

ПРО ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПО ЗАХИСТУ П'ЄЗОКЕРАМІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІД НЕГАТИВНОЇ ДІЇ АКУСТИЧНОЇ КАВІТАЦІЇ

О.І. ДРОЗДЕНКО

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",
кафедра акустики та акустоелектроніки. E-mail: sdlm@bk.ru*

ВСТУП

Вплив кавітації на гідроакустичну апаратуру має два основних наслідки, а саме: зменшення хвильового опору середовища та виникнення кавітаційної ерозії від пульсацій кавітаційних порожнин.

При зменшенні хвильового опору середовища змінюються всі електроакустичні характеристики випромінювача, що призводить до порушення узгодження з генераторним пристроєм, зниження коефіцієнта корисної дії, зменшення величини звукового тиску на осі характеристики спрямованості випромінювача. Також при зменшенні хвильового опору відбувається ріст механічних напружень в активному матеріалі перетворювача, що може призвести до його фізичного руйнування. У той же час інтенсивні гідродинамічні удари, що виникають при захлопуванні кавітаційних порожнин, можуть вивести з ладу його випромінюючу поверхню.

Із всіх негативних наслідків, до яких приводить акустична кавітація, найбільш істотними є зниження коефіцієнта корисної дії й величини звукового тиску на осі характеристики спрямованості випромінювача, а найнебезпечнішими – порушення узгодження випромінювача з генераторним пристроєм, ріст механічних напружень в активному матеріалі перетворювача та кавітаційна ерозія.

З огляду на негативний вплив, що чинить кавітація на гідроакустичний перетворювач і передавальний тракт у цілому, необхідно використовувати відповідну для даних характеристик водного середовища й звукового сигналу випромінювану акустичну потужність та по можливості захистити конструкцію перетворювача від кавітаційної ерозії.

З точки зору конструктора, є дві можливості проведення технічних заходів по захисту перетворювача від негативної дії кавітації. Перша можливість полягає в моніторингу процесу випромінювання, відстежуванні моменту початку кавітаційного процесу, та зменшенні випромінюваної акустичної потужності, щоб перетворювач працював у докавітаційному режимі. Друга – застосування матеріалів, що найменше піддаються кавітаційній ерозії та пошук інших технічних заходів по зменшенню її дії.

1. ЗАХИСТ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІД КАВІТАЦІЇ ШЛЯХОМ МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСУ ВИПРОМІНЮВАННЯ

З огляду на необхідність випромінювання максимальної акустичної енергії у водне середовище й негативний вплив кавітації на гідроакустичну апаратуру, необхідно при існуючих характеристиках водного середовища й звукового сигналу випромінювати допустиму, з точки зору кавітації, питому акустичну потужність. Випромінювання у водне середовище допустимої питомої акустичної потужності можна забезпечити, заклавши при проектуванні передавального тракту гідроакустичної станції певні й відомі

значення порогів кавітації, або використати заходи, спрямовані на припинення кавітації, що починається. Перший спосіб припускає існування кількісних даних по порогах кавітації, другий – наявність одного або декількох індикаторів кавітації, що реєструють зміну електроакустичних характеристик передавального тракту або властивостей середовища при кавітації та формують сигнали керування генераторним пристроєм. Перший спосіб, як найбільш простий і досить досліджений, знайшов практичне застосування при проектуванні й розробці випромінюючих трактів ряду виробів. Другий спосіб припускає визначення моменту настання кавітації з наступним зниженням електричної потужності й вимагає введення до складу випромінюючого тракту спеціальних індикаторів кавітації. Визначення моменту настання кавітації може бути здійснено: по зменшенню співвідношення між напругою й струмом на виході генераторного пристрою, по зменшенню першої гармоніки або росту коефіцієнта нелінійних спотворень форми кривої звукового тиску на контрольному гідрофоні, по росту механічної напруги в активному елементі перетворювача при кавітації. Відповідно індикаторами початку кавітації можуть бути:

- прилад, що контролює величину й форму струму й напруги випромінювача;
- контрольний гідрофон, розташований у ближнім полі випромінювача;
- датчик механічних напружень або коливальної швидкості перетворювача.

Після одержання з індикатора кавітації інформації про її настання, можна здійснювати ручне або автоматичне регулювання електричної потужності передавального тракту до необхідного рівня, що виключає кавітацію.

