

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Атаманов Юрій Леонідович

УДК 621.53

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПНЕВМОАГРЕГАТИВ УДАРНОЇ ДІЇ ШЛЯХОМ ВИБОРУ ЇХ
РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ І ПАРАМЕТРІВ**

Спеціальність 05.05.17 - гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі гідропневмоавтоматики і гідроприводу
Національного технічного університету «Харківський політехнічний
інститут» Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Крутіков Геннадій Анатолійович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,
професор кафедри гідропневмоавтоматики і
гідроприводу

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
Панченко Анатолій Іванович,
Таврійський національний агротехнологічний
університет, м. Мелітополь, завідувач кафедри
мобільних машин

кандидат технічних наук, доцент
Роговий Андрій Сергійович,
Харківський національний автомобільно-дорожний
університет, м. Харків,
доцента кафедри теоретичної механіки і гідравліки

Захист відбудеться 8 жовтня 2015 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.11 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий 7 вересня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Юдін Ю.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Успішне впровадження пневматичних засобів автоматизації і механізації зумовлене низкою переваг силової пневматики: відносною дешевизною, простотою конструкції і експлуатаційного обслуговування, надійністю, малою чутливістю до температури, відсутністю зворотних магістралей, необмеженим запасом енергоносія, простотою його транспортування та утилізації. Але особливої уваги заслуговує одна позитивна риса пневматики, яка ставить її поза конкуренцією у порівнянні з іншими типами приводів при виконанні високошвидкісних ударних операцій. Ця риса полягає у стисливості робочого тіла, тобто у здатності акумулювати велику потенційну енергію розширення (стиснення), яка може ефективно реалізуватися у вигляді зовнішньої механічної роботи, розганяючи робочі органи пневмоагрегатів до великих швидкостей за гранично короткі проміжки часу.

Ударні пневмоагрегати (ПА) знайшли широке застосування у відбійних молотках, ковальських молотах, прошивочних машинах, машинах таврування металевих виробів, штампування, розвальцьовування, енергетичні можливості яких лежать у найширших межах від 30 Дж до 28000 Дж.

Таким чином, дослідження особливостей робочого процесу в ударних ПА і впливу конструктивних параметрів ПА на ці процеси, а також створення інженерної методики розрахунку їх кінематичних і динамічних характеристик на основі постановки і вирішення задач динамічного аналізу і синтезу є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Науково-практична задача, яка визначила напрям дисертаційної роботи, сформульована на основі роботи, яка виконувалась на кафедрі гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ «ХП» у рамках держбюджетної науково-дослідної роботи МОН України «Удосконалення гідравлічних і пневматичних силових систем і систем керування промислового призначення» (ДР № 0187U012836) і договору із творчого співробітництва "Розробка рекомендацій з проектування ударних пневмоагрегатів для холодного таврування високосортного металопрокату" з корпорацією «Гідроелекс» (м. Харків), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є покращення експлуатаційних характеристик ударних пневмоагрегатів за рахунок теоретичного і експериментального дослідження робочого процесу і створення на цій основі методики параметричного аналізу та синтезу цих агрегатів.

Для досягнення цієї мети поставлені наступні задачі:

- Розробка перспективної конструкції та схем керування ударним пневмоагрегатом.

- Розробка нелінійних, лінійних та пружно-в'язкісних механічних імітаційних моделей (ІМ) робочих процесів як у розмірній, так і у безрозмірній формі з виділенням основних критеріїв динамічної подоби.

- Проведення числового експерименту на основі розроблених моделей робочих процесів для дослідження впливу структури і параметрів ударного пневмоагрегата на його кінематичні й енергетичні характеристики.

- Розробка інженерної методики розрахунку кінематичних і динамічних характеристик ударного пневмоагрегата.

- Визначення раціональних параметрів та умов функціонування ударного пневмоагрегата, що забезпечують його найбільш ефективну, передбачувану й економну роботу.

- Енергетичний аналіз робочих процесів у ударних пневмоагрегатах на основі ексергічного методу з метою визначення умов найбільш ефективної реалізації в них працездатності стисненого повітря.

- Експериментальна перевірка працездатності запропонованих схем керування ударним ПА і підтвердження адекватності імітаційних і фізичних моделей ударних ПА

Об'єкт дослідження – газодинамічні й термодинамічні процеси в порожнинах пневмоагрегата та його комутаційних трактах.

Предмет дослідження – динамічні, кінематичні й енергетичні характеристики ударних пневмоагрегатів.

Методи дослідження. Аналіз на основі імітаційного моделювання, ґрунтуючись на фундаментальних положеннях термодинаміки тіла змінної маси, внутрішніх перехідних процесів, кінематичних характеристик, а також кількісного та якісного складу енерговитрат стисненого повітря з використанням ексергічного методу. При нормуванні диференціальних рівнянь математичної моделі (ММ) використовувалась теорія аналогічності тепломеханічних систем. При числовому інтегруванні нелінійних диференціальних рівнянь використовувався метод Рунне-Кутта, а при дослідженні лінійних систем використана аналогія у вигляді механічної пружно-в'язкісної моделі Максвелла, при дослідженні якої використані рівняння Лагранжа і методи вирішення неоднорідних диференціальних рівнянь.

При експериментальному дослідженні проводилось осцилографування перехідних процесів у дослідному макеті (фізичній моделі) ударного ПА з метою встановлення ідентичності імітаційної і фізичної моделей ударного ПА.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблена універсальна нелінійна імітаційна модель робочого процесу ударного пневмоагрегата з вбудованим резервуаром як у розмірній, так і у безрозмірній формі з виділенням оновних критеріїв динамічної подоби;

- проведені чисельні дослідження впливу структури і параметрів ударного пневмоагрегата на його робочий процес і сформульовані принципи проектування ударного пневмоагрегата виходячи з умов досягнення найбільш ефективної реалізації працездатності стисненого повітря при виконанні ударних операцій;

- створені теоретичні основи інженерного розрахунку кінематичних та енергетичних характеристик ударних пневмоагрегатів із вбудованим резервуаром у вигляді постановки й вирішення задачі параметричного аналізу та синтезу;

- запропоновано новий підхід при розробці лінійної моделі ударного пневмоагрегата та його механічного аналога, в основі якого покладена заміна нелінійних залежностей не дотичними, а січними, що значною мірою підвищило розрахункову точність моделі та розгляд умови динамічної рівноваги одномасового пружно-в'язкісного механічного аналога. Такий підхід дозволяє отримати максимально компактну імітаційну модель ударного пневмоагрегата і суттєво

скоротити час при динамічному аналізі робочого процесу.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі ґрунтується на тому, що розроблені у дисертаційній роботі схеми ударних пневмоагрегатів, методики їх розрахунку, результати досліджень і рекомендації доведені до рівня, який дозволяє здійснити їх впровадження у практику проектування та експлуатації промислової пневматики і полягають у наступному:

- Розроблені пневматичні схеми узгодженої роботи ударного пневмоциліндра з контурами живлення, які включають як два, так і три рівні тиску, що дає можливість суттєво знизити енерговитрати;
- Розроблена інженерна методика розрахунку кінематичних параметрів ударних пневмоагрегатів із запропонованими схемами керування як у вигляді аналітичних залежностей, так і у вигляді графіків-номограм;
- Розроблена конструкція ударного пневмоагрегата та імпульсного пневморозподільника, що дозволяє реалізувати на практиці запропоновані схеми керування;
- Отримані рекомендації у вигляді графіків-номограм з вибору конструктивних параметрів, що забезпечують потрібні динамічні та енергетичні характеристики ударних пневмоагрегатів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в ОП Коропорації «Гідроелекс» (м. Харків) при розробці механізмів холодного таврування високосортного металопрокату, а також на кафедрі гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ «ХП» в навчальному процесі у курсах «Системи гідропневмоприводів» і «Об'ємні гідропневмомашини».

Особистий внесок здобувача. Усі положення і результати дисертації отримані здобувачем особисто. Серед них: розробка концепції керування ударним пневмоагрегатом, що ґрунтується на синхронізації роботи циліндра й імпульсного пневморозподільника, що здійснює раціональне керування контуром живлення, розробка універсальної нелінійної ІМ ударного ПА із вбудованим резервуаром у безрозмірній формі з виділенням основних критеріїв динамічної подоби, розробка лінійної ММ, наведеної у вигляді різновиду пружно-в'язкісної механічної моделі Максвела і створення на цій основі гранично компактної ІМ ударного ПА, визначення параметрів ПА і умов його функціонування, що забезпечують найбільш ефективну реалізацію працездатності стисненого повітря при ударних операціях, формулювання інженерної методики розрахунку кінематичних, динамічних і енергетичних характеристик ударних ПА.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались й обговорювались на: XXI і XXII Міжнародних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2013, 2014 р.р.), XV Міжнародній науково-технічній конференції АСПП ГП «Промислова гідравліка і пневматика» (17-19 вересня 2014 р. м. Мелітополь).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 9 наукових праць, серед них: 5 статей у фахових виданнях (3 включені до наукометричних баз даних), 1 стаття – у іноземному періодичному фаховому виданні (SCOPUS), 3 – у матеріалах міжнародних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів,

висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 182 сторінки, серед них 93 рисунків за текстом і 13 рисунків на 11 окремих сторінках, список використаних джерел інформації з 107 найменувань на 10 сторінках, 3 додатки на 8 сторінках, 4 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета й задачі, визначений об'єкт, предмет і методи досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення роботи.

