

ГІДРАВЛІЧНИЙ ГАСНИК ДИНАМІЧНИХ КОЛИВАНЬ

Леонід Пелевін, Микола Карпенко

Київський національний університет будівництва і архітектури,
03680, Повітофлотський просп. 31, Київ, Україна, e-mail: Karpenkonikolay1994@ukr.net

THE HYDRAULIC QUENCHER DYNAMIC VIBRATIONS

Leonid Pelevin, Mykola Karpenko

Kyiv National University of Construction and Architecture, 03680, Povitoflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ. Проведено огляд та аналіз існуючих амортизуючих пристроїв. Розглянуто метод динамічного гасіння коливань. Складено математичну модель для визначення часу запізнення спрацювання гідравлічної системи гасіння динамічних коливань, значення якого дозволяє створювати гідравлічні системи гасіння коливань, що вчасно реагують на динамічні коливання. Проведено розрахунок періоду сколювання ґрунту при роботі розпушника та часу запізнення спрацювання гасника динамічних коливань, на основі яких встановлюється здатність гідравлічної системи гасіння динамічних коливань вчасно спрацювати, щоб забезпечити неможливість передачі коливань до базової машини. Розроблено гідравлічну систему гасіння динамічних коливань, що виникають на робочому органі, для запобігання передачі цих коливань до базової машини.

Ключові слова: гасник, динамічні коливання, гідравлічна система, час запізнення спрацювання, період сколювання ґрунту.

АННОТАЦИЯ. Проведен обзор и анализ существующих амортизирующих устройств. Рассмотрен метод динамического гашения колебаний. Составлена математическая модель для определения времени запаздывания срабатывания гидравлической системы гашения динамических колебаний, значение которого позволяет создавать гидравлические системы гашения колебаний, вовремя реагирующих на динамические колебания. Проведен расчет периода скалывания грунта при работе рыхлителя и времени запаздывания срабатывания гасителя динамических колебаний, на основе которых устанавливается способность гидравлической системы гашения динамических колебаний вовремя срабатывать, чтобы обеспечить предотвращение передачи колебаний к базовой машины. Разработана гидравлическая система гашения динамических колебаний, возникающих на рабочем органе, для предотвращения передачи этих колебаний к базовой машине.

Ключевые слова: гаситель, динамические колебания, гидравлическая система, время запаздывания срабатывания, период скалывания грунта.

ABSTRACT. Purpose. The carrying out review and analysis of the develop hydraulic system for quenching dynamic oscillations. Made the mathematical model for determining the time delay operation of the hydraulic system of dynamic quenching of oscillations. **Methodology/approach.** Was made a calculation of the period of cleavage of the soil and the time delay operation quench dynamic oscillations from which it is possible in theory to establish the ability of the hydraulic system of dynamic quenching oscillations in time operate. **Findings.** Was developed hydraulic system dynamic quenching oscillations that occur in working unit to prevent the transmission of vibrations to the base of the machine. **Research limitations/implications.** The analysis of the damper means and the method of dynamic damping on which developed hydraulic system for quenching dynamic oscillations. Was build mathematical sequence determination the time delay operation of the quencher. **Originality/value.** Parameters allow you to construct experimental model hydraulic system quenching of dynamic oscillations.

Key words: quencher, the dynamic oscillations, hydraulic system, the time lag response, period cleavage soil.

Подано 4.03.2014 ; прийнято 24.03.2014

ВСТУП

В будівництві часто виникають роботи, які неможливо виконати звичайними машинами. В такому випадку застосовують спеціальну техніку, яка обладнана органами активної дії і застосовується для земляних операцій.

Одним з недоліків даної спеціальної техніки - передавання коливань від робочого органа до базової машини, що супроводжу-

ється передчасним спрацюванням деталей даної базової машини, які не беруть участі в руйнуванні ґрунту.

Вирішити вищенаведену проблему допоможе амортизуюче обладнання, яке ізолюватиме переміщення коливань від робочого органа до базової машини.

