



УДК 510.5:621

**ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
КОМПЛЕКСУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ***Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович д.т.н., професор**Вінницький національний технічний університет**Веселовська Наталія Ростиславівна д.т.н., професор**Зелінська Оксана Владиславівна к.т.н., ст. викладач**Вінницький національний аграрний університет**Веселовський Ярослав Петрович аспірант**Вінницький національний технічний університет***Iskovych-Lototskyu R.***Vinnitsia National Technical University***Veselovska N.****Zelinska O.***Vinnitsia National Agrarian University***Veselovsky Y.***Vinnitsia National Technical University*

**Анотація:** одним з актуальних завдань є розвиток системного підходу до проблеми підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні. Під технологічним комплексом розуміємо складну систему, яка характеризується структурними та функціональними зв'язками між складовими простіших систем та всередині них.

Саме системний підхід передбачає послідовний перехід від загального до часткового, коли в основі розгляду лежить мета. Побудова моделі технічної системи належить до числа системних задач, при розв'язуванні яких синтезують розв'язки на основі великої кількості початкових умов. Використання системного підходу в цих умовах дозволяє не тільки побудувати модель реальної системи, але й на базі цієї моделі вибрати необхідну кількість інформації для керування системою, оцінити показники її функціонування і тим самим на базі моделювання знайти найбільш ефективний варіант побудови та оптимальний режим функціонування реальної системи.

**Ключові слова:** система, системний підхід, вібропресові машини, гідроімпульсний привід, ефективність, робочі режими пресування, віброударне пресування.

**Вступ**

Під технологічним комплексом розуміємо складну систему, яка характеризується структурними та функціональними зв'язками між складовими простіших систем та всередині них.

Система складається з елементів (складових частин, що розрізняються властивостями, які виявляються при взаємодії), з'єднаних зв'язками (лініями передачі одиниць або потоків чого-небудь), які вступають у певні відносини (умови і способи реалізації властивостей елементів) між собою та із зовнішнім середовищем, щоб здійснити процес (послідовність дій для зміни або підтримки стану) і виконати функцію системи (призначення, роль).

В досліджуваному технологічному комплексі для віброударного пресування ми можемо виділити три основні взаємопов'язані системи: об'єкт обробки (система I), робочий процес (система II) і машина (система III), які об'єднуються в загальну систему технологічного комплексу.

Використання системного підходу дозволяє побудувати модель реальної системи, та вибрати необхідну кількість інформації для керування системою, оцінити показники її функціонування і тим самим на базі моделювання знайти найбільш ефективний варіант побудови та оптимальний режим функціонування реальної системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

В роботі [1] сформовано основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. В зазначених роботах [1-4] даються основні напрямки досліджень в питаннях формоутворення заготовок, визначені проблеми формоутворення заготовок порошкових матеріалів. В [7] розглянуто системний підхід до ІВПМ.

**Мета досліджень**

Метою даного дослідження є підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу.

**Результати досліджень**

В досліджуваному технологічному комплексі для віброударного пресування ми можемо виділити три основні взаємопов'язані системи: об'єкт обробки (система I), робочий процес (система II) і машина (система III), які об'єднуються в загальну систему технологічного комплексу.

Охарактеризуємо коротко кожен із систем технологічного комплексу.

Об'єкт обробки (порошковий матеріал) входить до нашого технологічного комплексу, якого ми позначили системою I. Система I із сукупності перерахованих параметрів заготовки показує, що ряд з них в процесі ВУП змінюється від значень, що характеризують початковий стан заготовки ( $i = 0$ ) в підсистемі I.1, до значень, що характеризують її кінцевий стан ( $i = k$ ) в підсистемі I.2.3 метою скорочення загального числа параметрів за умови збереження потрібної інформації про стан заготовки (система I), а також усунення другорядних параметрів були виконані такі додаткові заходи:

- введено параметр  $\vec{R}_i = \frac{S_{0i}}{\Pi_i}$ , що характеризує геометричну форму заготовки за аналогією з

параметром «гідралічний радіус» [1], і визначено його як «геометричний фактор» ( $R_i$ , м) для

заготовок простої конфігурації  $\vec{R}_i = h_{zi}$ ; - введено поняття відносної щільності  $\vec{c} = \frac{c_{3k}}{c_{30}}$ , що