У першому розділі зроблено огляд та аналіз існуючих пневматичних ударних механізмів (ПУМ), а також методів математичного моделювання робочих процесів у них.

По енергетичним можливостям, як це впливає з огляду, вся низка ПУМ поділяється на три групи: на одному кінці цієї низки розташовані пневматичні ковальські молоти з енергетикою удару 2000–28000 Дж, на іншому – ручні ПУМ з енергетикою удару 30-100 Дж. Проміжну між ними нішу займають ПА, на долю яких приходиться найширша гама технологічних операцій від таврування металопрокату до високошвидкісного пресування формувальних сумішей у ливарному виробництві. Причому, як впливає з бібліографічного аналізу, найефективнішим ударним ПА тут є пневмоагрегати із вбудованим резервуаром.

Математичне моделювання робочих процесів у ПУМ пройшло становлення з 50-х років минулого сторіччя від примітивного уявлення про постійність тиску у порожнинах ПУМ до уявлення цих процесів адіабатичними, пізніше політропічними з постійним показником політропи і далі до уявлення про змінний характер політропи. І, нарешті, найдосконаліше математичне моделювання почало будуватись на рівняннях теплового балансу (рівняннях термодинаміки тіла змінної маси). Теоретичні основи розрахунку та проектування пневмоагрегатів було закладено у працях Б.П. Бежанова, О.В. Герц, Г.В. Крейніна, М.А. Мамонтова, В.І. Погорелова, О.Г. Холзунова. Пневматичних систем керування – у працях Берендс Т.К., Дмитриева В.М., Черкашенко М.В. Більш виокремлені прикладні задачі дослідження ударних високошвидкісних пневмоприводів вирішені у роботах Е. О. Абраменкова, Г.М. Алабужева, Г.Ю. Вигорської, О.В. Герц, М.І. Прельцвайга, Б.В. Суднішнікова, О.І. Федулова та інших.

Не дивлячись на те, що ПУМ із вбудованим резервуаром «є найоптимальнішим високошвидкісним пневмоприводом» (О.В. Герц), особливості його робочого процесу вивчені недостатньо і потребують більш глибокого дослідження. Відсутня повноцінна методика інженерного розрахунку, вибору раціональних параметрів і схем керування, що забезпечують найбільш ефективну реалізацію працездатності стисненого повітря.

У другому розділі наведена ІМ робочого процесу ударного ПА із вбудованим резервуаром. У якості вихідної розрахункової моделі ударного ПА обраний ударний пневмопривод з традиційною (базовою) схемою підключення (схема № 1 на рис. 1).

При створенні ІМ використовувались рівняння теплового (енергетичного) балансу для незамкнених об'ємів газу (Мамонтов М.А., Герц О.В., Крейнін Г.В.).

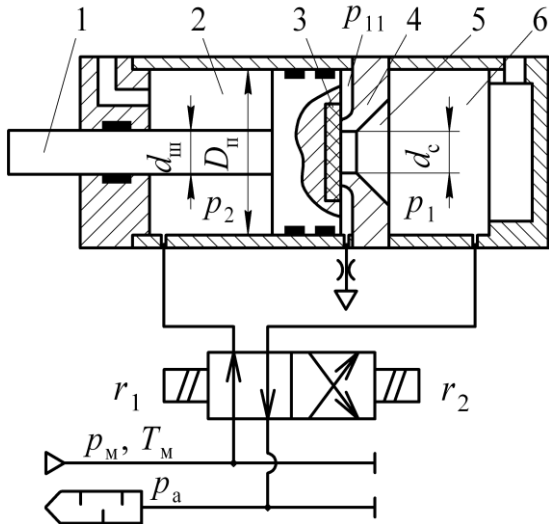


Рисунок 1. – Розрахункова схема ударного ПА з вихідною (базовою) схемою підключення (схема № 1)

Для зручності порівняльного аналізу і для створення у подальшому інженерної методики розрахунку здійснений перехід до безрозмірної форми на основі принципу аналогічності тепломеханічних систем за способом Вишнеградського-Воронова-Мамонтова, що дозволяє звести кількість незалежних змінних у диференціальних рівняннях до мінімальної кількості критеріїв динамічної подоби. При моделюванні різних схем підключення ударного пневмоциліндра й алгоритмів їх роботи вводились логічно-алгебраїчні модулі і корективи $\bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_a, \bar{s}_b, \bar{z}_1, \bar{z}_2$, що надає ІМ універсальності. Корективи \bar{z}_1 і \bar{z}_2 імітують процес дискретної зміни

пропускної спроможності магістралей для робочої і вихлопної порожнин при зміні структури комутаційних зв'язків у процесі спрацьовування ПА. Функції $\bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_a, \bar{s}_b$ дискретно змінюють структури правих частин перших 4-х рівнянь при переході порожнин від заповнення до спустошення і навпаки. Таким чином, робочі процеси в ударних ПА описуються системою нелінійних диференціальних рівнянь при відповідних початкових умовах:

$$\frac{d\sigma_1}{d\tau} = \frac{k}{\lambda_{01} + \lambda} \cdot \left[\bar{s}_1 \cdot \bar{z}_1 \cdot \varphi(I_1) - \sigma_1 \cdot \frac{d\lambda}{d\tau} \right];$$

$$\frac{d\theta_1}{d\tau} = \frac{\theta_1}{\sigma_1} \cdot \frac{d\sigma_1}{d\tau} + \frac{\theta_1}{\lambda_{01} + \lambda} \cdot \frac{d\lambda}{d\tau} + \frac{\bar{s}_a \cdot \bar{z}_2}{\lambda_{01} + \lambda} \varphi(I_1);$$

$$\frac{d\sigma_2}{d\tau} = -\frac{k}{1 + \lambda_{02} - \lambda} \cdot \left[\bar{s}_2 \cdot \bar{z}_2 \cdot \Omega \cdot \frac{\varphi(I_2)}{\Pi_{21}^F} - \sigma_2 \cdot \frac{d\lambda}{d\tau} \right];$$

$$\frac{d\theta_2}{d\tau} = \frac{\theta_2}{\sigma_2} \cdot \frac{d\sigma_2}{d\tau} - \frac{\theta_2}{(1 + \lambda_{02} - \lambda)} \cdot \frac{d\lambda}{d\tau} + \frac{\bar{s}_b \cdot \bar{z}_1 \cdot \Omega}{(\lambda_{02} + 1 - \lambda) \Pi_{21}^F} \varphi(I_2);$$

$$\frac{d\lambda}{d\tau} = v;$$

(1)

$$\frac{dv}{d\tau} = \frac{1}{\beta} (\sigma_1 - \sigma_2 \cdot \Pi_{21}^F - \chi) \frac{1 + \text{sign}[\sigma_1 \cdot \varphi + (1 - \varphi) \sigma_a - \chi - \Pi_{21} \sigma_2]}{2};$$

$$\frac{d\bar{M}}{d\tau} = \begin{cases} r_1 \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{y}_1 \cdot \varphi(I_1) + \bar{r}_2 \cdot \bar{z}_2 \cdot \bar{y}_2 \cdot \varphi(I_2); \text{ (сх. № 1 в табл. 1)} \\ r \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{y}_1 \cdot \varphi(I_1) + (1 - \tau) \cdot \bar{z}_2 \cdot \bar{y}_2 \cdot \varphi(I_2); \text{ (сх. № 2 в табл. 1)} \\ r \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{y}_1 \cdot \varphi(I_1) + (1 - \tau) \left[\bar{z}_1 \cdot \bar{y}_1 \cdot \frac{1 + \text{sign}(\bar{y}_1 - \sigma_1)}{2} \varphi(I_1) + \bar{z}_2 \cdot \bar{y}_2 \cdot \varphi(I_2) \right]; \text{ (сх. № 3 в табл. 1)} \\ r \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{y}_1 \cdot \varphi(I_1) + (1 - \tau) \cdot \bar{z}_2 \cdot \bar{y}_2 \cdot \frac{1 + \text{sign}(\bar{y}_2 - \sigma_2)}{2} \varphi(I_2). \text{ (сх. № 4 в табл. 1),} \end{cases}$$

де $\sigma_1, \theta_1, \sigma_2, \theta_2$ – безрозмірні тиски і температури у робочій і вихлопній порожнинах; λ, ν – безрозмірна координата та швидкість поршня; \bar{M} – відносна маса стисненого повітря, спожитого ПА у процесі одного спрацювання відповідно схемам синхронізації ударного циліндра і пневморозподільника.

