

ГАСІННЯ ПОДОВЖНІХ КОЛИВАНЬ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗМІЩЕННЯ УПОВІЛЬНЮВАЧІВ КОЛИВАНЬ В БАКАХ ПАЛЬНОГО РІДИННИХ РАКЕТ – НОСІЇВ

© A. Ghavrish, D. Kolosov

THE LONGITUDINAL OSCILLATION SUPPRESSION AND THE LIQUID LAUNCH VEHICLE TANK'S DAMPENERS SCHEMATIC PARAMETERS OPTIMIZATION

Мета. Обґрунтування нового способу гасіння подовжніх коливань в конструкціях та розробка обчислювального методу по визначенню оптимальних значень параметрів уповільнювачів коливань в баках пального та окислювача середніх та важких РРН.

Методика дослідження. Вирішення комплексу задач, починаючи від дослідження показника затухання коливань конструкції РРН (декременту), отриманих при проведенні відпрацювання їх натурних вузлів і моделей, до проведення розрахунків на міцність таких уповільнювачів з віднайденими значеннями оптимальних параметрів для конкретних РРН. В перелік цих задач також входили всебічне обґрунтування нової конструкції уповільнювача подовжніх коливань в баках з паливом РРН, оптимізація значень конструктивних та позиційних параметрів для запропонованої конструкції уповільнювача подовжніх коливань РРН, проведення досліду відпрацювання запропонованої конструкції уповільнювача коливань РРН на динамічно подібних моделях.

Результати дослідження. Запропоновано новий спосіб забезпечення подовжньої стійкості РРН та розроблено метод обчислення конструктивних параметрів наборів уповільнювачів коливань в баках пального РРН через використання комбінаторного алгоритму вичерпного пошуку в умовах повної невизначенності параметру затухання (декременту) коливань.

Наукова новизна. Розроблено новий спосіб забезпечення подовжньої стійкості РРН, як тандемного, так і пакетного компонування, які відносяться до класу середніх і важких. Для моментів часу, чутливих до втрати подовжньої стійкості, вперше запропоновано і обґрунтовано можливість ефективного використання подовжніх переміщень прошарків рідкого наповнювача баків з паливом, що виникають внаслідок взаємодії рідких мас пального зі стінками та дном баків, які зазнають деформацій під час подовжніх коливань РРН. Розроблено також узагальнену методику розрахунку оптимальних місць розташування запропонованих уповільнювачів подовжніх коливань. Ці розрахунки вперше проведено з використанням нетрадиційного комбінаторного алгоритму вичерпного пошуку.

Практичне значення. Результати досліджень дозволяють розробити нову конструкцію засобів гасіння подовжніх коливань РРН тандемного та пакетного компонування, які відносяться до класу середніх і важких, а також, з достатньою для практичного застосування точністю, обчислювати оптимальні значення конструктивних та позиційних параметрів уповільнювачів подовжніх коливань таких РРН, які необхідні для того, щоб при мінімальних показниках власної ваги була досягнута мета повного забезпечення подовжньої стійкості вказаних РРН, що проектуються.

Ключові слова: *рідинна ракета-носій (РРН), рідинний ракетний двигун (РРД), подовжні коливання, уповільнення коливань, стійкість, декремент, уповільнювач, бак пального, комбінаторний алгоритм, комп'ютер.*

Вступ. Проблема забезпечення стійкості рідинних ракет - носіїв (РРН) по лінії подовжніх коливань займає одне з чільних місць при їх проектуванні та відпрацюванні.

Над розв'язанням цієї проблеми працювали чисельні колективи відомих науково-дослідних установ, такі як ІТМ НАН України (м. Дніпро), ЦНДІМаш (м. Москва), НДІТП (м. Москва), та інших. Велика увага приділялась вирішенню цієї проблеми при проектуванні рідинних ракет в США (POGO effect). Напрацьовані шляхи вирішення її базуються, в переважній більшості, на коригуванні динамічних характеристик найбільш простої ланки замкнутої коливальної системи РРН "корпус - тракт пального - рідинний ракетний двигун (РРД)" - тракту пального. Вчені ІТМ НАН України (м. Дніпро) продовжують пропонувати й обґрунтовувати спеціально налаштовані динамічні уповільнювачі коливань у вигляді додаткових осцилюючих мас, які встановлюються в розрахованих перетинах силової конструкції корпусу РРН [11, 12]. Але не завжди при проектуванні нових чи модифікації вже існуючих РРН такі способи є єдино можливими і найбільш ефективними шляхами вирішення цієї проблеми.

