

УДК 621.22

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ГАСИТЕЛІВ ПУЛЬСАЦІЙ ТИСКУ РОБОЧОЇ РІДИНИ

Свинаренко М.С., магістр*

Національний Технічний Університет "Харківський політехнічний інститут"
Тел. (57) 707-61-28

Анотація – робота присвячена розробці інженерної методики проектування гідравлічних гасителів пульсацій тиску робочої рідини з автоматичним підстроюванням параметрів у об'ємних гідроагрегатах.

Ключові слова – гаситель пульсацій тиску, гідроагрегат, розрахунок, проектування.

Постановка проблеми. В сучасних умовах розвитку ринкової економіки України найважливішим фактором успішної діяльності підприємств є підвищення якості і зниження собівартості продукції. Стосовно об'ємних гідроагрегатів, які найбільш повно задовольняють вимогам ощадливої витрати матеріалів і енергоресурсів та забезпечують високі показники ККД і надійності, є зменшення шуму та вібрації, що виникають при їх роботі, значення яких регламентовано відповідними Держстандартами. Сьогодні існує два шляхи вирішення цієї важливої науково-практичної задачі. Перший – це зменшення пульсацій тиску робочої рідини (РР) на виході з об'ємної гідромашини які виникають внаслідок нерівномірної подачі та опору гідравлічної системи, за рахунок удосконалення конструкції розподільчого вузла. Та другий – застосування гідравлічних гасителів пульсацій тиску РР, що на нашу думку є найбільш перспективним, так як технологічні можливості удосконалення конструкцій об'ємних гідромашин багато в чому вже вичерпані.

Аналіз методів розрахунку і проектування гідравлічних гасителів пульсацій тиску РР. Їх основою є математичний опис нестационарних гідромеханічних процесів які відбуваються в елементах об'ємних гідроагрегатів. Цим питанням присвячені роботи Глікмана Б.Ф., Коллека В, Коробочкіна Б.Л., Лур'є З.Я., Панченка А.І., Попова Д.М., Склярєвського О.М., Струтинського В.Б., Яхно О.М. та ін. На основі аналізу математичних залежностей, які описують робочі процеси, що відбуваються в гасителі, визначають його конструктивні і робочі па-

раметри, розробляють робочі креслення, проводять експериментальні дослідження, уточнюють математичну модель. Проаналізуємо математичні моделі присвячені опису нестационарних гідромеханічних процесів, що знайшли висвітлення в літературних джерелах.

У роботі [1] нестационарний рух РР у гідроагрегаті описано системою безрозмірних диференціальних рівнянь, рішення якої здійснюється методом характеристик який ефективно працює при розрахунку несталих плинів з нульовими початковими умовами. При математичному описі гідродинамічних процесів у гасителі пульсацій тиску ми маємо справу з пульсуючим плинном РР, у якому немає моменту часу, коли всі швидкості дорівнюють нулю, тобто апіорі не відомі значення нульових умов. Це робить використання даного методу малоприматним. Нерідко для рішення цієї проблеми використовується метод "розрахунку на встановлення". У цьому випадку спочатку приймають нульові початкові умови і одним з сіткових методів послідовно розраховується кілька циклів підряд. Розрахунок робиться доти, поки результати не зациклуються, тобто відхилення розрахункових значень через період стають дуже малими. Такий чисельний метод є істотно трудомістким.

У роботі [2] розглянуто метод гармонійної лінеаризації. Його використання вимагає обчислення коефіцієнтів гармонійної лінеаризації, які визначені в літературних джерелах тільки для обмеженого кола типових нелінійностей і обчислення яких являє певні труднощі. Надалі отримані методом гармонійної лінеаризації математичні моделі розв'язуються за допомогою перетворення Лапласа, та умови малого відхилення всіх без винятку параметрів гідроагрегата від їх сталих значень.

У статтях [3, 4] наведено принципові схеми гасителів пульсацій тиску РР та залежності для визначення співвідношення довжини каналів. Однак, наведені залежності не враховують зміну об'єму проточної порожнини гасителя та не дозволяють проаналізувати вплив, змінних у часі, параметрів пружних елементів та РР на характеристики гасителя, визначити його раціональні конструктивні та робочі параметри.