Як показали проведені експериментальні дослідження процес вирівнювання тисків у акумуляторі і робочій порожнині циліндра при спрацюванні ПА надзвичайно швидкоплинний через велику площу сопла і малий об'єм робочої порожнини у початковий момент руху поршня. Тому при імітаційному моделюванні приймалось цілком обгрунтоване припущення про подання простору вбудованого резервуара і робочої порожнини циліндра як одного цілого.

При нормуванні рівнянь ІМ виділені основні критерії динамічної подоби:

$\Omega = \frac{\bar{z}_2}{\bar{z}_1}$ – відносна ефективна площа вихлопного тракту; $\chi = \frac{P_{\text{тр}}}{p_m \cdot F_1}$ – відносне

статичне навантаження; $\beta = \frac{m \cdot L}{t_6^2 \cdot F_1 \cdot p_m}$ – критерій інерційності (безрозмірна маса);

$\lambda_{01} = \frac{W_{01}}{F_1 \cdot L}$ – відносний об'єм накопичувальної ємності; $\varphi = \frac{f_c}{F_1}$ – відносна площа

сопла; $t_6 = \frac{F_1 \cdot L}{f_1^3 \cdot \sqrt{kRT_m}}$ – базова одиниця часу.

При дослідженні енергетичних характеристик у якості спожитої енергії використовується працездатність (ексергія) стисненого повітря, тобто максимальна корисна робота, яку можна отримати від термодинамічної системи у результаті зворотного переходу у термічну і механічну рівновагу з оточуючим середовищем. Прийнято, що при ізобарному охолодженні у холодильнику і ресивері компресора стиснене повітря приходить до термічної рівноваги з оточуючим середовищем і що навідрізу від транспортних пневмоприводів, де використовується так звана, транзитна працездатність стисненого повітря, в ударних ПА використовується лише потенційна енергія стиснення (розширення) тобто ексергія U газу, що знаходиться у стані спокою

$$u = RT_m [\sigma_a - 1 - \ln \sigma_a], \quad (2)$$

де u – питома працездатність газу, що знаходиться у стані спокою.

Повна працездатність стисненого повітря, спожитого у процесі одного спрацювання ударного ПА

$$\bar{E}_s = \frac{M \cdot u}{E_6} = \bar{M} [\sigma_a - 1 - \ln \sigma_a], \quad (3)$$

де E_6 – базове значення роботи; \bar{M} – безрозмірна масова кількість стисненого повітря, спожитого ПА у процесі одного спрацювання.

Ексергічний ККД η_e як найбільш узгальнений показник ступеню енергетичної досконалості ударного ПА, шукається у вигляді

$$\eta_e = \frac{\bar{R}}{\bar{E}_s}, \quad (4)$$

де \bar{R} – корисна робота у безрозмірній формі;

$$\bar{R} = \int_0^{\lambda^*} \sigma_1 d\lambda - \Pi_{21} \int_0^{\lambda^*} \sigma_2 d\lambda - \int_0^{\lambda^*} \chi d\lambda, \quad (5)$$

λ^* – безрозмірна координата розташування заготовки.

Лінійна модель ударного ПА дозволяє навідміну від нелінійної ІМ отримати аналітичні вирази для змінних стану об'єкта і наочніше виявити основні тенденції при динамічному аналізі.

Ударний ПА відноситься до яскраво вираженим дискретним приводам, при спрацюванні якого його параметри змінюються у широких межах. Тому тут доцільна заміна нелінійних залежностей не першими членами розкладу в ряд Тейлора (тобто дотичними), а раціонально підібраними січними. Це дозволяє значною мірою підвищити розрахункову точність лінійної моделі. Лінеаризації підлягають нелінійні витратні функції $\varphi(\sigma_1)$ і $\psi(\sigma_2) = \sigma_2^{\frac{3k-1}{2k}} \varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right)$:

$$\varphi(\sigma_1) \approx \alpha_1 \sigma_1 + \beta_1; \quad \psi(\sigma_2) \approx \alpha_2 \sigma_2 + \beta_2; \quad (6)$$

где $\alpha_1 = -1,14$, $\beta_1 = 1,36$, $\alpha_2 = 0,6$, $\beta_2 = -0,03$ – значення параметрів січних, що забезпечують найкращу розрахункову точність.

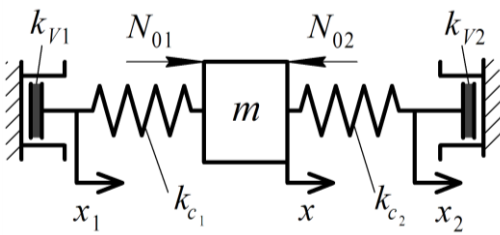


Рисунок 2. – Механічний аналог ударного ПА на основі різновиду моделі Максвелла

Новий прийом, який був використаний при розгляді лінійної моделі полягав у заміні реальної газомеханічної моделі ударного ПА механічним аналогом, в основу якого покладена одна з різновидів одномасової пружно-в'язкісної моделі Максвелла (рис. 2).

Значення коефіцієнтів в'язкого тертя для приєднаних ланок демпфування та жорсткості пневмопружин пов'язані з фізичними параметрами ударного ПА співвідношеннями:

$$k_{V1} = -\frac{p_{1y} F_1^2}{f_1^3 a_m \alpha_1}; \quad k_{V2} = \frac{p_{2y} F_2^2}{f_2^3 a_m \alpha_2}; \quad k_{C1} = \frac{kp_{1y} F_1}{x_{01} + x_c}; \quad k_{C2} = \frac{kp_{2y} F_2}{L + x_{02} - x_c}. \quad (7)$$

Записавши рівняння Лагранжа 2-го роду для системи з трьома ступенями свободи (рис. 2) та виключивши приховані (фіктивні) координати x_1 та x_2 отримаємо гранично компактну лінійну ІМ ударного ПА.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} \left[N_{01} - N_{02} - \left(k_{C1} e^{-\frac{k_{C1} t}{k_{V1}}} + k_{C2} e^{-\frac{k_{C2} t}{k_{V2}}} \right) x \right], \quad (8)$$

де $N_{01} = -\frac{\beta_1}{\alpha_1} p_m F_1$, $N_{02} = -\frac{\beta_2}{\alpha_2} p_m F_2$ – зусилля попереднього стиснення лівої і правої пневмопружини.

Аналітичний вираз для швидкості переміщення робочого органу (РО) у коливальному процесі після інтегрування (8) має вигляд у випадку комплексних коренів характеристичного рівняння:

$$V = \frac{R}{\omega_0^2} \left\{ 1 - e^{-\sigma t} \sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\varphi^2}} \cos \left[\varphi t + \arctg \left(-\frac{\sigma}{\varphi} \right) \right] \right\}, \quad (9)$$

де $\sigma = \frac{1}{2} \left(\frac{k_{V1}}{m} + \frac{k_{C2}}{k_{V2}} \right)$ – показник затухання процесу; φ – циклічна частота коливань

РО ПА; ω_0 – власна частота коливань; $\frac{R}{\omega_0^2}$ – усталена швидкість РО.

У випадку дійсних коренів рівняння (8)

$$V = \frac{R}{\omega_0^2} \left[1 - e^{-\sigma t} \left(\operatorname{ch} \varphi t + \frac{\sigma}{\varphi} \operatorname{sh} \varphi t \right) \right]. \quad (10)$$

У **третьому розділі** реалізована широка програма числових досліджень робочих процесів за допомогою розроблених ІМ для вибору раціональної структури і параметрів ударних ПА із вбудованим резервуаром.

На першому етапі проведений динамічний аналіз ударного ПА, що працює з традиційною схемою керування (схема № 1) і виявлені суттєві недоліки цієї схеми. Перехідні процеси, отримані при числових розрахунках, свідчать про те, що швидкий розгін поршня на протязі короткого проміжку часу тягне за собою швидке зростання тиску у вихлопній порожнині, що приводить до автогальмування, пневмовідскоку поршня і наступному за цим розвиненому коливальному процесу. Причому ці коливання відбуваються зі зміщенням у бік кришки циліндра і при відсутності заготівки приводять до недопустимого удару поршня об кришку (рис. 3).

Другий суттєвий недолік пов'язаний з можливістю повторних ударів по заготівці, що неприпустимо (наприклад, у таврувальних машинах) (рис. 4).