Мета даної статті полягає в обґрунтуванні нового способу гасіння подовжніх коливань через використання присутніх в конструкціях РРН осцилюючих мас та розробці обчислювального методу по визначенню оптимальних значень параметрів уповільнювачів коливань в баках пального РРН.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні задачі:

- дослідження показника конструкційного затухання (декременту) РРН, отриманих при проведенні відпрацювання їх натурних вузлів і моделей;
- обґрунтування нової конструкції уповільнювача подовжніх коливань в баках з паливом РРН;
- оптимізація значень визначальних параметрів для запропонованої конструкції уповільнювача подовжніх коливань РРН;
- проведення розрахунків на міцність таких уповільнювачів з віднайденими значеннями оптимальних параметрів для конкретних РРН;
- проведення дослідного відпрацювання запропонованої конструкції уповільнювача коливань РРН на відмаштабованих моделях.

В результаті проведеного відпрацювання переліку наведених задач, зроблено принципово новий шлях до забезпечення подовжньої стійкості РРН. Він базується на використанні в якості мас динамічних уповільнювачів коливань, настроєних на частоти взятих до уваги власних тонів подовжніх коливань мас рідкого наповнювача (компонента) баків паливної системи РРН. Розроблено також узагальнену методику розрахунку оптимальних місць розташування запропонованих засобів уповільнення подовжніх коливань на множині повної кількості баків з паливом РРН. Ці розрахунки вперше проведено з використанням нетрадиційного комбінаторного алгоритму вичерпного пошуку.

Актуальність досліджень. Проведений огляд різноманітності методів і конструктивних рішень щодо засобів впливу на динамічні характеристики трьох головних частин замкнутої коливальної системи РРН "корпус - тракт пального - РРД" дозволив виділити загальноприйнятну математичну модель

подовжніх коливань, що виникають в замкнутій коливальній системі РРН, з визначенням можливих шляхів та способів конструктивного впливу на співвідношення параметрів, від яких залежать значення величин частотних характеристик коливальних ланок вказаної коливальної системи. Висновки про запаси стійкості такої системи та про необхідні значення декременту пружного корпусу РРН, достатні для відвернення подовжніх автоколивань, за звичай отримуються з використанням амплітудно-фазового частотного критерію Найквіста. Як вихідні дані вказаних досліджень, використовувались результати розрахунків динамічних характеристик розглянутих РРН, отримані з участю автора під час його роботи в ДКБ "Південне", а також при виконанні обсягів договірних робіт в ІТМ НАН України.

В подальшому були отримані результати експериментальних досліджень, з їх аналізом та систематизацією стосовно значень конструктивних декрементів корпусів РРН. Охоплено експериментальні дослідження досить повного переліку РРН, які розроблялися в ДКБ "Південне" на протязі його існування. В цих дослідженнях були використані як натурні збірки, так і відмаштабовані, динамічно-подібні моделі РРН.

Твердження про можливість створення уповільнювачів коливань, що розсіюють енергію при відносних переміщеннях в подовжньому напрямку перерізів конструкції РРН і не потребують при цьому використання допоміжних коливальних мас, є логічним і раціональним, тому що, при відносно невеликих вагових характеристиках та граничній простоті, вони дозволятимуть досягти унеможливлення виникнення небажаних коливань в широкому діапазоні частот та по різних тонах незалежно від механізму їх збудження. Крім того, така можливість підтверджується тим спостереженням, що частоти нижчих тонів подовжніх коливань корпусів відомих РРН, що створені в КБ "Південне", близькі до порціальних частот подовжніх коливань мас рідкого наповнювача як в баках "О" (окислювача), так і в баках "П" (пального) розглянутого класу РРН, як це видно на прикладі РРН «Дніпро» (див. Рис. 1).

В даній роботі вплив уповільнювача подовжніх коливань, тобто його ефективність, оцінюється за допомогою визначення додаткових декрементів коливань по кожному зі взятих до уваги тонів коливань.

Декремент для розглянутого тону подовжніх коливань визначається з енергетичного співвідношення:

$$\Delta \nu = \frac{\Delta W}{2 \cdot W}, \quad (1)$$

де ΔW - робота демпфуючої сили на одному періоді коливань, W - максимум енергії коливань системи по даному тону.