дозволяє охарактеризувати кінцевий стан заготовки у порівнянні із початковим і розглядати «геометричний фактор»  $R_0$  тільки для початкового стану;

- виключено із сукупності параметрів системи I параметр  $K_{zi}$ , який разом із параметрами  $\vec{R}_i$  (або  $h_{zi}$ ) та  $\rho_{zi}$  визначає фактор часу ( $\tau_0$ , с) – тривалість зовнішнього імпульсного силового впливу на заготовку, що є основним параметром робочого процесу (система II), оскільки при об'єднанні параметрів систем ІВПМ один з них буде другорядним.

В результаті реалізації наведених вище заходів число основних параметрів системи I скоротилося до ряду:  $\vec{\rho}, m_{3az}, a, R_0, S_{3az}$ . Для виділених основних параметрів системи I таким комплексним параметром може бути добуток  $R_0 S_{3az}$  (або  $h_{30} S_{3az}$ ), що характеризує початковий об'єм заготовки. З урахуванням параметра  $R_0 S_{3az}$  для заданої величини  $\rho_{30}$  не важко визначити  $m_{3az}$ . У зв'язку з вищевикладеним, скорочену сукупність параметрів системи I запишемо у вигляді  $l$

$$\left\{ \vec{\rho}, a, R_0, S_{3az} \right\}.$$

Робочий режим ІВПМ в процесі ВУП можна охарактеризувати сукупністю механічних параметрів перехідних процесів, які виникають в робочій рідині ГПП і при взаємодії рухомих ланок ІВПМ в результаті періодичного спрацьовування вібробудувача [1].

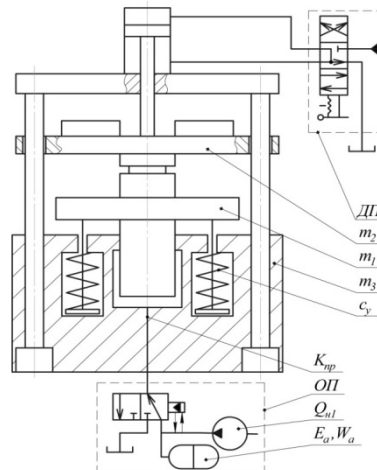
Можливі співвідношення цих параметрів були встановлені на лабораторних вібропресах ІВПМ-1,5 та ІВПМ-5Л [1]. Враховувались такі механічні параметри: переміщення робочого столу; переміщення рухомої поперечини; зусилля навантаження заготовки з боку інерційного вантажу; тиск в порожнині одноциклового гідроаккумулятора; тиск в порожнині привідного гідроциліндра. Різний характер навантаження заготовки на ІВПМ-5Л забезпечувався збільшенням або зменшенням мас змінних інерційних вантажів, використанням додаткового статичного притискання, зміною подачі насоса і тиску налаштування спрацьовування вібробудувача ГПП. Дослідження робочих режимів ІВПМ проводилося для постійної умовної жорсткості заготовки, досягнутої після завершення процесу її формоутворення. Характер навантаження заготовки було описано у вигляді періодичного процесу з постійними амплітудними значеннями зусиль і спрощено задачу аналізу робочих режимів ІВПМ [1-3].

Режим віброударного пресування, в нашому дослідженні, є системою II (робочий режим), який характеризує спосіб і режим силового впливу системи III на систему I. Виділимо основні параметри системи II. Тому до даних параметрів системи II, відносяться: тривалість ударного імпульсу  $\tau_0$  (с), зусилля додаткового статичного навантаження заготовки ( $P_{cm}$ , Н), максимальне зусилля навантаження заготовки ( $F_{z,max}$ , Н) в процесі ВУП заготовки, загальне число ходів робочого столу



ІВПМ ( $n$ ) і частоту ( $f_p$ , Гц) їх здійснення. Причому параметри  $n$  та  $f_p$  можна об'єднати і описати одним параметром, що характеризує повний час робочого процесу ( $t_{\text{вун}} = n \cdot f_p^{-1}$ , с). Сукупність основних параметрів системи П можна подати у вигляді  $\{F_{\text{з. max}}, P_{\text{см}}, f_p, t_{\text{вун}}\}$  [1].