Враховуючи, що нинішні амортизуючі пристрої не достатньо ефективні, постає задача проектування нової гідравлічної системи гасіння динамічних коливань та по-

будови математичної моделі для визначення одного із головних параметрів нової системи, а саме: визначення часу запізнення спрацювання гідравлічної системи гасіння динамічних коливань для оцінювання, вчасності, спрацювання на задані динамічні коливання.

МЕТА СТАТТІ

На основі аналізу методу динамічного гасіння коливань та аналізу амортизуючих пристроїв, розробити:

- математичну модель для визначення часу запізнення спрацювання гідравлічної системи гасіння динамічних коливань;
- власну гідравлічну конструкцію для гасіння динамічних коливань, які виникають на робочому органі для неуможливлення їхньої передачі до базової машини.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У техніці часто виникає необхідність гасіння коливань, що передаються на машину від її робочого обладнання. В основному – це машини з динамічними (активними) робочими органами. Внаслідок роботи, коливання можуть передаватися на машину і нести руйнівний характер. Для неможливості передавання коливань від робочого органа до базової машини застосовують так звані пружні елементи, які намагаються гасити коливання, що передаються до базової машини. Основним методом гасіння коливань є так званий – метод динамічного гасіння коливань [1].

Метод динамічного гасіння коливань полягає в приєднанні до об'єкта віброзахисту додаткових пристроїв з метою зміни його вібраційного стану. Робота динамічних гасників базується на гасінні силових дій, переданих на об'єкт. Цим динамічне гасіння відрізняється від іншого способу зменшення вібрації, що характеризується накладенням на об'єкт додаткових кінематичних зв'язків, наприклад, закріплення окремих його точок.

Зміна вібраційного стану базової машини при приєднанні динамічного гасника може здійснюватися як шляхом перерозпо-

ділу коливальної енергії від об'єкта до гасника, так і у напрямі збільшення розсіювання енергії коливань. Перше реалізується зміною настроювання системи об'єкт-гасник стосовно частот вібраційних збуджень шляхом корекції пружно-інерційних властивостей системи. В цьому випадку приєднані до об'єкта пристрої називають інерційними динамічними гасниками. Інерційні гасники застосовують для пригнічення моногармонійних або вузькосмугових випадкових коливань.

Під час дії вібраційних навантажень більш широкого частотного діапазону переважним є другий спосіб, що базується на підвищенні дисипативних властивостей системи шляхом приєднання до об'єкта додаткових спеціально демпферних елементів. Динамічні гасники дисипативного типу отримали назву поглиначів коливань [1]. Можливі і комбіновані способи динамічного гасіння, що використовують одночасну корекцію пружно-інерційних і дисипативних властивостей системи. В цьому випадку говорять про динамічні гасники з тертям.

При реалізації динамічних гасників протидія коливанням об'єкта здійснюється за рахунок реакцій, які передаються на нього приєднаними тілами. З цієї причини значні зусилля при обмежених амплітудах мас, що коригують, можуть бути досягнуті лише за великою масою (моменту інерції) приєднаних тіл, складаючих, як правило, зазвичай $\approx 5...20$ % приведеної маси (моменту інерції) початкової системи за відповідною формою коливань, в межах частоти, гасіння якої виконується відповідно [1].

Як правило, динамічні гасники використовують для досягнення локального ефекту: зниження віброактивності об'єкта в місцях кріплення гасників. Часто це може бути пов'язано навіть з погіршенням вібраційного стану об'єкта в інших – менш відповідних місцях.

Динамічні гасники можуть бути конструктивно реалізовані на основі пасивних елементів (рис.1) (мас, пружин, ресорі, демпферів) і активних, таких, що мають власні джерела енергії.

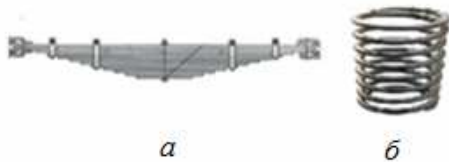


Рис. 1. Загальний вигляд амортизуючих пасивних елементів *a* – ресора; *б* – пружина

Fig. 1. The overall look of shock absorbing passive elements *a* – spring (of vehicle); *b* – spring

В останньому випадку, йдеться мова про застосування систем автоматичного регулювання, що використовують електричні, гідравлічні і пневматичні керовані елементи. Вдалим є їхнє комбінування з пасивними пристроями, прикладом якого є амортизатор, зображений на рис. 2.