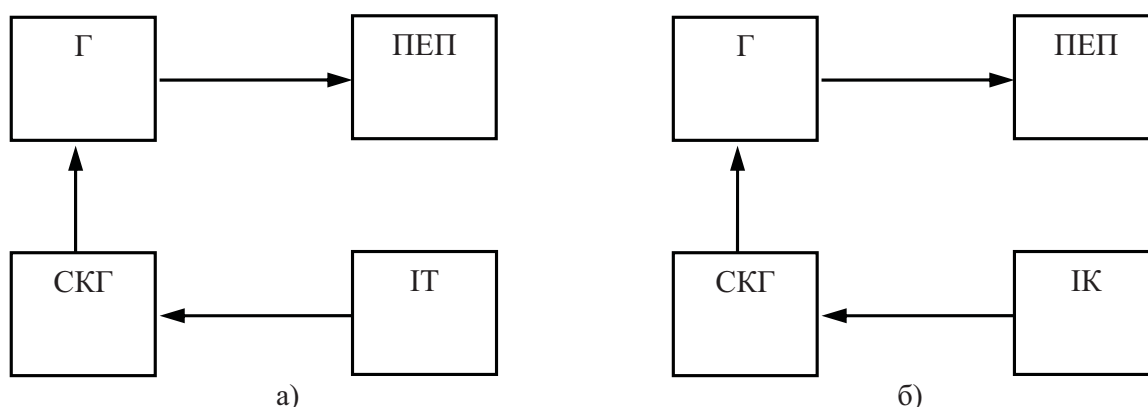


Рис. 1. Схеми захисту перетворювача регулюванням електричної потужності.

На рис.1 представлені можливі найпростіші схеми регулювання електричної потужності передавального тракту до рівня, що виключає кавітацію. В структурній схемі, зображеній на рис.1а, залежно від глибини занурення п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП), введено регулювання електричної потужності генератора (Г), що виключає його роботу в режимі кавітації. Інформація про глибину занурення подається на систему керування генератором (СКГ) від індикатора гідростатичного тиску (ІТ). Вихідними даними для практичного здійснення такого регулювання служать кількісні дані про пороги кавітації. Що стосується схеми, представленій на рис.1б, то її використання, незважаючи на деяке ускладнення гідроакустичної апаратури, обумовлене введенням додаткових індикаторів кавітації (ІК), дозволяє щонайкраще використати потенційні можливості реального водного середовища з погляду випромінювання максимальної акустичної енергії у воду за умови відсутності кавітації.

Для підвищення чутливості систем захисту випромінюючого тракту від кавітації можна використати спільну роботу не одного, а декількох індикаторів кавітації. Наведена на рис. 2 схема пристрою для захисту випромінюючого тракту від кавітації побудована за принципом порівняння амплітудних характеристик двох каналів, що відповідають двом індикаторам кавітації. Кожен з каналів містить індикатор кавітації (І К), підсилювач (П) та детектор (Д). До настання кавітації залежність сигналів, що знімають з індикаторів кавітації, від напруги, що підводиться до п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП), відбувається за лінійним законом. Коефіцієнти передачі обох каналів підбираються таким чином, щоб на їхньому виході сигнали були рівні по амплітуді, а сигнал на виході порівнюючого пристрою (ПП), був рівний нулю. При цьому електронний ключ (ЕК) перебуває на порозі відмикання. З настанням кавітації залежність сигналів, що знімають з індикаторів кавітації, стає нелінійною. Рівень сигналу одного каналу зростає й крутизна характеристики збільшується. Рівень сигналу іншого каналу падає й крутизна зменшується. На виході порівнюючого пристрою з'являється позитивний сигнал, що через електронний ключ плавно або дискретно зменшує рівень вихідного сигналу з генератора (Г). Отже рівень вихідного сигналу з генератора буде відповідати оптимальній, з погляду кавітації, випромінюваній акустичній потужності. Змінюючи величину від'ємної опорної напруги, яка подається з джерела опорної напруги (ДОН), можна домогтися роботи зазначеного пристрою при різних інтенсивностях кавітації.

Як перший індикатор кавітації може бути використаний гідрофон (при цьому сигнал першого каналу пропорційний першій гармоніці звукового тиску). Як другий індикатор кавітації можна використати датчик коливальної швидкості, механічної динамічної напруги активного елемента перетворювача або опір, включений послідовно з перетворювачем. При цьому сигнал другого каналу буде пропорційний коливальній швидкості, механічній напрузі або струму, що протікає через випромінювач.