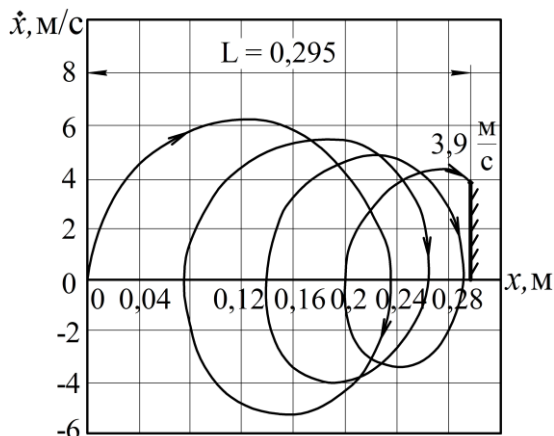


Рисунок 3. – Фазова траєкторія РО ударного ПА при відсутності заготівки (схема № 1)

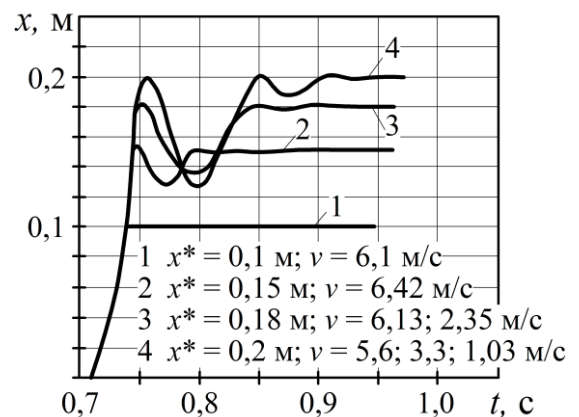
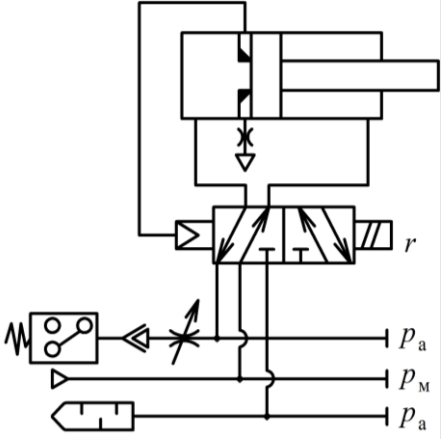
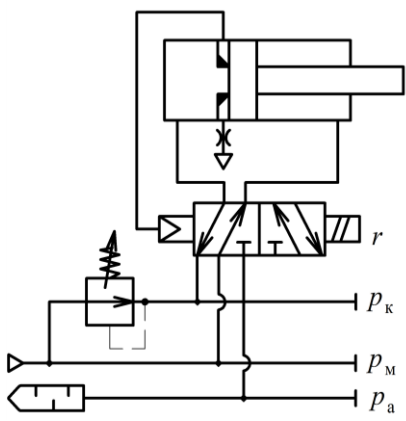
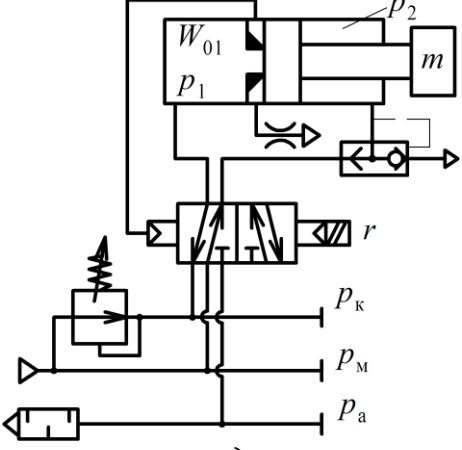
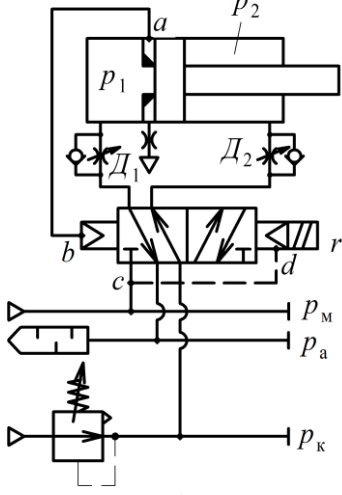


Рисунок 4. – Переміщення РО при різних координатах положення заготівки x^* (схема №1)

Третій і четвертий недолік схеми № 1 пов'язаний з надмірно великими витратами стисненого повітря при реалізації ударних операцій і великої швидкості посадки поршня у сідло при зворотному ході.

Усунення цих недоліків досягнуте за рахунок нових схемних рішень, в основі яких лежить синхронізація роботи ударного пневмоциліндра й імпульсного п'ятилінійного пневморозподільника (схеми № 2, 3, 3а, 4).

Таблиця 1. Схеми синхронізації роботи циліндра і розподільника

Схема синхронізації з дворівневим тиском контура живлення (схема № 2)	Схема синхронізації з трирівневим тиском контура живлення (схема № 3)
 <p style="text-align: center;">а)</p>	 <p style="text-align: center;">б)</p>
Модифікація схеми № 3 за рахунок використання клапана швидкого вихлопу	Схема синхронізації з дворівневим тиском контура живлення (схема № 4)
 <p style="text-align: center;">в)</p>	 <p style="text-align: center;">г)</p>

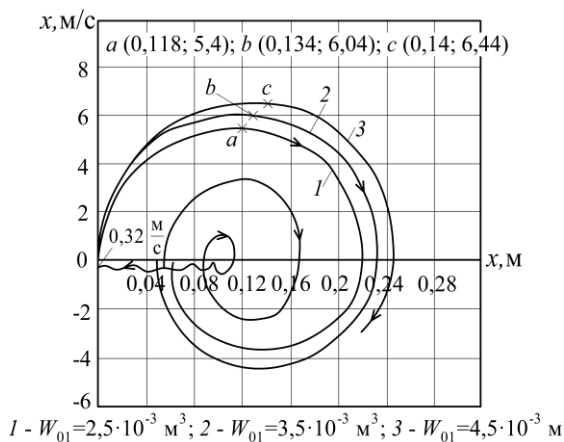


Рисунок 5. – Фазова траєкторія РО ударного ПА при відсутності заготівки за рахунок виключення удару поршня об кришку при відсутності заготівки і забезпечують м'яку посадку поршня у сідло клапана при зворотному ході. Фазова

Найбільший ефект досягається при використанні у схемах синхронізації контурів живлення з трьома рівнями тиску (схеми 3, 3а, 4) при раціональному рівні тиску підпору p_k . Так, при тиску живлення $p_M = 0,6 \text{ МПа}$ тиск підпору у накопичувальній ємності для схеми № 3 повинен становити $0,5 \text{ МПа}$, а для схеми № 4 тиск підпору у вихлопній ємності повинен становити $0,3 \text{ МПа}$. Використання цих схем при таких умовах значно підвищують економічність ПА, усувають повторні удари по заготівці, підвищують безпечність за рахунок виключення удару поршня об кришку при відсутності заготівки і забезпечують м'яку посадку поршня у сідло клапана при зворотному ході. Фазова

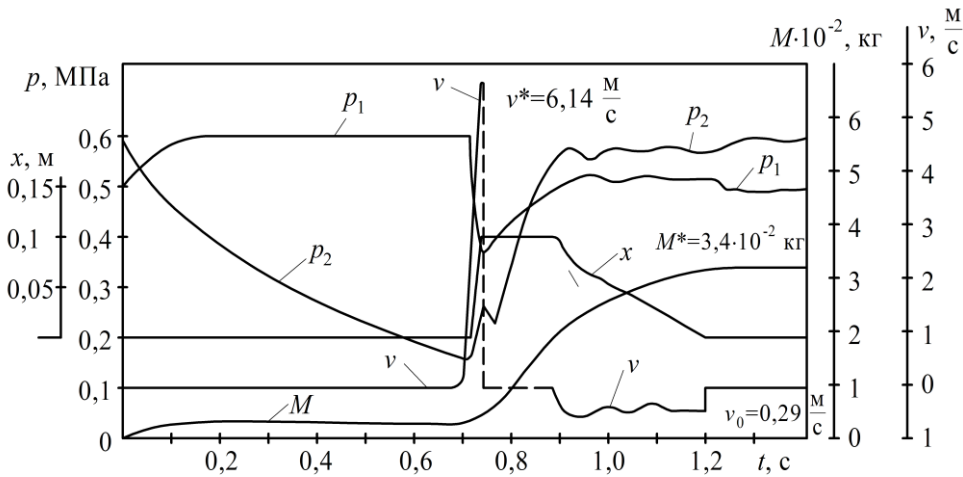


Рисунок 6. – Процес спрацювання ударного ПА, що працює по схемі № 3 при наявності заготівки

Барохронна і динамічна діаграми для ПА зі схемою № 3 (рис. 6) при наявності заготівки вказує на суттєве зниження енерговитрат стисненого повітря і плавну посадку поршня у сідло після нанесення удару.