У роботі [5] наведено методу проектування, яка основана на електроаналогії, та, при використанні якої, накладається ряд обмежень, пов'язаних з розмірами гасителя та часом проходження нестационарних робочих процесів ньому. Ця методика не враховує зміну параметрів пружних елементів та проточної порожнини гасителя. Крім того, її використання потребує проведення попередніх експериментальних досліджень. У роботі [6] для побудови математичних моделей гасителів пульсацій тиску РР запропоновано використовувати метод стоячих хвиль. Однак, цей методи не враховує сили тертя, обумовленої пульсацією РР, зміну площі перерізу каналів та трубопрово-

дів, об'єму проточної порожнини та пружних елементів гасителя, а отже не може бути цілком використаний при математичному описі робочих процесів гасителя пульсацій тиску РР.

У статті [7] наведено математичну модель гасителя пульсацій тиску РР, побудовану з використанням метода Ейлера, але в ній відсутні рекомендації, щодо визначення його раціональних конструктивних і робочих параметрів, не враховано зміну об'єму проточної порожнини та пружних елементів гасителя, параметрів РР. Використання наведених математичних моделей є досить трудомістким. Диференційні рівняння, які описують нестационарний рух РР у гідроагрегаті і можуть бути використані при математичному описі робочих процесів у гасителі, наведені в статті [8]. Їх розв'язання здійснюється методом різницевих схем Рунге-Кутта-Фельберга, з визначеним кроком дискретизації. Однак, таке розв'язання не враховує запізнення імпульсів тиску, в межах ділянки трубопроводу (каналу) гідравлічного пристрою, що може призвести до значних похибок, особливо у системах, що працюють з великою циклічністю, якою і є гаситель. Ці рівняння також не враховують зміну об'єму проточної порожнини та пружних елементів гасителя, параметрів РР.

Більш повне відображення цієї проблеми знайшло у статті [9], де наведені математичні моделі гасителів, побудовані з використанням метода Фур'є, і, які можуть бути використані при визначенні їх раціональних, конструктивних і робочих параметрів. Однак, наведена математична модель не враховує зміну об'єму проточної порожнини та пружних елементів гасителя, параметрів РР, в ній не розглядаються питання оптимізації параметрів гасителя.

Математична модель інтерференційного перетворювача пульсацій тиску, отримана шляхом зосередження параметрів за Г- та Т-образними схемами наведена у статті [10]. Вона може бути використана при побудові математичних моделей гасителів пульсацій тиску РР. Але як і в попередніх роботах в ній не враховується зміна об'єму проточної порожнини та пружних елементів гасителя, параметрів РР, не розглядаються питання оптимізації параметрів гасителя. Таким чином визначення конструктивних і робочих параметрів гасителів на основі проведення всебічних аналітичних досліджень з використанням оптимізації є актуальною науковою задачею.

Мета статті. Метою даної статті є розроблення методики розрахунку і проектування гасителів пульсацій тиску РР з автоматичним підстроюванням параметрів у складі об'ємного гідроагрегата.

Основна частина. Гідравлічний гаситель пульсацій тиску РР з автоматичним підстроюванням параметрів представлений на рис.1 і 2 [11]. Після насосу РР подається у вхідний патрубок 2 гасителя і далі в центральну трубу 4.