Використання активних елементів роз-



Рис. 2. Загальний вигляд амортизатора
Fig. 2. General view of the shock absorber

ширює можливості динамічного віброгасіння, оскільки дозволяє проводити безперервне підстроювання параметрів динамічного гасника у функції збуджень, що діють, і, отже, здійснювати гасіння в умовах змінних вібраційних навантажень. Аналогічний результат може бути досягнутий іноді і за допомогою пасивних пристроїв, що мають нелінійні характеристики.

Амортизатор - пристрій, що перетворює механічну енергію в теплову та служить для гасіння коливань (демпфірування) і поглинання поштовхів і ударів, діючих на корпус (раму). Амортизатори застосовуються спільно з пружними елементами: пружинами або ресорами, подушками і т. п.

Гідравлічні амортизатори набули найбільшого поширення. У гідравлічних аморти-

заторах сила опору залежить від швидкості переміщення штока. Робоче тіло - масло. Принцип дії амортизатора полягає в зворотньо-поступальному русі поршня амортизатора, який через невеликий отвір перепускає масло з однієї камери в іншу, перетворюючи механічну енергію в теплову.

На сьогодні найбільш розповсюдженими рішеннями для пристроїв гасіння коливань є такі в яких застосовуються гідравлічні елементи. Гідравлічні демпфери, на відміну від фрикційних, мають більшу тривалість роботи та можуть демпферувати коливання невеликої амплітуди.

На рис. 3 зображена конструкція демпфера, який містить регулювальний гвинт. За його допомогою змінюється величина опору перетіканню рідини по каналу і таким чином регулюється час заспокоювання відповідно до [2].

В наш час найбільш перспективним є саме гідравлічна система гасіння коливань, що спроектована на базі амортизаторів та гідравлічних демпферів.

В проектуванні гідравлічних систем гасіння динамічних коливань необхідно враховувати динамічні характеристики систем, до яких, зокрема, відносяться швидкість передавання сигналів і сумарна швидкодія системи, коливання тиску в різноманітних точках системи (включаючи гідравлічні удари), усталеність системи і якість перехідних процесів.

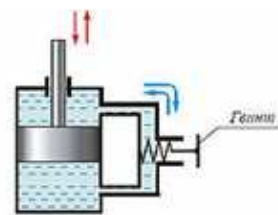


Рис. 3. Рідинний демпфер з регулювальним гвинтом

Fig. 3. Liquid dampers adjusting screw

Рух виконавчого механізму настає завжди з деяким запізненням стосовно вхідного сигналу. Визначення розміру запізнення дозволяє виконати динамічний розрахунок системи, сумарний час спрацьовування, а також необхідність введення відповідних ланок для компенсації запізнювання залеж-

но від частоти керуючого сигналу і встановлення часу подачі відповідних імпульсів.

Для виконання розрахунків необхідно знати основні параметри системи, включаючи розміри трубопроводів, гідравлічні і механічні опори, властивості робочої рідини і гідравлічних апаратів, характеристики джерел гідравлічної енергії [3].

Сумарний час запізнення спрацювання двигуна може бути в першому наближенні визначено за формулою:

$$t_3 = \frac{\Delta V + V_1}{Q_n + 0,5Q_b}, \quad (1)$$

де ΔV – зменшення обсягу рідини в системі при збільшенні тиску на величину Δp (м^3); V_1 – об'єм рідини, потрібної для заповнення додаткових об'ємів у системі (м^3); Q_b – виток в системі за робочим тиском ($\text{м}^3/\text{с}$); Q_n – мінімальна витрата рідини в системі ($\text{м}^3/\text{с}$)

В такому разі Q_n та V_1 визначатимуться з формули:

$$Q_n = \frac{17,1 \cdot N_n}{P_n}, \quad (2)$$

де N_n – потужність гідроприводу (кВт); P_n – номінальний тиск гідросистеми (МПа).

