенко. – К.: Кафедра, 2012. – 240 с.
- [4] Демидов А.Р. Способы измельчения и методы оценки их эффективности / А.Р. Демидов, С.Е. Чирков. – М: ЦИНТИ Госкомзага СССР, 1969. – 240 с.
- [5] Зінько Р.В. Морфологічне середовище для дослідження технічних систем: монографія / Р.В.Зінько. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 386 с.
- [6] Зінько Р.В. Обґрунтування параметрів подрібнювальної машини для переробки відходів/ Р. В. Зінько, О. Р. Серкіз [Текст] // Технологічні

Technological Complexes

- [8] Kozin, R.H. (2010). *Mathematical modeling. Examples of problem solving*. Moscow.
- [9] Company The MathWorks (2017). *Home page*. Retrieved from www.mathworks.com.
- [10] Lurie, A.I. (1961). *Analytical Mechanics*. Moscow.
- [11] Misyats, V.P. (2007). *Analytical study of process kinetics of reduction in size of waste polymer in rotary crusher*. Visnyk KNUTD, vol. 1, 35-39.
- [12] Nikolenko, A.M., Kindrachuk, M.V., Sysun, Ye.A. & Kornienko, A.O. (2004). *Analysis the technology of crushing brittle materials*. Physics and chemistry of solid state, vol. 1, 204-208.
- [13] Semerak, F., Korunyak, P., Lozovy, I. & Borovets, V. (1998). *Mathematical model work of hammer type vibratory crushing machine*. Visnyk Lviv DAU: Agroengineering researches, vol. 2, 99-102.
- [14] Semkovych, O.D., Koruniak, P.S., Nishchenko, I.O. & Rayvysh, H.M. (1998). *Impact crusher*. Patent. Ukraine 22533A.
- [15] Skiba, M.E., Myhaylovskyy, Yu.B. & Holovko, H.S. (2003). *Simulation of process of composite materials using the finite element method*. Visnyk of Technological University in Podillya, vol. 6, 7-10.
- комплекси – 2016.– №1/2(12). С. 5 – 11.
- [7] Крымская Ю. А. Построение математических моделей в прикладных задачах / Ю. А. Крымская, Е. И. Титова, С. Н. Ячинова [Текст] // Молодой ученый.– 2013.– №12.– С. 3-6.
- [8] Козин Р. Г. Математическое моделирование. Примеры решения задач.- М.: МИФИ, 2010.– 177 с.
- [9] Компания The MathWorks Inc. Режим доступа: www.mathworks.com.
- [10] Лурье А.И. Аналитическая механика / А.И. Лурье. – М.: Физматгиз, 1961. – 824с.
- [11] Місяць В.П. Аналітичне дослідження кінетики процесу подрібнення відходів полімерів в роторних дробарках [Текст] // Вісник КНУТД. – 2007. - № 1. - С.35-39.
- [12] Ніколенко А.М. Аналіз технології подрібнення крихких матеріалів [Текст] / А.М. Ніколенко, М.В. Кіндрачук, Є.А. Сисун, А.О. Корнієнко // Фізика і хімія твердого тіла. – 2004. –Т. 5, № 1. –С. 204-208.
- [13] Семерак Ф. Математична модель роботи віброударної подрібнювальної машини молоткового типу / Ф. Семерак, П. Коруняк, І. Лозовий, В. Боровець [Текст] // Вісник Львівського ДАУ: Агроінженерні дослідження. – 1998. – № 2. – С.99-102.
- [14] Пат. 22533А Україна, В02С13/00. Дробарка ударної дії. / Семкович О.Д., Коруняк П.С., Ніщенко І.О., Райвич Г.М. (Україна) – № 97020459; Заявл. 04.02.97; Опуб. 17.03.98.
- [15] Скиба М.Є. Моделювання процесу подрібнення композиційних матеріалів з використанням методу скінчених елементів [Текст] /М.Є. Скиба, Ю.Б.Михайловський, Г.С.Головка // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 6. –С. 7-10.