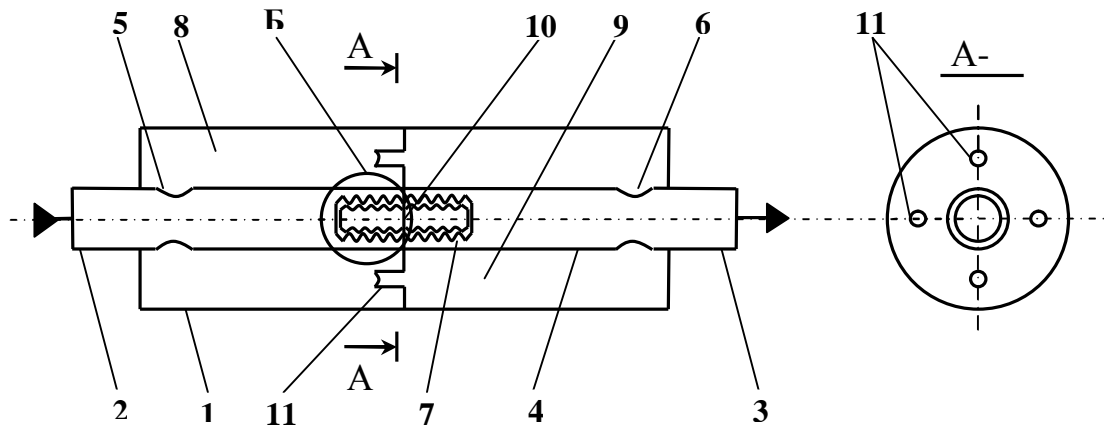


Рис. 1. Схема гасителя пульсацій тиску РР:

1- корпус; 2 і 3 – відповідно вхідний і вихідний патрубки; 4 - центральна труба; 5 і 6 – отвори; 7, 12 - пружні блоки зі змінною жорсткістю (сильфони); 8 і 9 - проточні порожнини; 10 – перегородка; 11 – короткі звужені патрубки

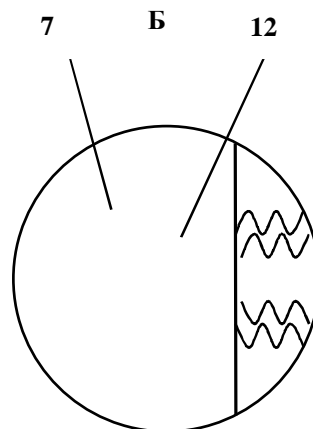


Рис. 2. Вид гасителя пульсацій тиску РР з боку порожнини 8

Через отвори 5 центральної труби 4 РР потрапляє в проточну порожнину 8, де частина акустичної енергії від насоса накопичується. Потім ця ж частка енергії повертається назад до насоса, завдяки чому відбувається часткове гашення пульсацій тиску РР в проточній порожнині 8. При проході РР крізь короткі звужені патрубків 11, знову відбувається часткове гашення пульсацій тиску РР, тепер за рахунок інерційного опору каналів патрубків 11. З каналів патрубків 11 РР потрапляє в проточну порожнину 9, в якій знову відбувається часткове гашення пульсацій тиску РР, аналогічно як і у проточній порожнині 8. З проточної порожнини 9 РР через отвори 6, центральну трубу 4 потрапляє в вихідний патрубок 3. Таким чином, зменшення пульсацій тиску РР на виході з гасителя досягається за рахунок одночасного прояву

акумулюючих властивостей проточних порожнин 8 і 9 і інерційних властивостей звужених патрубків 11.

При пульсуючій течії РР в проточних порожнинах 8 і 9 гасителя і з'єднуючих їх отворів 5 і 6 і патрубків 11, виникає інерційний перепад тисків, що змінюється за періодичним законом. Під дією цього перепаду тисків коливаються пружні блоки 7, генеруючи за рахунок свого руху витрату, що змінюється також за періодичним законом. Проточні порожнини 8 і 9 із патрубками 11 і центральною трубою 4 мають інерційний опір, а блок 7 – пружний, їхнє паралельне з'єднання являє коливальний контур, у якому змінна складова витрати, через центральну трубку 4, як з одної сторони, так із другої, зрушені стосовно витрати, що генерується, за рахунок руху пружного елемента 7, на 180° . В області частот, близьких до резонансної частоти контуру, обидві складові витрати стають рівними, і величина змінної витрати за гасителем дорівнює нулю, тобто гаситель має нескінченно великий акустичний опір. При зміні чи величини тиску в гідроагрегаті, чи амплітуди його пульсацій, що пов'язане зі зміною навантаження в ньому відбувається зміна жорсткості пружного елемента 7 за рахунок його переміщення, що забезпечує автоматичне підстроювання коливального контуру (центральна труба 4 - пружний елемент 7) до змінних параметрів гідроагрегату. Це дозволяє розширити зону застосування та ефективну зону гасіння пульсацій тиску РР.