Об'єм рідини, потрібної для заповнення додаткових об'ємів у системі (V_1), дорівнює 5...10% від всього об'єму рідини в гідросистемі ($V(\text{м}^3)$). Загальний об'єм рідини в гідросистемі розраховується за формулою:

$$V = V_{\text{труб.}} + V_{\text{облад.}} \quad (3)$$

де $V_{\text{облад.}}$ – об'єм гідравлічної рідини, що знаходиться у обладнанні гідросистеми (м^3); $V_{\text{труб.}}$ – об'єм гідравлічної рідини, що знаходиться у трубопроводі гідросистеми (м^3), який розраховується рівнянням:

$$V_{\text{труб.}} = \frac{\pi D^2}{4} L, \quad (4)$$

де L – сумарна довжина трубопроводів системи (м); D – внутрішній діаметр трубопроводу гідросистеми (м^2), обраховується за формулою:

$$D = 4,5 \sqrt{Q_n / W}, \quad (5)$$

де W – швидкість руху рідини в гідросистемі при заданному тиску (м/с).

$$V_1 = (0,05 \dots 0,1) V. \quad (6)$$

З першого наближення часу запізнення спрацювання двигуна (1) отримаємо рівняння:

$$t_3 = \frac{\Delta V + V_1}{Q_n} \frac{1}{1 - \frac{Q_b}{2Q_n}}. \quad (7)$$

З урахуванням, що:

$$Q_b = K_b P, \quad (8)$$

де P – робочий тиск у системі (МПа); K_b – коефіцієнт витoku рідини ($\text{кВт}/\text{МПа}^2$), який отримаємо з рівняння:

$$K_b = j \frac{61,2 N_n}{P^2}, \quad (9)$$

де j – коефіцієнт, що змінює одиниці вимірювання з л/хв. на $\text{м}^3/\text{с}$ і має значення 0,278.

В такому разі зменшення обсягу рідини в системі при збільшенні тиску на величину Δp розраховується за формулою:

$$\Delta V = \delta S_1 L, \quad (10)$$

де δ – коефіцієнт зменшення обсягу рідини, який залежить від робочого тиску; S_1 – поперечний переріз внутрішнього діаметра трубопроводу гідросистеми (м^2).

Причому S_1 розраховується за формулою:

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (11)$$

В кінцевому порядку отримаємо спрощене рівняння визначення запізнення спрацювання, швидкодії, яке матиме вид:

$$t_3 = \frac{\delta S_1 L + V_1}{Q_n - 0,5 K_b P}. \quad (12)$$

Із залежності очевидно, що для зменшення часу запізнення спрацювання необхідно, щоб:

- 1) робочі канали і трубопроводи були максимально короткими і жорсткими;
- 2) об'ємні втрати були знижені до мінімуму;
- 3) подача насоса повинна бути значною.

Взагалі, швидкодія гасника динамічних коливань, визначається для кожної конкретної системи за умови, що сигнал може передаватися з визначеним запізненням, але швидкодія повинна бути такою, щоб не порушувати стабільності роботи усього контура.

Для цього нам потрібно знати період сколювання ґрунту, тобто потрібно знайти час, за якого динамічний робочий орган розпушника робить один повний цикл свого руху (T_c) [4], і є величиною оберненою до середньої частоти коливань максимумів сили різання ґрунту \bar{n}_m , і визначається за формулою:

$$T_c = \frac{1}{\bar{n}_m}; \text{ (с)} \quad (13)$$

$$\bar{n}_m = \frac{\bar{n}_0}{0,63 \dots 0,87}; \left(\frac{1}{c}\right), \quad (14)$$

де $\bar{n}_0 = (2,0 \dots 2,8) \frac{V_{\text{роб.ор.}}}{H} \left(\frac{1}{c}\right)$ – середня

частота коливань сили різання ґрунту, H – глибина розпушення (м), $V_{\text{роб.ор.}}$ – швидкість робочого органа.

Визначаємо залежність часу запізнення спрацювання гасника динамічних коливань від параметрів гідросистеми.

Припустимо, що певний динамічний орган працює у скельному ґрунті на глибині $H = 0,3$ (м), в такому разі швидкість динамічного органа дорівнює $V = 3$ (м/с).