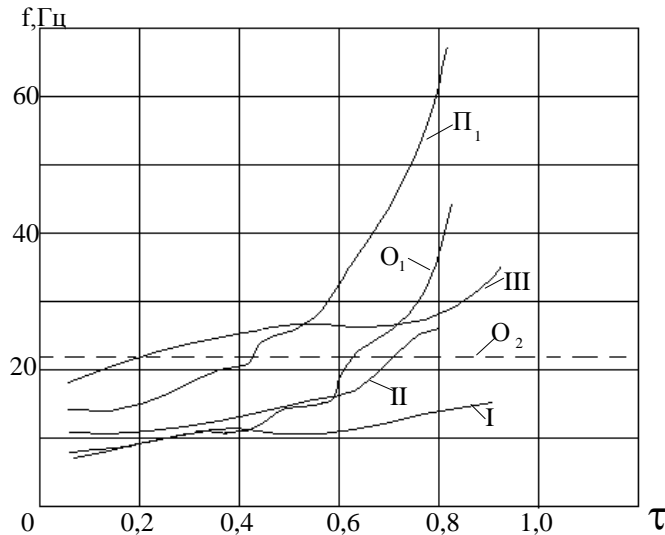


Рис. 1. Частоти подовжніх коливань корпусу та оболонок відсіків з палим РРН «Дніпро» на етапі руху першої ступені: I, II, III - частоти першого, другого та третього тонів подовжніх коливань корпусу РРН, відповідно; O₁, O₂, П₁ - частоти подовжніх коливань мас рідини в баках "О" та "П" першої та другої ступеней РРН.

Вважаючи залежність перепаду тиску від швидкості перетікання рідини параболічною, що підтверджується результатами експериментального відпрацювання гідродинамічного демпфера коливань [5], принципи дії якого близькі до описуваного уповільнювача, маємо:

$$\Delta P = -k \cdot \rho \cdot \xi^2 \cdot \text{Sign } \xi, \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta W &= \int_0^{2\pi/\omega} S_{\text{д.}} \cdot \Delta P \cdot \xi \cdot dt = \frac{8}{3} k \cdot \rho \cdot a_{\text{м.з.}}^3 \cdot x_{\text{відн.}}^3 \cdot \omega^2 \cdot S_{\text{д.}} \\ W &= \frac{m_{\text{зв.}} \cdot \omega^2 \cdot a_{\text{м.з.}}}{2} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де $\xi = a_{\text{м.з.}} \cdot x_{\text{відн.}} \cdot \sin \omega t$ - координата тону, що розглядається; $a_{\text{м.з.}}$ - амплітуда точки зведення по цьому тону коливань системи; $x_{\text{відн.}}$ - відносна форма коливань демпфуючих елементів тону коливань, що розглядається; $m_{\text{зв.}}$ - зведена маса коливань пружної системи тону, що розглядається; ω - частота цього тону коливань; ρ - питома маса рідини в відповідному баці; $S_{\text{д.}}$ - площа пластини діафрагми уповільнювача коливань.

Із формул (1) - (3) маємо:

$$\Delta v = \frac{8}{3} \cdot \frac{k \cdot x_{\text{відн.}}^3 \cdot a_{\text{м.з.}} \cdot \rho \cdot S_{\text{д.}}}{m_{\text{зв.}}}, \quad (4)$$

$$\Delta P_{\text{max}} = \frac{3}{8} \cdot \frac{\Delta v \cdot m_{\text{зв.}} \cdot a_{\text{м.з.}} \cdot \omega^2}{x_{\text{відн.}} \cdot S_{\text{д.}}}, \quad (5)$$

$$k = \frac{3}{8} \cdot \frac{\Delta v \cdot m_{\text{зв.}}}{x_{\text{відн.}}^3 \cdot a_{\text{м.з.}} \cdot S_{\text{д.}}}. \quad (6)$$

Отримана аналітична залежність (6) показує, що ефективність уповільнювача суттєво залежить від різниці форм коливань його рухомих частин ($x_{відн.}$) у складі і взаємодії з іншими частинами парціальної бакової системи, де він встановлюється. Тому місце встановлення уповільнювача по висоті баку з пальним вибирається таким чином, щоб величина $x_{відн.}$ була максимальною. Найбільш ефективним буде опір такого уповільнювача, який використовує всю об'ємну деформацію баку, тобто, розташованого біля вільної поверхні компоненту у вигляді жорсткої діафрагми, що зорієнтована впоперек до осі РРН і має щілиноподібні дроселюючі отвори. Такий уповільнювач легко відтворюється в баках непрацюючих ступеней РРН, де рівень рідини не змінюється під час розглянутого відтинку руху ракети (рис. 2).