Дослідження інерційного вібропрес-молота створеного за результатами досліджень авторів [1], показало універсальність даного обладнання при здійсненні пресування заготовок складної конфігурації і великих габаритів з карбід-кремнієвих порошкових матеріалів, його високу ефективність і виявило необхідність проведення подальших робіт із забезпечення широкого промислового впровадження ІВПМ. Аналізуючи конструктивні схеми ІВПМ та взаємодії їхніх рухомих ланок з урахуванням особливостей використання основного і додаткового гідроприводів складено узагальнену структурну схему ІВПМ (рис. 1).



**Рис. 1. Структурна схема ІВПМ:  $E_a$  – енергія одноциклового гідроаккумулятора;  $W_a$  – об'єм гідросистеми;  $K_{np}$  – коефіцієнт пружності;  $Q_{n1}$  – подача робочої рідини від насоса;  $p_1, p_2$  – тиск спрацьовування вібробудувача;  $m_1, m_2, m_3$  – маса рухомих ланок;  $c_\gamma$  – жорсткість пружних елементів. ОП – основний привід, ДП – допоміжний привід**

Аналіз структурної схеми показує, що ІВПМ являє собою гідромеханічну систему, що складається з твердих елементів в поєднанні з рідинними елементами. Вибір способу підключення вібробудувача в ГПП вібропресового обладнання визначається заданим режимом інерційного навантаження і вимогами, що висуваються до параметрів генерованих імпульсів тиску робочої рідини.

ІВПМ, як зазначалось, є системою технологічного комплексу – система П. На основі аналізу системи П виділили параметри, що характеризується параметрами ГПП  $E_a, W_a, K_{np}, Q_{n1}$ , вібробудувача та системи рухомих ланок  $m_1, m_2, m_3, c_\gamma, c_\epsilon$ . Параметри прес-форми аналогічні геометричним параметрам заготовки і враховуються в системі І (об'єкт обробки). Відомі аналітичні залежності [3], що установлюють зв'язок між вказаними параметрами системи П, дозволяють однозначно обрати серед них основні. Використовуючи даний підхід, розглянемо комплекс параметрів  $\{E_a, W_a, p_1, K_{np}\}$ .

В даному комплексі будь-які три параметри однозначно визначають четвертий, який можна виділити в число основних параметрів системи П. До основних параметрів системи П необхідно віднести маси  $m_1, m_2$  та жорсткість пружин повернення  $c_\gamma$ . При цьому вважаємо, що маса станини  $m_3$  та жорсткість віброізоляторів  $c_\epsilon$  достатньо великі і не впливають на хід робочого процесу. Використовуючи відношення  $m_2/m_1 = \alpha$  ( $m_2 = \alpha m_1$ ), параметри конструкції ІВПМ при незмінній масі робочого столу доцільно записати як  $m_1, \alpha m_1, c_\gamma$ . Для системи П скорочена сукупність основних параметрів можна записати  $\{E_a, m_1, \alpha m_1, c_\gamma\}$ .

Конструктивне виконання моделі ІВПМ та опис її параметрів дає можливість вибору різних режимів інерційного навантаження під час відпрацювання технологічних процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів способом ВУП, що дозволяє оцінити ефективність їхнього застосування

Розвиток системного підходу до проблеми підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні при раціональному поєднанні фундаментальних рішень питань теорії надійності і прикладних завдань



підвищення ресурсу машин і конструкцій є одним з актуальних і найважливіших завдань.

Саме системний підхід передбачає послідовний перехід від загального до часткового, коли в основі розгляду лежить мета. Побудова моделі технічної системи належить до числа системних задач, при розв'язуванні яких синтезують розв'язки на основі великої кількості початкових умов. Використання системного підходу в цих умовах дозволяє не тільки побудувати модель реальної системи, але й на базі цієї моделі вибрати необхідну кількість інформації для керування системою, оцінити показники її функціонування і тим самим на базі моделювання знайти найбільш ефективний варіант побудови та оптимальний режим функціонування реальної системи. Відповідно до системного підходу в процесах створення й дослідження складних технічних систем моделювання, якою є наша система, їхніх елементів і функціональних підсистем виконується в декілька етапів і на різних рівнях залежно від ступеня деталізації системи. Методика моделювання безпосередньо залежить від рівня моделювання. Кожному рівню моделювання відповідає певне поняття системи, елемента системи, законів функціонування елементів системи в цілому і дії зовнішніх навантажень. Залежно від ступеня деталізації опису складних технічних систем та їхніх елементів можна виділити три основних рівні моделювання:

1. Рівень структурного або імітаційного моделювання складних систем із використанням їхніх алгоритмічних моделей (моделюючих алгоритмів) і застосування спеціалізованих мов моделювання, теорій множин, алгоритмів, графів, масового обслуговування, статистичного моделювання;

2. Рівень логічного моделювання функціональних схем елементів і вузлів складних систем, моделі яких подаються у вигляді рівнянь безпосередніх зв'язків (логічних рівнянь) і будуються із застосуванням апарату двозначної або багатозначної алгебри логіки;

3. Рівень кількісного моделювання принципів схем елементів складних систем, моделі яких становлять системи лінійних та нелінійних алгебраїчних, диференціальних або інтегро-диференціальних рівнянь, що досліджуються із застосуванням методів лінійної і нелінійної алгебри, методів функціонального аналізу, теорії ймовірності й математичної статистики. Сукупність моделей технічної системи на структурному, логічному і кількісному рівнях моделювання являє собою ієрархічну систему, яка розкриває взаємозв'язок різних сторін опису технічної системи й забезпечує системний взаємозв'язок елементів і властивостей на всіх стадіях її створення або дослідження.

Метод оцінювання стану складних систем на основі нечітких множин полягає у формуванні множини початкових вхідних параметрів, з них формування множини оцінних параметрів. Далі відбувається формування складних узагальнених показників оцінювання ефективності всієї системи з множини можливих станів.

### Висновки

Використання системного підходу дозволяє побудувати модель реальної системи, та вибрати необхідну кількість інформації для керування системою, оцінити показники її функціонування і тим самим на базі моделювання знайти найбільш ефективний варіант побудови та оптимальний режим функціонування реальної системи.

### Список літератури

1. Разработка и исследование вибрационного импульсного пресса для формообразования заготовок порошковой металлургии: отчет НИИР / Винницкий политехнический институт. Руководитель И. Б. Матвеев. – № ГР76026910 ; Инв № Б491804. – Винница, 1976. – 122 с.: ил. – Отв. исполн. Р. Д. Искович-Лотоцкий.
2. Искович-Лотоцкий Р. Д. Основы теории расчёта та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування : монографія / Р. Д. Искович-Лотоцкий – Винница : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2006. – 338 с.
3. Искович-Лотоцкий Р. Д. Машины вибрационного и виброударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. В. Матвеев, В. А. Крат. – Киев : Техніка, 1982. – 208 с
4. Волошин-Челпан Э. К. Определение оптимальных режимов вибрационного формования / Э. К. Волошин-Челпан, Г. Н. Петров // Тр. Всесоюз. научно-техн., конф. по металлокерамическим материалам и изделиям. – Ереван, 1973. – С. 105–108.
5. А.с. 429877 СССР, М.Кл. В21j 9/06. Гидравлический инерционный вибропресс /И.В. Матвеев, Р.Д. Искович-Лотоцкий, В.А. Пишенин (СССР). – №1793622/25-27; заявлено 31.05.72; опубл. 30.05.74, Бюл. №20. – 2 с.
6. Зелінська О.В. Системний підхід до підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів / О.В. Зелінська, Р.Д. Искович-Лотоцкий // Матеріали XLV Науково-технічної конференції факультету машинобудування та транспорту (2016) – С.23-28.
7. Искович-Лотоцкий Р. Д. Підвищення ефективності функціонування вібропреса з гідроімпульсним приводом / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Всеукраїнський НТЖ «Вібрації



в техніці та технологіях». – 2015. – № 2(78). – С. 75–79.