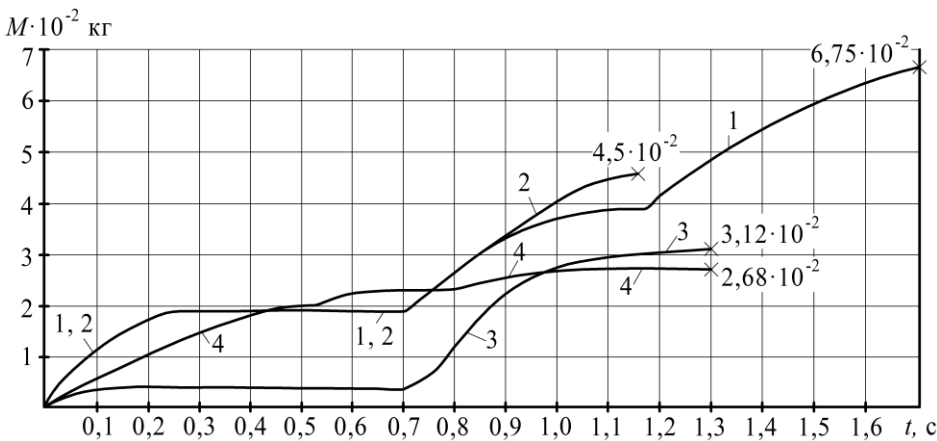


Рисунок 7. – Діаграми споживання стисненого повітря для ударних ПА з різними схемами керування

№ 4 дозволяє у 2,5 рази знизити витрати повітря порівняно зі схемою № 1).

Однак вибір структури ПА, що дозволяє покращити експлуатаційні показники ударних ПА ще не гарантує максимально ефективну реалізацію працездатності стисненого повітря при виконанні ударних операцій. Експериментальні дослідження показали, що збільшення габаритоутворюючих параметрів (площі поршня, повного ходу поршня, об'єму накопичувальної порожнини) однозначно призводять до нарощування енергетики удару. Відзначимо також, що поряд з цими параметрами на ефективну реалізацію працездатності стисненого повітря значно впливають такі внутрішні, тобто негабаритоутворюючі параметри як безрозмірна площа сопла φ та відносна ефективна площа вихлопного тракту Ω . Вибір оптимального значення Ω^* забезпечує одночасне досягнення заданих тисків у накопичувальній і вихлопній порожнинах, створюючи їх максимальний перепад у момент відриву поршня від сопла.

траєкторія РО при відсутності заготівки для ударного ПА зі схемою № 3 на рис. 5 свідчить про докорінну зміну характеру перехідного процесу. Замість удару по кришці циліндру відбувається швидке затухання процесу, поршень повертається у сідло сопла з м'якою посадкою.

Діаграми споживання стисненого повітря на рис. 7 наочно показують як при послідовному переході від схеми № 1 до схеми № 4 відбувається кардинальне зниження споживання стисненого повітря без зміни енергетики удару (використання схеми

Раціональне значення відносної площі сопла φ^* і відносної ефективної площі вихлопного тракту Ω^* :

$$\varphi^* = \frac{(1,1\Pi_{21} - 1)\sigma_a + \chi}{1 - \sigma_a}, \quad (11)$$

$$\Omega^* = \frac{6,346}{\lambda_{01} \sigma_a^{0,143}} \left[\left(0,785 + \frac{0,25\Pi_{21} \sigma_a}{\varphi + \sigma_a - \varphi \sigma_a - \chi} \right) - \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_k} \right)^{0,142} \right]. \quad (12)$$

Показано, що за рахунок раціонального вибору параметрів φ^* і Ω^* у межах одних і тих самих зовнішніх габаритів ударного пневмоциліндра можна у середньому на 25% підвищити швидкість удару.

Враховуючи коливальний характер руху поршня при відсутності заготівки однією з найважливіших задач динамічного аналізу є вибір оптимальної координати розташування заготівки, що забезпечує максимальну швидкість удару і саме значення цієї швидкості. Враховуючи те, що визначення цих параметрів повинно відбуватися в оперативному режимі доцільна розробка інженерної методики розрахунку. Основне припущення при цьому полягає в тому, що у другій фазі руху від моменту розгерметизації до моменту удару порожнини циліндра можна вважати замкненими. Це цілком обгрунтоване припущення виходить з того, що через надзвичайно швидкий розгін поршня до великої швидкості, масова витрата, обумовлена рухом поршня у 20-25 разів переважає витрати у магістралі живлення і вихлопній магістралі. Інтегрування усічених рівнянь ММ дає можливість визначити тиск у порожнинах і отримати аналітичний вираз для оптимальної координати розташування заготівки λ^* :

$$\sigma_1 = \left(\frac{\lambda_{01}}{\lambda_{01} + \lambda} \right)^k; \quad \sigma_2 = \frac{1}{\Pi_{21}} [\varphi + \sigma_a (1 - \varphi)] \cdot \left(\frac{1 + \lambda_{02}}{1 + \lambda_{02} - \lambda} \right)^k; \quad (13)$$

$$\lambda^* = \frac{\left\{ 1 - [\varphi + \sigma_a (1 - \varphi)]^{1/k} \right\} (\lambda_{01} + \lambda_{02} \lambda_{01})}{\lambda_{01} + [\varphi + \sigma_a (1 - \varphi)]^{1/k} (1 + \lambda_{02})}. \quad (14)$$

На основі рішення рівняння балансу енергій $\beta \int_0^{\lambda^*} d \left(\frac{v^2}{2} \right) = \int_0^{\lambda^*} \sigma_1 d\lambda - \Pi_{21} \int_0^{\lambda^*} \sigma_2 d\lambda$,

де λ^* – оптимальна координата розташування заготівки отриманий аналітичний вираз для максимальної швидкості при досягненні координати розташування заготівки:

$$v^* = \sqrt{\frac{2}{\beta} \left\{ \frac{\lambda_{01}}{k-1} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{01}}{\lambda_{01} + \lambda^*} \right)^{k-1} \right] - [\varphi + \sigma_a (1 - \varphi)] \frac{(1 + \lambda_{02})}{(k-1)} \left[\left(\frac{\lambda_{02} + 1}{\lambda_{02} + 1 - \lambda^*} \right)^{k-1} - 1 \right] \right\}}. \quad (15)$$

Залежності (14) і (15) вирішуються сумісно і для оперативного розрахунку доцільно використовувати графіки-номограми (рис. 8), де шукані параметри наведені у площині основних критеріїв динамічної подоби. Причому такі графіки

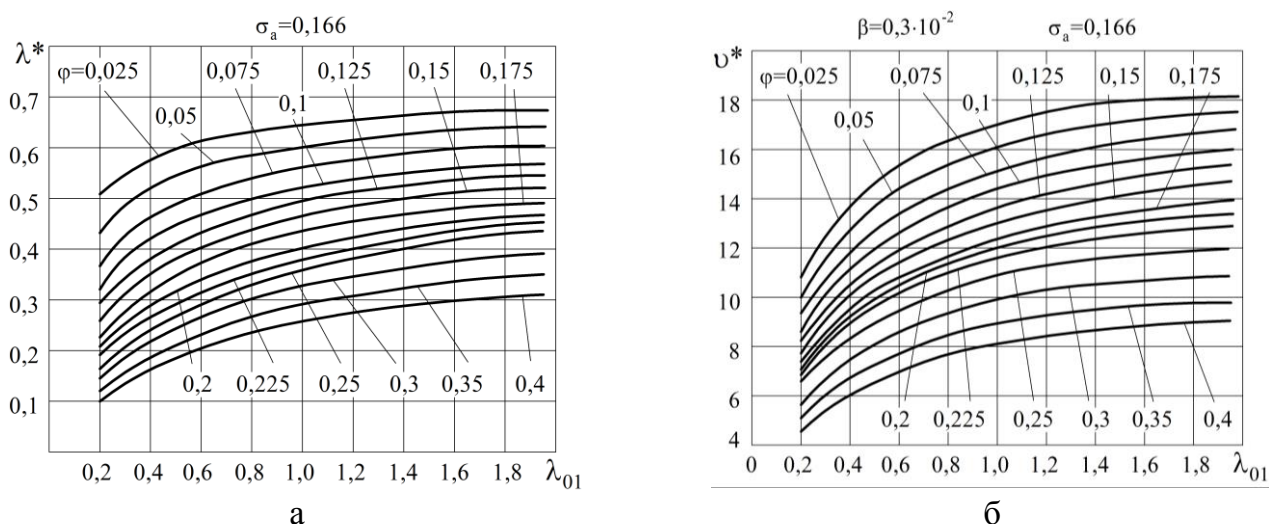


Рисунок 8. – Залежність безрозмірних параметрів λ^* (а) і ν^* (б) від основних критеріїв динамічної подоби

наведені і при інших значеннях тиску живлення (тобто σ_a) і спільно дозволяють охопити практичну всю область існування ударних ПА із вбудованим резервуаром. Корегування цих графіків (рис. 8, б) з урахуванням інших значень β проводиться за виразом

$$\nu^* = \nu_0^* \sqrt{\beta_0 / \beta}. \quad (16)$$

Розрахунок кінематичних параметрів ударного ПА за умови досягнення максимального перепаду тиску на поршні при початку його руху проводиться за формулами:

$$\lambda^* = \frac{\left[1 - (1,1 \Pi_{21} \sigma_a + \chi)^{1/k}\right] (\lambda_{01} + \lambda_{01} \cdot \lambda_{02})}{\lambda_{01} + (1,1 \Pi_{21} \sigma_a + \chi)^{1/k} (1 + \lambda_{02})}; \quad (17)$$

$$\nu^* = \sqrt{\frac{2}{\beta} \left\{ \frac{\lambda_{01}}{(k-1)} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{01}}{\lambda_{01} + \lambda^*} \right)^{k-1} - (1,1 \Pi_{21} \sigma_a + \chi) \left(\frac{1 + \lambda_{02}}{k-1} \right) \left[\left(\frac{\lambda_{02} + 1}{\lambda_{02} + 1 - \lambda^*} \right)^{k-1} - 1 \right] \right] \right\}}. \quad (18)$$