В баках працюючої ступені, коли необхідно підвищення коефіцієнту затухання лише на частині траєкторії, головним чином, на початку руху РРН, уповільнювач може встановлюватися з деяким заглибленням по відношенню до рівня рідкого наповнювача баку.

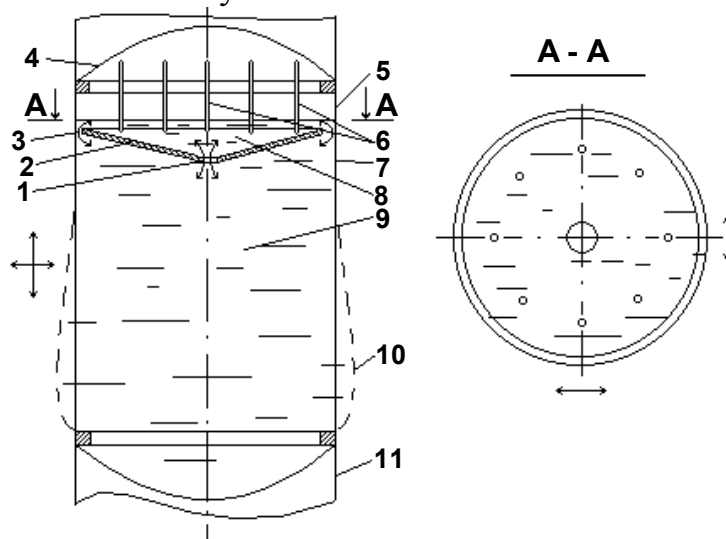


Рис. 2. Уповільнювач в баках з пальним РРН: 1 – центральний отвір діафрагми; 2 - демпфуюча діафрагма уповільнювача; 3 - зазор; 4 - верхнє дно баку; 5 - бак пального; 6 - стержньові тяги; 7 - обічайка баку; 8 - біляповерхневі прошарки рідини в баці; 9 - пальне в баці; 10 - форма обічайки під час подовжніх коливань; 11 - корпус РРН.

Уповільнювач, який показано на рис. 2, працює таким чином. Великі маси пального 9, що знаходяться в боці 5 РРН 11, при виникненні подовжніх корпусних коливань викликають досить значні і цілком достатні для роботи уповільнювача об'ємні деформації 10 бокових стінок 7. Це викликає подовжні коливання біля поверхневих прошарків 8 пального 9, що призводить до перетікання рідини через отвір 1 та щілину 3, що присутні в діафрагмі власне уповільнювача 2. Внаслідок перетікання рідини на діафрагмі уповільнювача 2 виникає протифазне демпфуюче зусилля, яке перешкоджає деформуванню силової конструкції бокових стінок 7 баку 5 під час виникаючих подовжніх коливань корпусу РРН 11.

З застосуванням чисельного методу оптимізації значень визначальних параметрів для запропонованої конструкції уповільнювача подовжніх коливань РРН було проведено оцінку цих параметрів на прикладі уповільнювачів для РРН «Дніпро» та РРН пакетного компонування. Табл. 1 містить основні дані, отримані в результаті розрахунку необхідних коефіцієнтів опору та перепадів тиску на діафрагмах уповільнювачів для кожного з баків пального РРН тандемного компонування («Дніпро»).

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів опору на діафрагмах уповільнювачів в баках РРН, отриманих в результаті розрахунків

t, c	$\Delta v_{необх.}$	f, Гц	$\frac{m_{зв.} \cdot 10^4}{kz \cdot c^2}$ M	$a_{м.з.}, мм$	$X_{відн.}$				$K_{необх.}$		$\Delta P, атa$	
					П _I	О _I	П _{II}	О _{II}	О _I	О _{II}	О _I	О _{II}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0,04	8,8	4,89	3,21	0,543	1,834	0,029	0,195	10,45	-	0,367	0,036
20	0,07	10,8	37,38	2,13	0,432	4,567	0,174	1,289	13,64	-	1,511	1,054
25	0,01	11,4	70,64	1,91	0,401	54,63	2,822	22,01	0,24	-	194,1	275,1
35	0,07	12,0	12,17	1,73	0,289	1,714	0,131	1,097	103,69	-	0,172	0,616
50	0,08	13,0	2,33	1,47	0,151	0,441	0,062	0,569	-	727,8	-	0,141
60	0,08	13,6	1,205	1,34	0,089	0,19	0,044	0,439	-	897	-	0,077
70	0,08	14,7	0,696	1,15	0,042	0,072	0,032	0,384	-	904,8	-	0,05
80	0,08	16,4	0,402	0,92	0,044	0,021	0,02	0,352	-	844,3	-	0,034
90	0,05	19,5	0,195	0,65	0,04	0,021	0	0,341	-	397,7	-	0,023
k	0,01	22,7	0,132	0,48	-	-	0,028	0,415	-	40,41	-	0,025