Перш за все визначаємо період сколювання ґрунту:

$$T_c = \frac{1}{\bar{n}_m} = \frac{1}{15,3} = 0,09 \text{ с.}$$

Визначаємо із залежності (14) середню частоту коливань сил різання:

$$\bar{n}_m = \frac{\bar{n}_0}{0,63 \dots 0,87} = \frac{13,3}{0,87} = 15,3 \left(\frac{1}{c}\right).$$

$$\bar{n}_0 = (2,0 \dots 2,8) \frac{V_{\text{роб.ор.}}}{H} = 2 \cdot \frac{2}{0,3} = 13,3 \left(\frac{1}{c}\right).$$

Вихідні дані гідросистеми гасіння динамічних коливань:

$N_H = 100$ кВт; $P_H = 25$ МПа; $P = 30$ МПа; $L = 20$ м; $W = 4.25$ м/с.

Проведемо розрахунки:

$$Q_H = \frac{17,1 \cdot 100}{25} = 68,1 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$D = 4,5 \cdot \sqrt{68,1/4,25} = 18 \text{ мм};$$

$$V_{\text{труб.}} = \frac{3,14 \cdot 0,018^2}{4} \cdot 20 = 0,0051 \text{ м}^2;$$

$$V_1 = (0,0051 + 0,0549) \cdot 0,1 = 0,006 \text{ м}^3;$$

$$S_1 = \frac{3,14 \cdot 0,018^2}{4} = 0,00026 \text{ м}^2;$$

$$K_B = 0,278 \frac{61,2 \cdot 100}{30^2} = 1,89 \text{ кВт/МПа}^2;$$

$$t_3 = \frac{30 \cdot 0,00026 \cdot 20 + 0,006}{68,1 - 0,5 \cdot 1,89 \cdot 30} = 0,004 \text{ с.}$$

З отриманого прикладу можна зробити висновок, що швидкодія системи гасіння коливання задовольняє заданій умові роботи даного динамічного органа, так як запізнення спрацювання складає менше 15% від періоду сколювання ґрунту.

Змінюючи параметри гідравлічної системи гасіння динамічних коливань, а саме – подачу гідрорідини в системі та коефіцієнт зменшення обсягу рідини, і підставляючи у даний розрахунок, будемо графік залежності часу запізнення спрацювання гідравлічної системи гасіння динамічних коливань(швидкодії) від подачі гідрорідини системи (рис.4) та від коефіцієнта зменшення обсягу рідини (рис.5)

Змінюючи коефіцієнт зменшення обсягу рідини, та подачу гідрорідини системи отримаємо регульовану систему гасіння динамічних коливань.

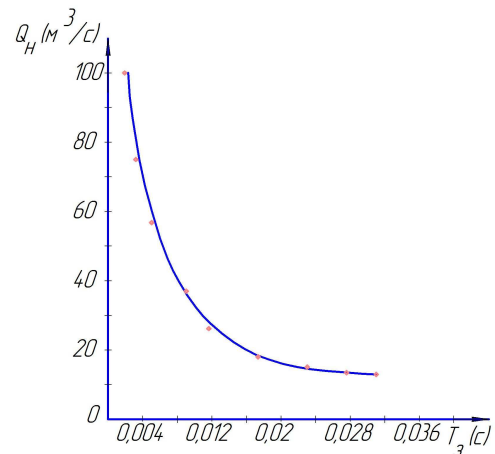


Рис. 4. Графік залежності часу запізнення спрацювання гідравлічної системи гасіння динамічних коливань від подачі гідравлічної рідини системи

Fig. 4. Graph of the time delay operation hydraulic blanking dynamic fluctuations of supply of hydraulic fluid

Для підвищення ефективності гасіння динамічних коливань був розроблений гідравлічний гасник динамічних коливань, до

основи якого покладено використання вище наведеної системи.

Гасник динамічних коливань (рис.6,7) працює наступним чином.

Коливання, які передаються від робочого органа до базової машини гасяться за допомогою гасника динамічних коливань 1.