Методика розрахунку і проектування гідравлічних гасителів пульсацій тиску РР з автоматичним підстроюванням параметрів у складі гідроагрегата подається у вигляді загальної послідовності розрахунку конструктивних параметрів, з наступною перевіркою динамічних властивостей (рис. 3), де наведені вихідні дані та усі операції, які необхідно виконати в процесі розрахунку та проектування. Також показані взаємозв'язки між операціями.

На першому етапі аналізується гідравлічна схема гідроагрегата, визначаються конструктивні та робочі параметри виконавчих механізмів та гідравлічної апаратури. Вибирається об'ємний насос, трубопроводи та РР. При цьому треба мати на увазі, що гаситель пульсацій тиску РР повинен мати стандартні з'єднувальні розміри та працювати у визначеному діапазоні тиску. Проводиться тепловий розрахунок гідроагрегату, визначається діапазон зміни температури РР і її газовміст. Зазначимо, що ці розрахунки проводяться згідно відомих методик, наприклад [12], а отримані дані є вихідними для подальшого розрахунку гідравлічних гасителів пульсацій тиску РР.

На другому етапі визначають розміри пружних елементів гідравлічних гасителів пульсацій тиску РР (сильфонів), визначають зміну їх розмірів під дією тиску, проводять попередній вибір їх конструктивних та робочих параметрів. При проведенні цього етапу треба мати на увазі, що під дією тиску в проточній порожнині гасителів від-

бувається зміна її об'єму. Ці розрахунки проводяться згідно методик наведених в роботах [13, 14]. Обґрунтовують та приймають припущення. Записують математичні моделі насосу, виконавчих механізмів, гідравлічної апаратури та трубопроводів. При складанні математичних моделей елементів гідроагрегату спираються на сучасні наукові розробки, приведені в провідних фахових виданнях, наприклад в роботах [15, 16, 17, 18] та ін. Визначають пульсації тиску РР у гідроагрегаті [19] та динамічні характеристики виконавчих механізмів.

На третьому етапі визначається межа квазістаціонарності гідродинамічних процесів у гідроагрегаті, що враховується при обчисленні коефіцієнтів витрат та втрат, гідравлічного опору тертя та змінної густини РР [20]. Записується математична модель гідроагрегата. Розробляють математичну модель гасителя пульсацій тиску РР [21]. Проводять аналітичне дослідження впливу конструктивних параметрів гасителя пульсацій тиску на його характеристики.

Дані, отримані на другому та третьому етапах, є вхідними для четвертого етапу, під час виконання якого проводимо оптимізацію конструктивних параметрів гасителя пульсацій тиску РР з автоматичним підстроюванням параметрів. Визначаємо коефіцієнт гасіння амплітуди пульсацій тиску в гідроагрегаті. Проводиться перевірка умови відсутності в гідроагрегаті гідравлічного удару та резонансу. Якщо ці умови не виконуються, коректують параметри гасителя пульсацій тиску РР. Ці дії повторюють доти, доки умови відсутності гідравлічного удару та резонансу не будуть виконані.

П'ятий етап передбачає перевірку вимог, щодо статичних та динамічних характеристик гасителя пульсацій тиску РР. Якщо ці вимоги виконані не в повному обсязі, то повертаються до виконання оптимізації параметрів гасителя пульсацій тиску РР (перша частина 4-го етапу) та етапу три, у якому в математичній моделі гасителя пульсацій тиску РР уточнюють значення параметрів пружних елементів. Проводять повторну оптимізацію параметрів гасителя пульсацій тиску РР.

При виконанні вимог щодо статичних та динамічних характеристик гасителя пульсацій тиску РР, на шостому етапі, виконують розробку креслень його загального вигляду та окремих деталей. При цьому, треба враховувати технологічність конструкції та можливості заводу виробника.