Ці дані показують, що має рацію встановлення діафрагм уповільнювачів з коефіцієнтом опору $\cong 103,69$ в баці "О" I ступені на рівні, що відповідає 35с руху РРН, та такого ж уповільнювача з коефіцієнтом опору $\cong 904,8$ в верхній частині баку "О" II ступені. Для реалізації таких коефіцієнтів опору в відповідних баках РРН тандемного компонування необхідне встановлення уповільнювачів, конструктивне виконання яких передбачає забезпечення таких розмірів зазорів між краями діафрагм та боковими стінками баків:

- для баку "О" I ступені - 58 мм;
- для баку "О" II ступені - 20 мм.

Для РРН пакетного компонування розміри дроселюючих щілин між стінками баків (обічайками) та краями пластин діафрагм уповільнювачів мають бути такі:

- для баку "О" центрального блоку (II ступені) - 83 мм;
- для баку "О" бокових блоків (I ступені) - 64 мм.

В подальшому постала необхідність вирішення мінімаксної задачі визначення такого набору депмфуючих пристроїв з мінімальною сумарною вагою, який дозволить забезпечити на протязі взятого до уваги відтинку часу макси-

мальний необхідний (потребний) коефіцієнт опору діафрагм уповільнювачів, необхідний для того, щоб показник розсіювання коливальної енергії (декремент) при перетіканнях рідини через дросельні отвори або щілини діафрагм уповільнювачів в усіх бакових системах, де вони встановлені, був не меншим від декрементів, що необхідні для гарантованого забезпечення подовжньої стійкості по кожному з розглянутих тонів коливань.

$$\left. \begin{array}{l} F_{i,k} \{\bar{X}\} \xrightarrow{t_{l-1} \leq t \leq t_{l,i,k}} \max, \\ \text{коли } \sum_{k=1}^n Q_k \{\bar{X}\} \xrightarrow{\{\bar{X}\}} \min, \\ \text{та } \sum_{k=1}^n \Delta V_k(t) = \Delta V_{\text{необх.}}(t) \end{array} \right\} \quad (7)$$

де $F_{i,k} \{\bar{X}\}$ - коефіцієнт опору діафрагми уповільнювача в к-й підсистемі (баці) при і - му тоні коливань; $Q_k \{\bar{X}\}$ - вага демпфуючої діафрагми в к-му баці; $\{\bar{X}\} = \{\Delta V_k(t), X_{\text{відн.}}(t), m_{\text{м.з.}}(t), \omega_i(t), \dots\}$ - вектор динамічних характеристик бакових підсистем; $[t_{l-1}, t_l]$ - відтинок часу, що аналізується; n - кількість баків з пальним; $\Delta V_{\text{необх.}}(t)$ - величина показника затухання (потребний декремент), яка необхідна для того, щоб забезпечити подовжню стійкість по і - му тону коливань всієї конструкції РРН.

Пошуки методу та алгоритму вирішення поставленої задачі привели до необхідності використання комбінаторного алгоритму вичерпного пошуку. Це спричинено тим, що серед елементів вектора динамічних характеристик $\{\bar{X}\}$ в (7) є невизначений параметр - декремент подовжніх коливань і тому поставлену задачу вирішено як задачу вибору в умовах невизначеності одного параметру.

При цьому була врахована специфічна властивість, що й спричинила використання для реалізації алгоритму вичерпного пошуку комбінаторних конфігурацій у вигляді композицій, яка полягає в тому, що сума варіацій невизначеного параметру ΔV_k в (7) завжди має дорівнювати потребному декременту для і - го тону. Це виходить з енергетичного співвідношення (1) якщо ΔW розглядати як роботу усіх демпфуючих впливів діафрагм уповільнювачів в баках з рідиною РРН на одному періоді коливань.