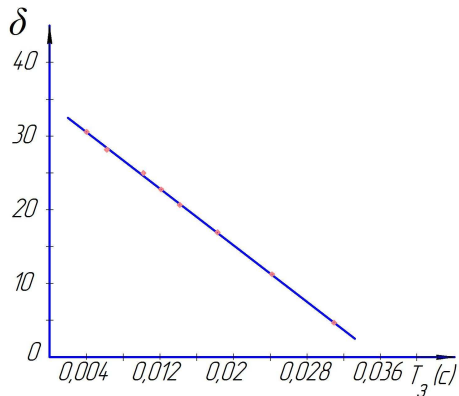


Рис. 5. Графік залежності часу запізнення спрацювання гідравлічної системи гасіння динамічних коливань від коефіцієнта зменшення обсягу рідини

Fig. 5. Graph of the time delay operation hydraulic blanking dynamic fluctuations of coefficient reduce the amount of fluid

При коливальній праці активного органа шток 3 намагається відтворювати коливальні рухи у корпусі 2. При цьому, коли напрям коливального руху відтворюється, наприклад, вліво, за рахунок переміщення робочої рідини крізь дросильючі отвори 6 поршня 4, штоковий перекирвальний клапан 8 та поршневий перекирвальний клапан 11 рухаються вправо. При цьому штоковий перекирвальний клапан 8 притискається до штокової шайби 7. Тим часом поршневий перекирвальний клапан 11 притискається до поршня 4, перекирваючи дросильючі отвори 6, внаслідок чого рідина починає перетікати через прохідні отвори 12, за яким гаситься рух штоку 3 вліво. Після того як поршень 4 досягає геркона 14, магнітне поле від магніта постійної дії 5 замкне контакти геркона 14, (рис.7,б). Сигнал поступить на запобіжне реле 22, яке замкне

нормально відкритий контакт 23. Він, в свою чергу, увімкне реле затримки виключення 24. Після чого реле затримки виключення 24 замкне контакт 25, який увімкне електромагнітне керування 21. Електромагнітне керування 21 перемикає розподільник 18 у ліве положення. Гідронасос 15 через регульований дросель із зворотним клапаном 26, який регулює подачу гідравлічної рідини, розподільник 18 та напірну магістраль 19 подає додаткову порцію рідини у поршневу порожнину гасника динамічних коливань 1. Надлишок рідини витікає із штокової порожнини гасника динамічних коливань 1 через зливну магістраль 20 та розподільник 18 до баку з гідрорідиною 16. Коли шток 3 рухається вправо, за рахунок переміщення робочої рідини крізь дросильючі отвори 6, штоковий перекирвальний клапан 8 та поршневий перекирвальний клапан 11 рухаються вліво. Поршневий перекирвальний клапан 11 притискається до поршневої шайби 10, а штоковий перекирвальний клапан 8 притискається до поршня 4 перекирваючи дросильючі отвори 6. Внаслідок чого рідина починає перетікати через прохідні отвори 9, гасячи рух штока 3 вправо. Після того, як поршень 4 віддаляється від геркона 14 і магнітне поле магніта постійної дії 5 перестане впливати на геркон 14 (контакти геркона 14 розімкнуться), сигнал перестане подаватися до нормально відкритого контакту 23. Він, в свою чергу, розімкнеться вимикаючи реле затримки виключення 24. Воно деякий час працюватиме, даючи можливість гідронасосу 15 подати декілька порцій додаткової рідини у поршневу порожнину гасника коливань 1, для подальшого відводу поршня 4 від геркона 14. Після того як реле затримки виключення 24 вимкне контакт 25, електромагнітне керування 21 перемикає розподільник 18 у крайнє праве положення, після чого подача додаткової порції рідини до гасника динамічних коливань 1 закінчиться.