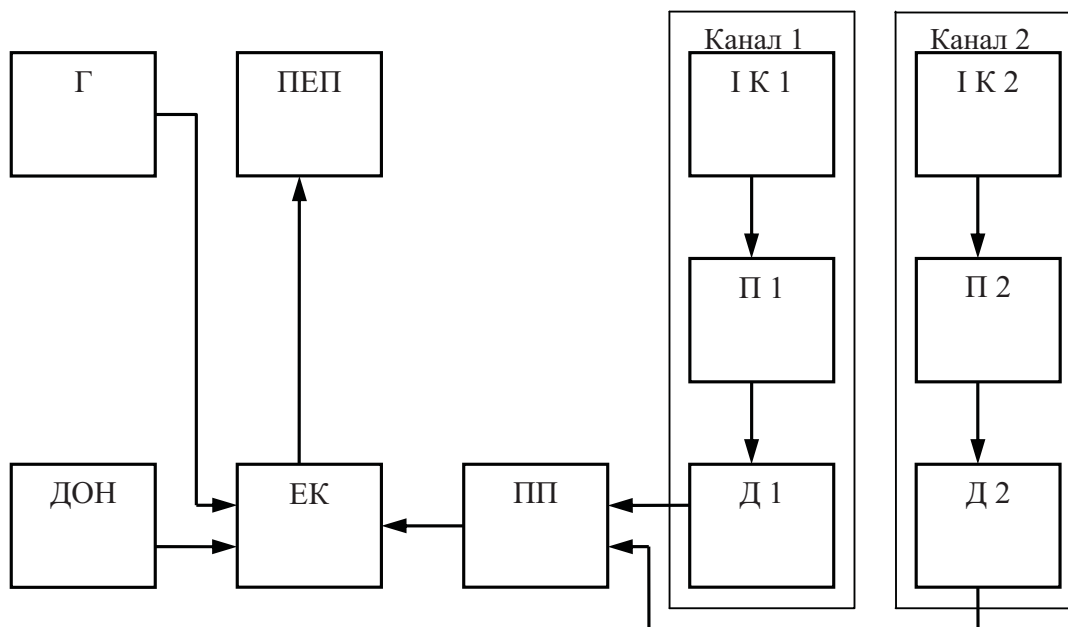


Рис. 2. Схема акусто-електричного зворотного зв'язку для керування величиною електричної потужності генератора.

При проектуванні тракту індикації початку кавітації стосовно багатоеlementної антени необхідно враховувати нерівномірний розвиток кавітаційної області на різних ділянках її робочої поверхні, обумовлений характером розподілу звукового тиску в ближньому полі антени при кавітації. Так, при кавітації елементи антени, розташовані поблизу інтерференційних максимумів її ближнього поля, мають більшу концентрацію кавітаційних порожнин біля своєї робочої поверхні і, навпаки, елементи, розташовані вдалині від зон фокусування ближнього поля антени, мають порівняно меншу концентрацію парогазових включень. Тому той або інший тип індикатора початку кавітації повинен фіксувати момент її виникнення на найнебезпечнішому, з погляду механічного руйнування, одиночному елементі антени.

Перераховані методи можуть бути використані для захисту конструкції перетворювача й усього випромінюючого тракту від випадкових перевантажень, які можуть мати місце при експлуатації перетворювачів (зокрема, при випадковому включенні гідроакустичного перетворювача в повітрі).

2. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВІД ДІЇ КАВІТАЦІЇ

Забезпечення ерозійної стійкості гідроакустичних перетворювачів в основному залежить від фізичних характеристик конструкційних матеріалів, що застосовуються для побудови елементів випромінюючих частин перетворювачів.

В роботах [1 – 3] розглядалися питання кавітаційної стійкості металів та їх сплавів. Встановлено, що величина та характер руйнування залежить, окрім інтенсивності та часу впливу кавітаційного процесу, також від структури та складу матеріалу. Так, наприклад, було встановлено [1], що кавітаційна ерозія відбувається інтенсивніше в матеріалах з меншим розміром зерна. Також були зроблені спроби встановити залежність між стійкістю матеріалу до кавітаційної ерозії та його механічними властивостями, однак така залежність спостерігається лише в окремих випадках [3].