Для визначених таким чином рішень задачі оптимізації визначальних параметрів уповільнювачів подовжніх коливань в баках РРН «Дніпро» (тандемного компонування) та РРН пакетного були проведені розрахунки на міцність можливих конструкцій діафрагм цих уповільнювачів. Згідно з результатами, наведеними в табл. 2, для діафрагм, що виготовлено з алюмінію АМг-6, з товщиною 9,5 мм і які вибрані як рекомендовані до застосування в розглянутих конструкціях РРН, стає можливим твердження, що досягнуто значне зниження сумарної ваги цих пристроїв в порівнянні з ваговими показниками магістраль-

них газових демпферів, які використовуються на РРН «Зеніт» аналогічного до РРН «Дніпро» класу і з тією ж метою.

Таблиця 2

Результати розрахунку масово-габаритних значень уповільнювачів подовжніх коливань в баках РРН

РРН	Бак	Радіус пластини, м	Величина зазору, мм	Товщина пластини, мм	Макс. тиск, тс /м ²	Демпфуюче зусилля, тс	Маса пластини, кгс · с ² /м	Власна частота пластини, І тон, Гц
Гандем	ОІ	1,442	58	5	3,67	23,66	12,79	133,5
"	"	"	"	9,5	"	"	21,7	162,7
"	ОІІ	1,481	19,4	5	6,16	41,98	13,54	126,8
"	"	"	"	9,5	"	"	23,03	155,4
Пакет	ОІ	1,886	64	5	3,49	38,58	21,21	88,36
"	"	"	"	9,5	"	"	36,85	111,2
"	ОІІ	1,867	83	5	3,8	41,16	20,75	90,36
"	"	"	"	9,5	"	"	36,02	112,9

Висновки 1. Запропоновано новий спосіб забезпечення подовжньої стійкості РРН через використання принципово нової конструкції уповільнювача коливань в баках пального РРН [1, 2, 8, 9, 10]. Для РРН «Дніпро» та на прикладі РРН пакетного компонування отримано рекомендації для конструктивного впровадження цього способу.

2. Розроблено обчислювальний метод визначення конструктивних параметрів наборів уповільнювачів коливань в баках пального РРН через використання комбінаторного алгоритму вичерпного пошуку в умовах повної невизначеності параметру затухання (декременту) коливань.

3. Розроблено кінцевоелементні моделі і з їх використанням проведено розрахунки на міцність запропонованих конструкцій уповільнювачів подовжніх коливань з подальшою оцінкою вагових показників визначених оптимальних наборів таких бакових пристроїв для розглянутих РРН. Встановлено, що при використанні традиційного в галузі матеріалу АМГ-6, вагові показники такого набору для РРН тандемного компонування не гірші ніж при використанні магістральних засобів по забезпеченню подовжньої стійкості цих літальних апаратів.

4. Для РРН тандемного («Дніпро») та пакетного компонувань отримані рекомендації по оптимальному розташуванню засобів гасіння запропонованої конструкції, необхідні для уповільнення високоімовірних подовжніх коливань цих РРН. При цьому отримані оптимальні числові показники в обсязі визначальних конструкційних параметрів для кожного з призначених до застосу-

вання у відповідних бакових системах уповільнювачів подовжніх коливань розглянутих РРН.