Зауважимо, що в залежності від вимог до гасителя пульсацій тиску РР його математична модель може спрощуватися чи ускладнюватися. Причому спрощення, зазвичай, здійснюється шляхом прийняття якоїсь кількості параметрів сталими, нехтуванням втрат в каналах гасителя пульсацій тиску РР, зміною модуля пружності РР та ін.

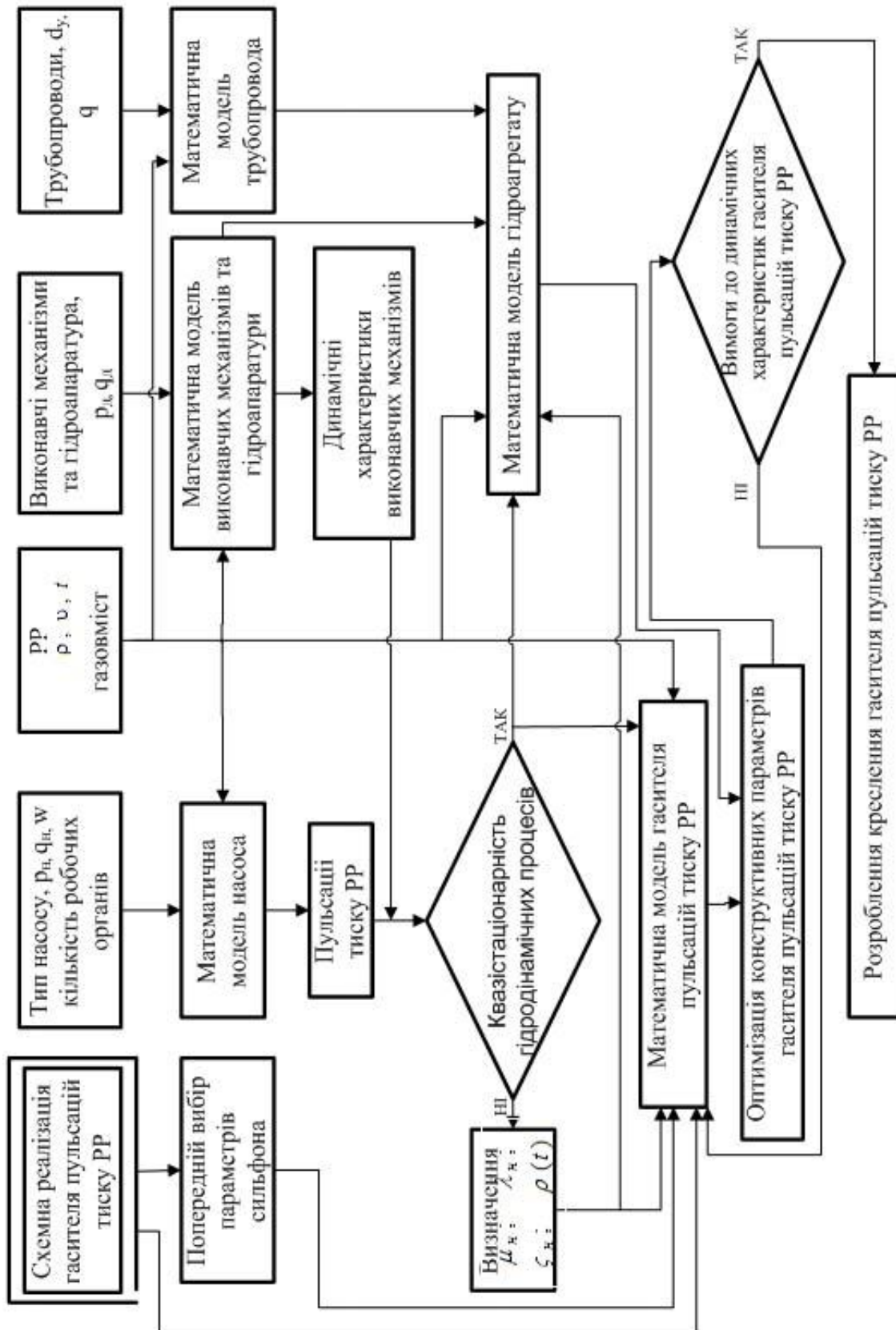


Рис. 3. Схеми алгоритму розрахунку і проектування гасителя пульсацій тиску РР у складі гідроагрегату.