Для оперативнішого визначення λ^* і ν^* у цьому випадку також пропонуються графіки-номограми аналогічні графікам на рис. 8. Перехід до розмірної форми отриманих значень координати розташування заготовки і швидкості удару здійснювався за виразами:

$$x^* = \lambda^* L; \quad \nu^* = \frac{f_1^3 \sqrt{kRT_M}}{F_1} \nu^*. \quad (19)$$

Задача динамічного синтезу застосовно до даного об'єкта формулювалася як визначення основних параметрів ПА, що забезпечують задану швидкість удару. Частково задача такого синтезу вирішена на базі отриманого виразу для відносного об'єму накопичувальної ємності λ_{01} у функціональній залежності від оптимальної координати розташування заготовки λ^* і відносної швидкості РО ν^* при досягненні цієї координати

$$\lambda_{01} = \frac{(k-1) \left\{ \beta \frac{\nu^{*2}}{2} + [\sigma_a(1-\varphi) + \varphi] \left(\frac{1+\lambda_{02}}{k-1} \right) \left[\left(\frac{\lambda_{02}+1}{\lambda_{02}+1-\lambda^*} \right)^{k-1} - 1 \right] \lambda^* \right\}}{\lambda^* - \left\{ \beta \frac{\nu^{*2}}{2} + [\sigma_a(1-\varphi) + \varphi] \left(\frac{1+\lambda_{02}}{k-1} \right) \left[\left(\frac{\lambda_{02}+1}{\lambda_{02}+1-\lambda^*} \right)^{k-1} - 1 \right] \right\}}. \quad (20)$$

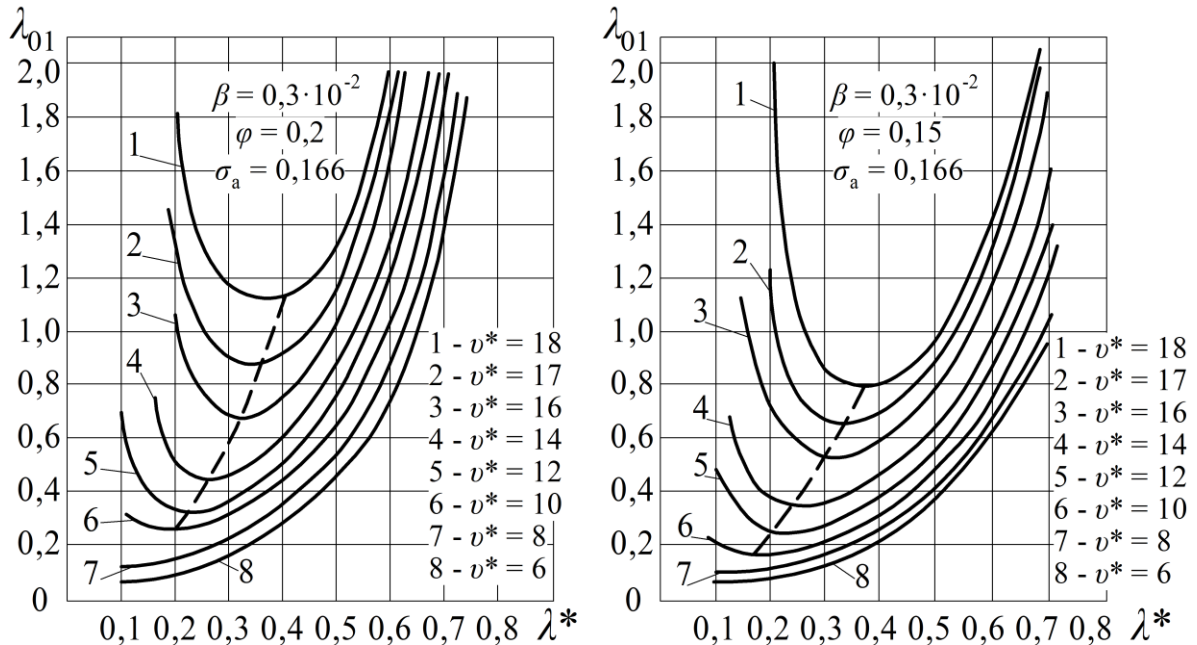


Рисунок 9. – Взаємозв'язок безрозмірної ємності резервуара λ_{01} з оптимальними фазовими координатами λ^* і ν^*

Графіки-номограми, що відображають функціональну залежність (20) побудовані для $\varphi \in 0,025 - 0,25$ з кроком зміни $\varphi - 0,25$ (два з цих графіків наведені на рис. 9) і дозволяють вирішити дві задачі синтезу. Задача А: задані конструктивні параметри F_1, L, F_c, p_m, f_1^3 . Знайти мінімальний об'єм накопичувальної ємності W_{01}^{\min} і координати розташування заготівки x^* , що забезпечують задану швидкість удару ν^* . Задача Б: задані ті самі конструктивні параметри. Знайти об'єм накопичувальної ємності W_{01} , який забезпечує задану швидкість удару ν^* при заданій координаті розташування заготівки x^* . Як показали дослідження енергетичних характеристик, постановка задачі у варіанті А прийнятніше, адже зниження ємності додаткового резервуару приводить до збільшення ексергічного ККД.

При дослідженні енергетичних аспектів процесу спрацювання ударного ПА за основу бралась отримана на основі числових розрахунків $p-V$ (або у безрозмірній формі $\sigma-\lambda$) діаграма (рис. 10). На основі таких діаграм була отримана якісна і кількісна оцінка компонентів енерговитрат. В якості основних компонентів непродуктивних енерговитрат виступають: втрата працездатності через неповне роз-

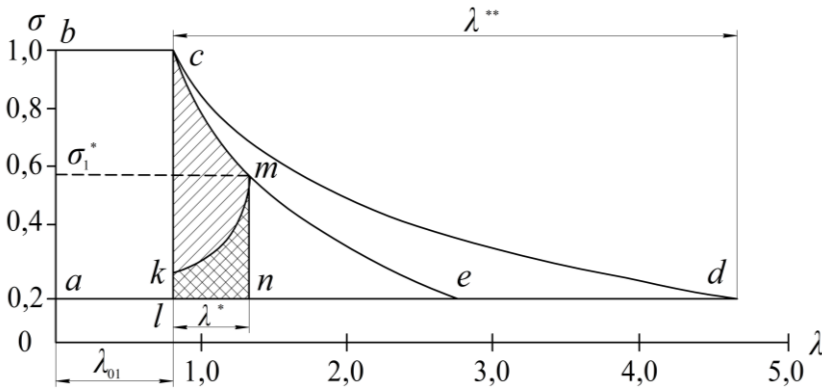


Рисунок 10. – $p-V$ ($\sigma - \lambda$) діаграма процесу спрацювання ударного ПА

$$\Delta \bar{E}_{\text{нп}} = \lambda_{01} \left[\ln 1/\sigma_a - (1 - \sigma_a) - \frac{1 - \sigma_a^{1/k}}{k - 1} + \sigma_a \left(\frac{1 - \sigma_a^{1/k}}{\sigma_a^{1/k}} - 1 \right) \right]. \quad (21)$$

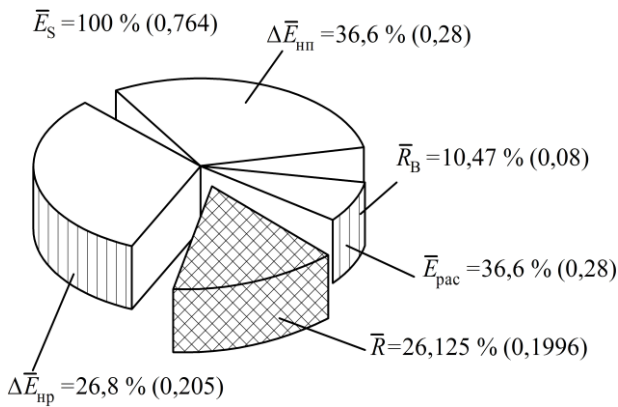


Рисунок 11. – Процентна діаграма енерговитрат стисненого повітря в ударному ПА

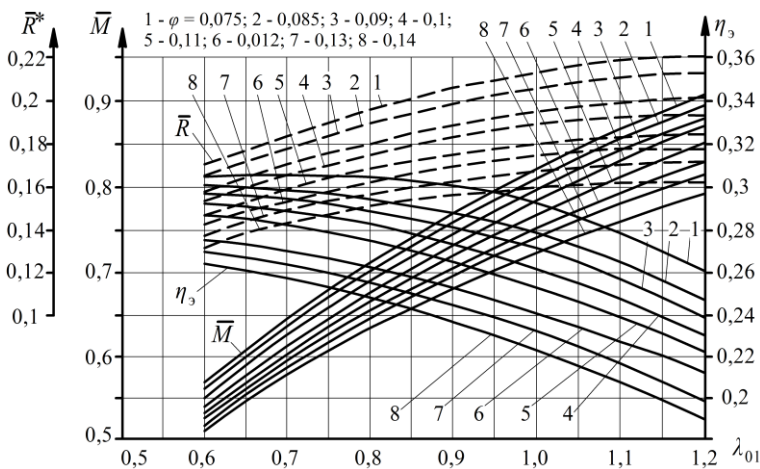


Рисунок 12. – Залежність енергетичних показників ударного ПА від основних критеріїв динамічної подоби

ширення ($\Delta \bar{E}_{\text{нп}}$), втрата працездатності через невідповідність фактичного процесу розширення ідеальному ($\Delta \bar{E}_{\text{нп}}$), робота виштовхування стисненого повітря з вихлопної порожнини (\bar{R}_B). Отримані аналітичні вирази для усіх компонентів енерговитрат. Наприклад, для $\Delta \bar{E}_{\text{нп}}$

Процентна діаграма енерговитрат, що відповідає $\sigma - \lambda$ діаграмі на рис. 10 наведена на рис. 11.