Результати порівняльної оцінки ерозійної стійкості до кавітаційного руйнування різних матеріалів наведені в табл.1. Результати отримані в режимі неперервних коливань випромінювача при сильно розвиненій кавітації постійної інтенсивності. Для порівняльної оцінки ерозійної стійкості матеріалу зразка використовувалось поняття *інкубаційного періоду* t_{in} – тривалість випробувань до появи на випробуваному зразку перших видимих слідів кавітаційного руйнування. Оцінка ерозійної стійкості зразків матеріалів проводилася за допомогою двох різних методів випробувань. При першому методі випробувань нерухомі зразки містилися в область кавітації, створюваної стороннім джерелом звуку. При другому методі зразок був складовою частиною самого випромінювача звуку, що збуджував кавітацію (зразки приклеювалися до випромінюючої поверхні перетворювача). Як видно з табл. 1, при незмінних характеристиках звукового сигналу й водного середовища, матеріали з високою *питомою енергією пружної деформації* e_s володіють підвищеною стійкістю до ерозії й кавітаційного руйнування. Тому металеві зразки мають істотно меншу ерозійну стійкість до кавітації, ніж гумові. Так, наприклад, при однаковій інтенсивності акустичної кавітації на частоті 3 кГц у стаціонарному режимі, інкубаційний період зразків гум: 3311 і КД-34 товщиною 3 мм становить більше 50 годин, а для аналогічних зразків титана він становить не набагато більше однієї години. Найменшу стійкість до кавітаційного руйнування проявляють свинець та алюміній, найбільшу – гуми. 3311 й КД-34.

Таблиця 1

№ п/п	Матеріал зразку	Товщина зразку Δh , см	Межа пружності σ_l , г/см ²	Максимальна пружна деформація ε_l , %	Максимальна питома енергія пружної деформації e_s , кг/см ²	Метод випробувань	Частота f , кГц	Інкубаційний період t_{in} , хв
1	Свинець	0,3	25	0,015	0,19	1	3	1
2	Алюміній	0,3	640	0,09	0,29	1	3	8
						2	20	2
3	Латунь	0,3	1000	0,1	0,5	1	3	15
4	Сталь корозійностійка	0,3	2000	0,1	1	1	3	20
						2	20	5
5	Титан	0,3	3200	0,3	4,8	1	3	70
						2	20	35
6	Сталь	0,3	6000	0,27	8,1	2	20	60
7	Гума 4670	0,13	15	140	10,5	1	3	50
		0,3				1	3	80
8	Гума С-572	0,13	50	250	62,5	1	3	250
		0,3				1	3	450
						2	20	250
9	Гума 3311	0,13	150	700	525	1	3	1200
		0,3				1	3	3000
						2	20	600
						1	3	3000
10	Гума КД-34	0,13	180	660	595	1	3	1800
		0,3				1	3	3000
						2	20	600
		0,5				1	3	3000

Використовуючи матеріали стійкі до ерозії як покриття для випромінюючої поверхні перетворювачів, можна істотно підвищити їхню стійкість до руйнуючої дії кавітації.

ВИСНОВКИ

1. Для оптимального використання потенційних можливостей реального водного середовища та захисту випромінюючого тракту від кавітаційних перевантажень необхідно випромінювати допустиму з погляду кавітації акустичну потужність. В кожному конкретному випадку допустиму акустичну потужність можна забезпечити, заклавши при проектуванні випромінюючого тракту певні значення порога кавітації, або, короткочасно допустивши кавітацію, що починається, і одержавши інформацію про її настання, знизити величину електричної потужності до допустимої. Незважаючи на деяке ускладнення апаратної частини передавального тракту й введення спеціальних індикаторів кавітації, другий шлях дозволяє щонайкраще використати потенційні можливості гідроакустичного комплексу в реальному морському середовищі при умовах, що змінюються.

2. Інтенсивність кавітаційної ерозії залежить від фізичних характеристик матеріалу випромінюючої поверхні перетворювача. При незмінних характеристиках звукового сигналу й водного середовища інтенсивність кавітаційної ерозії різних матеріалів різна. Так, матеріали з високою питомою енергією пружної деформації володіють підвищеною стійкістю до ерозії й кавітаційного руйнування. Використовуючи матеріали стійкі до ерозії як покриття для випромінюючої поверхні перетворювачів, можна істотно підвищити їхню стійкість до руйнуючої дії кавітації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bregliozzi G., Di Schino A., Haefke H. Cavitation erosion resistance of a high nitrogen austenitic stainless steel as a function of its grain size, *Journal of materials science letters* 22, 2003, p.981.
2. Sriraman M.R., Vasudevan R. Influence of ultrasonic cavitation on surface residual stresses in AISI 304 stainless steel.
3. Богачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы. – М.: Металлургия, 1972, 192с.