Перелік посилань

1. Серенко, В. А., Гавриш, А. В. *Гаситель колебаний в топливных баках жидкостных ракет*/ КБ "Южное". А.с. 1819819(СССР): Заяв. 23. 03. 91. Опубл. 07. 06. 93. Бюл. №21.
2. Серенко, В. А., Гавриш, А. В. *Гаситель колебаний в топливных баках жидкостных ракет*/ КБ "Южное". А.с. 1819818(СССР): Заяв. 25. 03. 91. Опубл. 07. 06. 93. Бюл. №21.
3. Гавриш, А. В. (1990) Разработка гидродинамических демпферов для гашения колебаний корпусов ракет. *НТО 21. 11197. 1380Т/ КБ "Южное"*; Рук. проф. Приварников, Ю. К., Серенко, В. А.; -Инв. ном. КБЮ 69655. -Днепропетровск. 110с.
4. Серенко, В. А., Ходоренко, В. Ф., Гавриш, А. В. (1988) Влияние параметров газового демпфера на характеристики собственных колебаний жидкости в расходной магистрали: *Депонированная статья // ПТО. Вып. 12. М.: ЦНТИ "Поиск"*.
5. От КБЮ: Серенко, В. А., Сулягин, А. В., Гавриш, А. В., от НИИХимМаш: Темниченко, Н. М., Соболев, С. Ф., Гринь, Р. К., и др. (1986) *Отчет по отработке газового демпфера на установке "Демпфер" 113-В1-86-02.1845 "Д" / НИИХимМаш. Инв. ном. КБЮ 43386кб. 44с.*
6. Серенко, В. А., Ходоренко, В. Ф., Гавриш А. В., Ветухов, В.И. (1988) *Отчет по испытаниям гидродинамического демпфера. 9486. 136 ОТ / КБ "Южное"*; Рук. проф. Приварников, Ю. К. - Инв. ном. КБЮ 49303. Днепропетровск. 19с.
7. Серенко, В. А., Ходоренко, В.Ф., Гавриш, А.В. (1991) Стабилизация нагружения при продольных колебаниях изделий с ЖРД /*РКТ, серия II . Инв. ном. КБЮ 71385.-М.: ГОНТИ №1. Вып. 4. 55-59.*
8. Серенко, В. А., Гавриш, А. В. (1990) Гидродинамический демпфер продольных колебаний ракет-носителей // *Тезисы докладов Всесоюзной НТК. Проблемы динамики пневмогидравлических и топливных систем летательных аппаратов. Куйбышев. 7-8.*
9. Гавриш, А. В. (1992) Выбор оптимальной схемы размещения гидродинамических демпферов продольных колебаний в баках жидкостных ракет/ *РКТ, серия II. -Инв. ном. КБЮ 71385. Днепропетровск: ГОНТИ-3, Вып.4, 65-74*
10. Гавриш, А. В. (1995) Разработка способов демпфирования продольных колебаний и оптимизация параметров гасителей колебаний в топливных баках жидкостных РН/ *Дисс. на соискание уч.ст. к. т. н./ 05.02.09 - динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры, Киев: Институт Механики НАН Украины.*
11. Хоряк, Н. В., Николаев, А. Д., Долгополов, С. И. (2015) Теоретическая оценка эффективности динамического гасителя продольных колебаний жидкостной ракеты – носителя/ *Авиационно – космическая техника и технология, № 9 (126), Днепро: Институт технической механики НАН Украины и ГКАУ.*
12. Хоряк, Н. В. (2014) Рациональный выбор параметров динамического гасителя продольных колебаний жидкостной ракеты - носителя [Текст] / Н. В. Хоряк // *Техническая механика. № 3. с. 58 – 70.*

АННОТАЦИЯ

Цель. Обоснование нового способа гашения продольных колебаний конструкций и разработка вычислительного метода для определения оптимальных значений параметров гасителей колебаний в баках топлива и окислителя средних и тяжелых жидкостных ракет-носителей (ЖРН)

Методика исследований. Решение комплекса задач, начиная исследованием параметра затухания колебаний (декремента) конструкций ЖРН, полученного экспериментальным пу-

тем при проведенні обробок їх натурних вузлів і моделей, до проведення прочностних розрахунків вказаних гасителів з урахуванням отриманих оптимальних значень їх параметрів для конкретних ЖРН. В перелік цих задач вошли також всебічне обґрунтування нової конструкції гасителя продольних коливань бакової системи ЖРН, оптимізація значень конструктивних та позиційних параметрів для запропонованої конструкції гасителя продольних коливань ЖРН проведення експериментальної обробки запропонованої конструкції гасителя коливань ЖРН на динамічно-подібних моделях.

Результати досліджень. Предложено новий спосіб забезпечення продольної устійливості ЖРН і розроблено вичислювальний метод конструкторських параметрів наборів гасителів коливань шляхом використання комбінаторного алгоритму виснажливого пошуку в умовах повної неопределенності параметра затухання коливань (декременту).

Научна новизна. Розроблено новий спосіб забезпечення продольної устійливості ЖРД як танDEMної і пакетної компоновок, що належать до класу середніх і важких. Для моментів часу, чутливих до втрати продольної устійливості, вперше запропоновано і обґрунтовано можливість ефективного використання продольних переміщень шарів рідкого наповнювача паливних баків, які виникають внаслідок взаємодії рідкофазних мас палива і окислювача зі стенками і днищами своїх баків, що піддаються деформації в час виникнення продольних коливань конструкцій ЖРН. Також розроблено загальну методику розрахунку оптимальних параметрів місць розміщення запропонованих гасителів продольних коливань. Ці розрахунки вперше проведені з використанням нетрадиційного комбінаторного алгоритму виснажливого пошуку.