Отримана залежність основних енергетичних параметрів ударного ПА, що працює по схемі № 4: η_3 (ексергічний ККД), \bar{M} (відносна масова кількість стисненого повітря, спожита в процесі одного спрацювання), \bar{R} (безрозмірна корисна робота) від основних критеріїв динамічної подоби (рис. 12). Як видно з цих графіків, якщо зменшення φ одночасно призводить до збільшення \bar{R} і η_3 , то з ростом λ_{01} збільшення \bar{R} супроводжується падінням η_3 за рахунок підвищення \bar{M} .

Результати аналізу енергетичних характеристик ударного ПА дозволяють виявити основні джерела непродуктивних енерговитрат і визначити у просторі безрозмірних критеріїв динамічної подоби область, що забезпечує найефективнішу реалізацію працездатності стисненого повітря.



Рисунок 13. – Стенд для дослідження роботи ударного пневмоагрегата із вбудованим резервуаром

У четвертому розділі викладені результати експериментальних досліджень дослідних макетів ударних ПА, що працюють за схемами керування № 3 і № 4.

Для дослідного макета ПА виготовлений ударний циліндр із вбудованим резервуаром з діаметром поршня $D=160$ мм і діаметром сопла 50 мм. Для забезпечення коректного порівняння результатів дослідного осцилографування робочих процесів у експериментальному макеті ударного ПА і розрахункових перехідних процесів проведена дослідна продувка комутаційних трактів ПА. Показано, що за умови використання дослідних значень ефективних площ комутаційних трактів у ІМ досягається гарне співпадіння результатів натурального і машинного експериментів (для тестового варіанта помилка у часі спрацювання складала 8%, а для швидкості удару 3,8%). Встановлено, що запропоновані схеми ударного ПА мають

потрібну працездатність, тобто дозволяють на короткому проміжку руху ($x^* = 0,1 \div 0,12$ м) розвинути значну швидкість (аж до 6,5 м/с). Експериментально підтверджена одна з найважливіших закономірностей функціонування ударних ПА – протилежний характер впливу тиску підпору p_k для ПА, що працює по схемі № 3 і схемі № 4 (рис. 14), що є доказом адекватності ІМ ударних ПА.

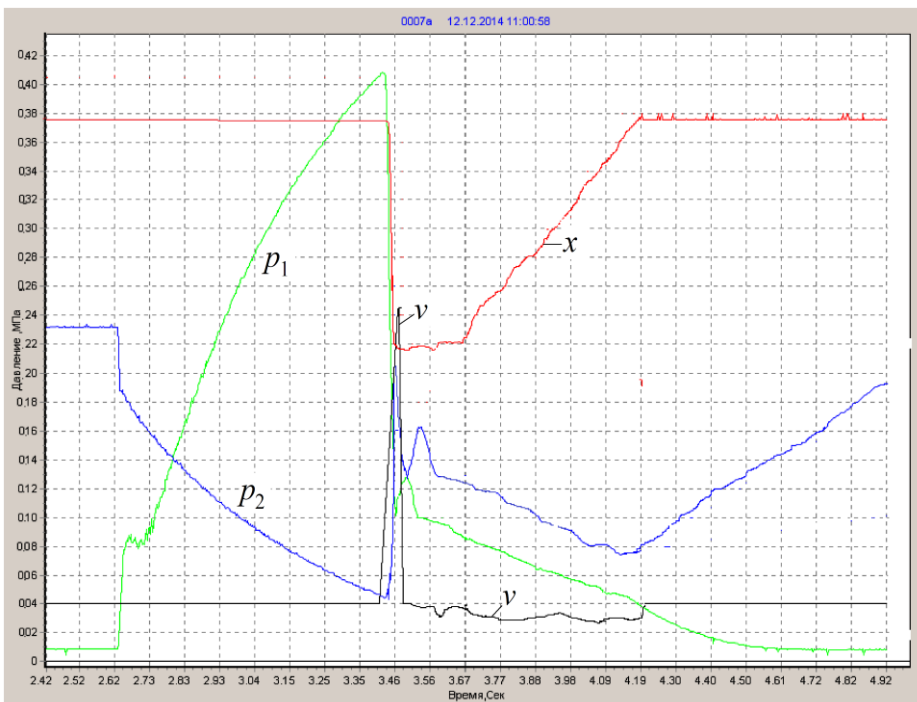


Рисунок 14. – Осцилограма перехідного процесу в ударному ПА (схема № 4) при тисковій підпорі $p_k = 0,25$ МПа

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблені принципи керування і основи динамічного аналізу та синтезу ударних пневмоагрегатів із вбудованим резервуаром, що

забезпечують ефективну реалізацію працездатності стисненого повітря при виконанні ударних операцій, Основні висновки:

1. Обґрунтована пріоритетна схема ударного ПА із вбудованим резервуаром і розроблена універсальна нелінійна імітаційна модель такого ПА як у розмірній так і у безрозмірній формі із виділенням основних критеріїв динамічної подоби.

2. На основі лінійної моделі, що ґрунтується на заміні нелінійних залежностей раціонально підібраними січними, розроблений механічний аналог ударного пневмоагрегата у вигляді різновиду одномасової пружно-в'язкісної моделі Максвелла, рівняння руху якої дозволили отримати гранично компактну імітаційну модель ударного пневмоагрегата.

3. Показано, що використання запропонованої у дисертації системи синхронізації роботи імпульсного пневморозподільника і ударного циліндра при раціональному налаштуванні і керуванні контуром живлення з трьома рівнями тиску забезпечує суттєве покращення динамічних і енергетичних показників і повністю усуває недоліки, притаманні ударним ПА з традиційною схемою керування.

4. Вирішена одна з найважливіших задач динамічного аналізу – вибір оптимальної координати розташування заготівки, при якій досягається максимальна швидкість удару і значення самої цієї швидкості. Використання безрозмірної форми запису імітаційної моделі дозволило отримати не тільки аналітичні залежності для визначення параметрів, але і графіки-номограми у площині основних критеріїв динамічної подоби, що стало основою інженерної методики розрахунку.

5. Отримані як у аналітичній, так і у графічній формі значення критеріїв динамічної подоби φ^* (безрозмірна площа сопла) і Ω^* (безрозмірна площа вихлопного тракту) які забезпечують найефективнішу реалізацію працездатності стисненого повітря у накопичувальній ємності.

6. У якості вирішення однієї із задач динамічного синтезу ударного ПА розроблений графо-аналітичний метод визначення мінімально необхідного об'єму вбудованого резервуару і координати розташування заготівки, що забезпечують задану швидкість удару.

7. При дослідженні енергетичних характеристик використаний ексергічний метод, на основі якого визначені всі компоненти енерговитрат, визначений ексергічний коефіцієнт корисної дії, а також область у площині критеріїв динамічної подоби, де досягаються найкращі енергетичні показники.

8. Проведена експериментальна перевірка працездатності найраціональніших схем керування ударним ПА (схема № 3 і № 4) і доведена повна адекватність імітаційної і фізичної моделей, а також підтверджені найважливіші закономірності функціонування ударних ПА.

9. Результати дисертаційної роботи впроваджені в корпоративі «Гідроелекс» (м. Харків) і в навчальний процес НТУ "ХП".

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Атаманов Ю. Л. Использование пневмоагрегата со встроенным резервуаром в ударных механизмах клеймения металлопроката / Ю. Л. Атаманов,

Г. А. Крутіков, М. Г. Стрижак // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2013. – № 4/7(64). – С. 32-35.

Здобувачем запропонована схема синхронного керування ударного циліндра на основі контура живлення з двома рівнями тиску..