Розроблена методика розрахунку і проектування гасителя пульсацій тиску РР з автоматичним підстроюванням параметрів дозволяє створити цілу низку конструкцій таких гасителів. Їх використання в сучасних гідроагрегатах дозволить суттєво підвищити їх експлуатаційні характеристики та конкурентоспроможність.

Висновки.

1. Визначено ряд особливостей, без врахування яких неможливо отримати повні математичні моделі гасителів пульсацій тиску РР з автоматичним підстроюванням параметрів, які відкривають шлях до поліпшення їх статичних і динамічних характеристик, гідроагрегатів, збудованих з їх використанням, а саме:

- складних гідродинамічних процесів, що відбуваються в об'ємних гідроагрегатах, встановлення границі квазістаціонарності робочих процесів, визначення змінних, в часі, параметрів пружних елементів;
- властивого вибору параметрів конструктивних параметрів проточної порожнини гасителя, які забезпечують відсутності гідравлічного удару та кавітації, виконання нерозривності РР і стійкість гідроагрегата;
- параметрів РР, врахування яких дозволить підвищити точність розрахунку нестационарних гідродинамічних процесів, що відбуваються у гідроагрегаті;
- необхідність багатокритеріального підходу до проблеми поліпшення динамічних характеристик гасителів пульсацій тиску РР з автоматичним підстроюванням параметрів та обґрунтування вибору ефективного методу для його реалізації, який гарантує отримання задовільного розв'язку, близького до оптимального.

2. Розроблена методика розрахунку і проектування гасителів пульсацій тиску РР з автоматичним підстроюванням параметрів ГА у складі об'ємного гідроагрегата, яка суттєво доповнює існуючі методики їх проектування та на відміну від них, враховує складні гідродинамічні процеси в гідроагрегаті, динамічні характеристики виконавчих механізмів, параметри пружних елементів, реальний характер пульсацій тиску в гідроагрегаті та характеристики РР, що дозволяє підвищити точність математичних моделей реальному об'єкту.

Література

1. *Скляревский А.Н.* Динамика позиционного гидравлического следящего привода с длинными гидроканалами / *А.Н. Скляревский, А.И. Денисенко* // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ, 2003. - № 1. – С.47-51.
2. *Попов Д.Н.* Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем / *Д.Н. Попов, Н.П. Пальтов.* – М.: Гос. изд. физ. мат. лит., 1960. – 792с.