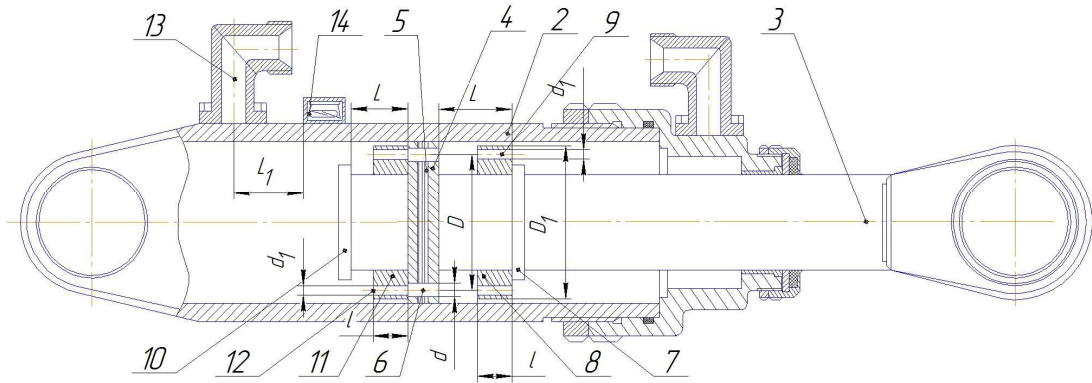


Рис. 6. Гасник динамічних коливань
Fig. 6. Quencher dynamic fluctuations

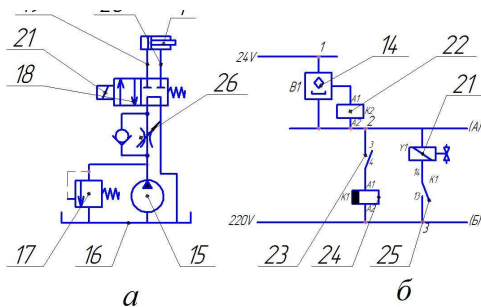


Рис. 7. Гідравлічна схема керування гасником динамічних коливань *а* та електрична схема керування розподільником *б*

Fig. 7. The hydraulic circuit control quencher dynamic oscillations *a* and electrical circuit control distributor *b*

Внаслідок роботи гасника динамічних коливань I зменшуються динамічні коливання на базову машину, під час роботи робочих органів активної дії.

ВИСНОВКИ

1. Виходячи із аналізу амортизуючих пристроїв для динамічного гасіння коливань в гідравлічній системі, побудована математична модель процесу визначення часу запізнення їхнього спрацювання, яка дозволяє проектувати ці системи.

2. На основі отриманих значень побудовані графіки залежності: часу запізнення спрацювання гідравлічної системи гасіння динамічних коливань від коефіцієнта зменшення обсягу рідини та від подачі гідравлічної рідини. Змінюючи дані параметри системи спроектована регульована гідрав-

лічна система гасіння динамічних коливань.

3. Розроблено нову конструкцію гідравлічної системи гасіння динамічних коливань з можливістю змінювання параметрів подачі.

4. Запропонована конструкція забезпечує регульовану віброізоляцію базової машини від коливань навісного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Челомей В.Н.* Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. / Ред. Совет: (пред.).-М.: Машиностроение, 1981.-Т. 6. - 456с.
2. *Рідиний демпфер*, 2014 Опубліковано на: <http://www.uk.wikipedia.org/wiki/Демпфер> (опубліковано 1 лютого 2014).
3. *М. Гийом.* Исследование и расчет гидравлических систем.-М.: Машиностроение, 1964. – 387с.
4. *Ветров Ю.А., Власов В.В.* Машины для земляных работ. Приклады расчета : Навч. посібник. – К.:ІСДО, 1995. –304 с.

REFERENCES

1. *Chelomej V.N.*, 1981. Vibracii v tehnikе: Spravochnik: V 6 t. Red. Sovet: (pred.). M.: Mashinostroenie, T. 6., 456.
2. *Ridiniy dempfer*, 2014 Available at: <http://www.uk.wikipedia.org/wiki/Dempfer> (accessed 1 February 2014).
3. *M. Gijom.* 1964. Issledovanie i raschet gidravlicheskih sistem.-M.: Mashinostroenie, – 387.
4. *Vetrov Ju.A. Vlasov V.V.* 1995. Mashini dlja zemljanih robot. Prikladi rozrahunku: Navch. posibnik. K.:ISDO, 304.