8. Iskovych-Lototsky R. Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials / R. Iskovych-Lototsky, O. Zelinska, Y. Ivanchuk, N. Veselovska // East European Journal of advanced technologies. Issue 1/1 (85) - 2017 C. 9-17

### References

1. Razrabotka y yssledovanye vybratsyonnoho ympulsnoho pressa dlia formoobrazovaniya zahotvok poroshkovoi metallurhyy : otchet NYR / Vynnytskyi polytekhnicheskyy ynstytut. Rukovodytel Y. B. Matveev. – № HR76026910 ; Yny № B491804. – Vynnytsya, 1976. – 122 s.: yl. – Otv. yspoln. R. D. Yskovych-Lototskyi.
2. Iskovych-Lototskyi R. D. Osnovy teorii rozrakhunku ta rozrobka protsesiv i obladnannia dlia vibroudarnoho presuvannia : monohrafiia / R. D. Iskovych-Lototskyi – Vinnytsia : UNIVERSUM–Vinnytsia, 2006. – 338 s.
3. Yskovych-Lototskyi R. D. Mashyny vybratsyonnoho y vibroudarnoho deistviya / R. D. Yskovych-Lototskyi, Y. V. Matveev, V. A. Krat. – Kyev : Tekhnika, 1982. – 208 s
4. Voloshyn-Chelpan Э. К. Opredelenye optimalnykh rezhymov vybratsyonnoho formovaniya / Э. К. Voloshyn-Chelpan, H. N. Petrov // Tr. Vsesoiuz.nauchno-tekhn., konf. po metallokeramicheskim materiyalam y yzdelyiam. – Erevan, 1973. – S. 105–108.
5. A. s. 429877 SSSR, M. Kl. V21j 9/06. Hydravlycheskyi ynerstyonnyi vybropress / Y. V. Matveev, R. D. Yskovych-Lototskyi, V. A. Pysh.
6. Zelinska O.V. Systemnyi pidkhd do pidvyshchennia efektyvnosti protsesiv formoutvorennia zahotvok z poroshkovykh materialiv / O.V. Zelinska, R.D.Iskovych-Lototskyi // Materialy XLV Naukovo-tekhnichnoi konferentsii fakultetu mashynobuduvannia ta transportu (2016) – S.23-28.
7. Iskovych-Lototskyi R. D. Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia vibropresa z hidroimpulsnym pryvodom / R. D. Iskovych-Lototskyi, N. R. Veselovska, O. V. Zelinska // Vseukrainskyi NTZh «Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh». – 2015. – № 2(78). – С. 75–79.
8. Iskovych-Lototsky R. Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials / R.Iskovych-Lototsky, O. Zelinska, Y. Ivanchuk, N. Veselovska // East European Journal of advanced technologies. Issue 1/1 (85) - 2017 C. 9-17.

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

**Аннотация:** одним из актуальных задач является развитие системного подхода к проблеме повышения эффективности процессов формообразования заготовок из порошковых материалов на вибропресовом оборудовании. Под технологическим комплексом понимаем сложную систему, которая характеризуется структурными и функциональными связями между составляющими более простых систем и внутри них.

Именно системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель. Построение модели технической системы относится к числу системных задач, при решении которых синтезируют решения на основе большого количества начальных условий. Использование системного подхода в этих условиях позволяет не только построить модель реальной системы, но и на базе этой модели выбрать необходимое количество информации для управления системой, оценить показатели ее функционирования и тем самым на базе моделирования найти наиболее эффективный вариант построения и оптимальный режим функционирования реальной системы.

**Ключевые слова:** система, системный подход, вибропресовые машины, гидроимпульсный привод, эффективность, рабочие режимы прессования, виброударное прессования.

### EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX USING SYSTEM APPROACH

**Summary:** one of the urgent tasks is the development of a systematic approach to the problem of improving the efficiency of processes of forming of blanks from powder materials on vprorecovery equipment. Under the technological complex understand complex system that is characterized by structural and functional relations between the components of the more simple systems and within them.

A systemic approach involves a gradual transition from the General to the particular, when the basis of consideration is the goal. Build a model of the technical system refers to the number of system tasks, the solution of which synthesize solutions based on a large number of initial conditions. Using a systematic approach in these circumstances allows not only to build a model of the real system, but also on the basis of this model is to choose the necessary amount of information to control system, evaluate its performance, and thus on the basis of simulation to find the most efficient curve, and the optimal mode of functioning of the real system.

**Keywords:** system, system approach, vpopov machine, pulse drive, the efficiency, the operating modes pressing vbrodie pressing.