3. *Скворчевский Е.А., Усатый А.П.* Гасители колебаний давления в гидравлических системах / *Е.А. Скворчевский, А.П. Усатый* // Вестник машиностроения. – 1980. – № 4. – С. 14–15.
4. *Kollek W.* Kształtowanie konstrukcji elementów rozwojem napędów hydraulicznych / *W. Kollek* // Konferencja naukowo-techniczna: Napęd hydrostatyczne maszyn - rozwój i wytwarzanie. – 19 – 20 listopada, Gdansk, 1999. – S. 25–38.
5. *Шорин В.П.* Устранение колебаний в авиационных трубопроводах / *В.П. Шорин*. – М.: Машиностроение, 1980. – 156 с.
6. *Могендович Е.М.* Гидравлические импульсные системы / *Е.М. Могендович*. – Л.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
7. *Andrenko P.N.* Model matematyczny interferencyjnego przemiennika pulsacji ciśnienia w układach hydraulicznych / *P.N. Andrenko* // Hydraulika i Pneumatyka. – 2001. – № 3. – S. 25–27.
8. *Іванов М.І.* Імітаційні дослідження хвильових процесів у довгих гідравлічних лініях гідросистем сільськогосподарських машин / *М.І. Іванов, С.В. Дусанюк, С.В. Репінський* // Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – № 4. – С. 69–72.
9. *Андренко П.М.* Математичні моделі і розрахункові дослідження гідравлічних гасителів і підсилювачів пульсацій тиску / *П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко* // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2004. – № 5 (11). – С. 88–93.
10. *Андренко П.Н.* Интерференция волн давления в элементах объемных гидроагрегатов / *П.Н. Андренко, А.Л. Григорьев, З.Я. Лурье, А.Н. Скляревский* // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 6/5 (36). – С. 35–47.
11. Патент 82336 Україна, МПК F16L 55/04. Гаситель коливань рідини в трубопроводі. на винахід / *П.М. Андренко, І.І. Білокін, Ю.М. Стеценко, М.С. Свинаренко*; заявник і патентовласник СП ЗАТ “ХЕМЗ - ІРЕС”. - № 200504242; заявл. 04.05.2005; опубл. 10.04.2006. Бюл. № 7.
12. *Навроцкий К.Л.* Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов / *К.Л. Навроцкий*. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
13. *Глазков М.М.* О методике кавитационного исследования элементов дроссельных устройств гидравлических систем / *М.М. Глазков, В.Г. Ланецкий, В.Н. Куренков* // Вопросы надежности гидравлических систем летательных аппаратов. – 1976. – № 3. – С. 8–15.
14. *Гликман Б.Ф.* Математические модели пневмогидравлических систем / *Б.Ф. Гликман*. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-техн. лит., 1986. – 368 с.
15. *Лурье З.Я.* Волновые процессы в объемных гидроагрегатах и анализ методов их математического описания / *З.Я. Лурье, А.Н. Скляревский, В.В. Татьков* // Вісник НТУ “ХП”. – 2005. – № 28. – С. 105–116.

16. *Лурье З.Я.* Математическая модель гидроагрегата кантователя рулонов стана горячего проката тонкого листа / *З.Я. Лурье, И.В. Татков* // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – № 2 (12). – С. 71–78.
17. *Струтинський В.Б.* Оцінка параметрів позиційних приводів металорізальних верстатів за допомогою нелінійної блочно-модульної стохастичної математичної моделі / *В.Б. Струтинський, В.К. Даниленко, С.А. Чабан* // Весник національного технічного університету України “КПІ”. Машиностроение. – 2000. – Т. 1, Вып. 38. – С. 137–147.
18. *Зайончковський Г.Й.* Оцінка стійкості і протифлатерних властивостей гідромеханічних рульових слідкуючих приводів / *Г.Й. Зайончковський* // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – № 1 (11). – С. 53–58.
19. *Андренко П.М.* Визначення параметрів гідроприводів, у яких доцільно використовувати пасивні гасники пульсацій і гідроапарати з вібраційною лінеаризацією / *П.М. Андренко, О.В. Дмирієнко, М.С. Свиначенко* // Механіка та машинобудування. – 2004. – № 2. – С. 13–21.
20. *Андренко П.М.* Визначення межі застосування квазістаціонарності процесу при проектуванні гідроапаратів з вібраційною лінеаризацією / *П.М. Андренко, І.П. Гречка, Г.В. Крикун* // Високі технології в машинобудуванні. – 2004. – Вип. 2(9). – С. 3–12.
21. *Андренко П.М.* Математична модель удосконаленого гідравлічного пасивного гасителя пульсацій / *П.М. Андренко, О.В. Дмирієнко, М.С. Свиначенко* // Вісник НТУ “ХПІ”. – 2006 – Вып. 10. – С. 78–92.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

Свинаренко М.С.

Аннотация – в работе рассмотрена инженерная методика проектирования гидравлических гасителей пульсаций давления рабочей жидкости с автоматической подстройкой параметров в объемных гидроагрегатах.

FEATURES OF DESIGNING OF HYDRAULIC EXTINGUISHERS OF PULSATIONS OF THE WORKING FLUID PRESSURE

M. Sveenarenko

Summary

A paper considers an engineering method of designing of hydraulic extinguishers of pulsations of the working fluid pressure with automatic adjusting of parameters in volumetric hydraulic units.