2. Атаманов Ю. Л. Инженерная методика расчёта кинематических параметров ударного пневмоагрегата со встроенным резервуаром / Ю. Л. Атаманов, Г. А. Крутіков, М. Г. Стрижак // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2013. – № 5/7(65). – С. 54-58.

Здобувачем запропонована гіпотеза про замкненість об'ємів циліндра у другій фазі процесу спрацювання ПА і вирішені рівняння ІМ для цього випадку.

3. Атаманов Ю. Л. Повышение экономичности ударных пневмоагрегатов за счёт рационального управления контуром питания / Ю. Л. Атаманов, Г. А. Крутіков, М. Г. Стрижак // Інтегровані технології та енергозбереження. - 2013. – № 4. – С. 51-59.

Здобувачем запропоновані схеми синхронізації роботи циліндра та імпульсного розподільника з використанням контурів живлення з трьома рівнями тиску.

4. Атаманов Ю. Л. Анализ энергетических характеристик ударных пневмоагрегатов со встроенным резервуаром / Ю. Л. Атаманов, Г. А. Крутіков, М. Г. Стрижак // Інтегровані технології та енергозбереження. - 2014. – № 1. – С. 82-91.

Здобувач запропонував використання ексергічного методу для енергетичного аналізу і зробив на цій основі розрахунок усіх компонентів енерговитрат.

5. Атаманов Ю. Л. Выбор структуры и параметров ударного пневмоагрегата со встроенным резервуаром / Ю. Л. Атаманов, Г. А. Крутіков, М. Г. Стрижак // Технологический аудит и резервы производства. - 2014. – № 3/2(17). – С. 23-28.

Здобувачем отримані розрахункові вирази для критеріїв подоби, що забезпечують найефективнішу реалізацію працездатності стисненого повітря в ударних ПА.

6. Атаманов Ю.Л. Влияние структуры и параметров ударного пневмоагрегата на его кинематические и динамические характеристики / Ю. Л. Атаманов, Г. А. Крутіков, М. Г. Стрижак // Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение, - 2014. – №12. – С. 3-8.

Здобувач запропонував нелінійну імітаційну модель і навів результати числових рішень.

7. Атаманов Ю.Л. Достижение импульсного удара в пневмоагрегатах со встроенным резервуаром / Ю. Л. Атаманов, Г. А. Крутіков // Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», частина І. – Харків, 29-31 травня 2013 р. – С. 62.

Здобувач запропонував схему ударного пневмоагрегата, що забезпечує імпульсний удар по заготівці.

8. Атаманов Ю.Л. Кинематический и динамический анализ ударных пневмоагрегатов со встроенным резервуаром / Ю. Л. Атаманов, Г. А. Крутіков,

М. Г. Стрижак // Тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», частина І. – Харків, 2014 р. – С. 87.

Здобувач запропонував формули для інженерного розрахунку кінематичних параметрів ударного ПА.

9. Атаманов Ю. Л. О выборе рациональной структуры, параметров и условий функционирования ударных пневмоагрегатов со встроенным резервуаром / Ю.Л. Атаманов, Г. А. Крутиков, М. Г. Стрижак // Тези доповідей XV Міжнародної науково-технічної конференції «Промислова гідравліка і пневматика». – Мелітополь, 17-19 вересня 2014 р. – С. 68.

Здобувачем викладена програма динамічного аналізу і синтезу ударних ПА із вбудованим резервуаром.

АНОТАЦІЇ

Атаманов Ю.Л. Підвищення експлуатаційних характеристик пневмоагрегатів ударної дії шляхом вибору їх раціональної структури і параметрів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2015.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі покращення експлуатаційних характеристик ударних пневмоагрегатів за рахунок дослідження робочого процесу в них і створення на цій основі методики параметричного аналізу та синтезу цих агрегатів.

Запропонована нова концепція керування ударним пневмоагрегатом, яка ґрунтується на синхронізації роботи ударного циліндра та імпульсного пневморозподільника, що здійснює раціональне керування контуром живлення з трьома рівнями тиску. Розроблена універсальна нелінійна імітаційна модель, як в розмірній так і у безрозмірній формах з виокремленням основних критеріїв динамічної подоби. При створенні лінійної моделі використані нові підходи, які полягають у заміні нелінійних залежностей раціонально підібраними січними і побудові гранично компактною імітаційною моделлю ударного пневмоагрегата на основі рівняння рівноваги механічного аналога у вигляді різновиду пружно-в'язкісної моделі Максвела.

У результаті дослідження цих моделей визначені параметри пневмоагрегата і умови його функціонування, що забезпечують найефективнішу реалізацію працездатності стисненого повітря при ударних операціях.

Запропонована інженерна методика розрахунку кінематичних, динамічних і енергетичних характеристик ударних пневмоагрегатів на основі вирішення як задач динамічного аналізу, так і задач динамічного синтезу.

Ключові слова: ударний пневмоагрегат, імітаційна модель, динамічні характеристики, критерії динамічної подоби, ексергічний аналіз, енергетичні характеристики

Атаманов Ю.Л. Повышение эксплуатационных характеристик пневмоагрегатов ударного действия путем выбора их рациональной структуры и параметров. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2015.

Диссертационная работа посвящена решению научно-практической задачи улучшения эксплуатационных характеристик ударных пневмоагрегатов за счет исследования рабочего процесса в них и создания на этой основе методики параметрического анализа и синтеза этих агрегатов.

Предложена новая концепция управления ударным пневмоагрегатом, которая основывается на синхронизации работы ударного цилиндра и импульсного пневмораспределителя, осуществляющего рациональное управление контуром питания с тремя уровнями давления. Разработана универсальная нелинейная имитационная модель, как в размерной так и в безразмерной формах с выделением основных критериев динамического подобия. В основе модели лежат фундаментальные зависимости термодинамики тела переменной массы, а при нормировании уравнений использован принцип аналогичности тепломеханических систем. При создании линейной модели использованы новые подходы, которые заключаются в замене нелинейных зависимостей рационально подобранными секущими и построение предельно компактной имитационной модели ударного пневмоагрегата на основе уравнения равновесия механического аналога в виде разновидности одномассовой упруго-вязкостной модели Максвелла.

Одной из наиболее важных задач, поставленных и решенных на основе исследования имитационных моделей является выбор конструктивных параметров и давлений настроек контура питания обеспечивающих наиболее эффективное использование работоспособности сжатого воздуха при реализации удара. Результаты решения этих задач представлены как в аналитической форме так и в виде графиков. Причем благодаря использованию критериев динамического подобия с помощью этих графиков удается охватить практически всю область существования подобных пневмоагрегатов.

Предложенная инженерная методика расчетов кинематических, динамических и энергетических характеристик ударных пневмоагрегатов на основе решения как задач динамического анализа, так и задач динамического синтеза. Эти результаты также представлены в безразмерной форме в плоскости критериев динамического подобия и за счет этого охватывают обширную область существования ударных пневмоагрегатов т.е. позволяют распространить результаты исследований на целую группу динамически подобных пневмоагрегатов.

Адекватность имитационной модели и основные результаты теоретических исследований подтверждены путем натуральных испытаний опытного макета ударного пневмоагрегата.

Ключевые слова: ударный пневмоагрегат, имитационная модель, динамические характеристики, критерии динамического подобия, эксергический анализ, энергетические характеристики

J. Atamanov. Increasing the performance of pneumatic percussion by selecting rational structure and parameters. – Manuscript.

Thesis for competition of scientific degree of candidate's of technical science on speciality 05.05.17 - hydraulic machines and hydropneumatic units. National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2012.

The thesis is devoted to solving scientific and practical problem improve the performance of Pneumatic shock through research workflow and create them on this basis parametric methods of analysis and synthesis of these units.

A new concept of control Pneumatic shock, based on the synchronization of stroke and pulsed pneumatic cylinder that provides power management control circuit with three levels of pressure. The universal nonlinear simulation model as well as dimensional and dimensionless forms of dynamic form the main criteria of similarity. When creating a linear model used new approaches which consist in replacing nonlinear dependencies January rational selection and construction is extremely compact Pneumatic shock simulation model based on equilibrium equation as a mechanical analogue kind-viscosity elastic models of Maxwell.

The study defined the parameters of these models Pneumatic and conditions of operation that ensure the most effective implementation of the efficiency of compressed air in shock operations.

The proposed engineering method of calculating kinematic, dynamic and energy characteristics Pneumatic shock based on solving problems as dynamic analysis and synthesis of dynamic problems.

Key words: shock pneumatic unit, simulation model, dynamic characteristics, dynamic similarity criteria, eksergichesky analysis, energy characteristics

Відповідальний за випуск
д.т.н., проф. кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу НТУ “ХП”
Андренко П.М.

Підписано до друку 28.08.2015 р. Формат 60x84/16.
Папір офсетн. Друк – різнографічний. Умовн. друк. арк. 0,9
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Замовлення №

Надруковано у ФО-П Миронов М.В.

Свідоцтво ВО 4 № 022953 від 24.04.2003 р.

61002, м. Харків, вул. Червонопрапорна, 3