Практичне значення. Результати досліджень дозволяють розробити нову конструкцію засобів згасення продольних коливань ЖРН танDEMної і пакетної компоновок, які належать до класу середніх і важких, а також, при достаточній для практичного застосування точності, обчислювати оптимальні значення конструктивних і позиційних параметрів гасителів продольних коливань таких ЖРН, необхідних для того, щоб при мінімальних показателях власного ваги була досягнута мета повного забезпечення продольної устійливості вказаних ЖРН ще на стадії їх проектування.

Ключові слова: *рідкофазна ракета-носітель (ЖРН), рідкофазний ракетний двигачель (ЖРД), продольні коливання, гаситель коливань, устійливість, декремент, гаситель, паливний бак, комбінаторний алгоритм, комп'ютер.*

ABSTRACT

Purpose. Substantiation of a new method for damping longitudinal oscillations of structures and the development of a computational method for determining the optimal values of vibration damper parameters in fuel tanks and oxidizer of medium and heavy liquid lauche vehicle (LLV)

The methodology. The solution of the set of problems, starting with the study of the attenuation parameter of LLV structures oscillations (decrement) obtained experimentally by carrying out of their natural assemblies and models tests, up to carrying out the dampeners strength calculations with taking into account the obtained optimum values of their parameters for the set of LLV. The list of these tasks includes also a comprehensive estimation of the dampener new design of the LLV tank system longitudinal oscillations, the values optimization of the design and positional parameters for the proposed longitudinal oscillations damper design of the LLV, and the experimental verification of those designs by the scaled model fulfilments.

Findings. A new method for the LLV longitudinal stability ensuring is proposed, and a computational method for the design parameters of vibration dampers sets is developed by using the combinatorial algorithm of exhaustive search at the complete uncertainty of the longitudinal oscillations attenuation parameter (decrement) of LLV structure.

The originality. A new method has been developed to ensure the LLV longitudinal stability either a tandem or package composition, belonging to the medium and heavy class. For moments of time sensitive to the loss of longitudinal stability, the possibility of effective use of longitudinal displacements of the layers of the fuel tanks liquid filler that arise as a result of the interaction of the liquid masses of the fuel and oxidant with the walls and bottoms of its tanks experiencing deformations during the occurrence of longitudinal oscillations of the liquid fuel tanks structures. A generalized method of the optimal parameters calculating for the location of the proposed damper sets for longitudinal oscillations has also been developed. The calculations were first carried out by using an unconventional combinatorial exhaustive search algorithm.

Practical implications. The researches allow us to develop a new design of the calming longitudinal oscillations means to the tandem and packet package of LLVs that are classified as medium and heavy, and, with a sufficient accuracy for the practical application, to calculate the optimal values of the design and positional parameters of the longitudinal vibration dampers for such LLVs, so that with the minimum values of its own weight, the goal was achieved of the longitudinal stability fully ensuring of the above-mentioned LLVs even at the start point of their designing.

Keywords: *liquid launched vehicle (LLV), liquid-propellant engine (LPE), longitudinal mode, shock absorber, firmness, decrement, dampener, fuel tank, combinatorial algorithm, computer.*

УДК 621.39.004.021

© А.В. Гавриш, Д.Л. Колосов

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОУДАРНИХ ЯВИЩ ТА ЇХ ГАСІННЯ В ТРУБОПРОВОДАХ ПІД ТИСКОМ ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

© A. Ghavrish, D. Kolosov

THE HYDRAULIC IMPACT AND ALLEVIATION PHENOMENA NUMERIC MODELING IN THE INDUSTRIAL PUMPED PIPELINES

Мета. Розробка математичної гідродинамічної моделі перехідних процесів потоку робочої рідини в системі промислового трубопроводу, що містить насос і демпфер, з врахуванням жорсткості та шорсткості його стінок при імітації різкої зупинки цього потоку шляхом закриття заслінки на його віддаленому кінці, з подальшим впровадженням цієї моделі для використання у вигляді програмного комплексу на основі учбової версії пакету Matlab.

Методика дослідження. Розрахунок перехідних процесів та частотних характеристик дільниці трубопроводу великої довжини, в гідромеханічну систему якого підключено роторний насос та демпфер, побудовано на базі нелінійної математичної моделі модифікованих рівнянь Нав'є-Стокса. Моделювання швидкого перекриття потоку проведено з використан-