

АМПЛІТУДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛУ АКУСТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ ДЛЯ СЕЙСМОРОЗВІДКИ АКВАТОРІЙ НА ОСНОВІ ІНДУКЦІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

О.В.Бахвалов¹, С.П.Мостовий²

¹ аспірант кафедри інженерної електрофізики, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

² завідувач кафедри інженерної електрофізики, канд. фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

geofon3@gmail.com

Одним з основних складових елементів сучасної апаратури для геофізичних та сейсмоакустичних досліджень шельфової зони морів та дна океанів є джерело сейсмічних сигналів, яке виступає в якості генератора акустичних сигналів в геологічному середовищі. Середньо частотний сейсмічний діапазон (умовна смуга частот 400Гц–10кГц) перекривається електродинамічними та індукційно-динамічними сейсмічними джерелами, які забезпечують прийнятну глибину дослідження морського дна та дозволяють отримати детальну інформацію про його будову.

Конструктивно імпульсний індукційний динамічний перетворювач для сейсмоакустичних та геофізичних досліджень з плоскою електромагнітною системою складається з укріпленої на діелектричній основі плоскої дискової котушки і електрично ізольованого від неї рухливого, механічно затисненого, електропровідного диска. При підключенні до котушки заздалегідь зарядженого ємнісного накопичувача енергії в діелектричному проміжку між котушкою і диском виникає імпульс радіального магнітного поля. В результаті диск під дією тиску цього магнітного поля відштовхується від котушки і передає механічний імпульс пружному середовищу, таким чином випромінюючи сейсмічний (при взаємодії диску з ґрунтом) або акустичний (при взаємодії з рідиною) сигнал. Стабільність амплітудно-частотних характеристик випромінених сигналів індукційних динамічних перетворювачів забезпечила можливість використання їх в кореляційній гідроакустиці та класичній сейсморозвідці акваторій, в тому числі сейсморозвідки з високою та надвисокою роздільною здатністю [1].

Акустичний сигнал індукційного динамічного перетворювача представляю собою цуг з декількох коливань та має суцільний спектр, на якому присутні декілька частотних областей з характерними, переважаючими за рівнем частотами. Він характеризується наявністю основних частот, пов'язаних з резонансами механічної підсистеми акустичного перетворювача (як правило, це перші три гармоніки коливань механічного защемленого диска перетворювача) та параметрами електричної підсистеми індукційного динамічного перетворювача. Ширина спектру випроміненого сигналу на рівні 0,5 складає в середньому 2кГц–5 кГц в залежності від конструктивного виконання механічної підсистеми «диск-кільце защемлення» и параметрів електричної підсистеми випромінювача (параметрів розрядного контуру ємнісного накопичувача). На форму акустичного сигналу впливають наступні основні фактори: профіль перерізу механічно защемленого диску, хвилеві явища в диску, особливості конструкції дискової котушки і т.д. Демпфуючи власні коливання диску вдається отримувати практично біполярні імпульси акустичного тиску при значному зниженні амплітуди сигналу. І навпаки, стимулюючи вільні коливання диска, можливо отримувати складні по формі та тривалі в часі сигнали відносно великої амплітуди.

Одним із головних чинників, які забезпечують ефективність застосування сейсмічних джерел в сейсморозвідці є параметри амплітуди сигналу в частотному діапазоні генерування, який повинен забезпечити задане співвідношення тракту «сигнал-шум» приймальної апаратури. Тому вивчення впливу окремих конструктивних параметрів індукційних динамічних перетворювачів на амплітудні значення випромінених сигналів є актуальною задачею при побудові сейсмоакустичного комплексу.

Нами проведені експериментальні дослідження дослідних зразків індукційних динамічних випромінювачів з різним значеннями механічних властивостей вузла заземлення випромінюючого диску. З цією метою визначення основних амплітудних характеристик акустичного випромінення проведено шляхом прямих акустичних вимірювань сигналу зразків випромінювачів в гідробасейні на відстані 1 м від центру диску. Для вимірювань параметрів сигналу використовувався гідрофон з чутливістю 15 мкВ / Па та смугою робочих частот (при нерівномірності 3 дБ) 10Гц –50кГц. Реєстрація сигналів гідрофона здійснювалась цифровим осцилографом типу SDS 8202 після високочастотної фільтрації (з метою подавлення відбиття сигналу від стінок гідробасейну). Розряд ємнісного накопичувача здійснювався на спіральну плоску котушку (ідентичну для всіх конструкцій) в діапазоні зарядних напруг 2,0 кВ–4,0кВ при ємності накопичувача 40мкФ–400мкФ. Метою досліджень було отримання експериментальних даних стосовно впливу згинальної жорсткості диску на амплітуду та форму акустичного імпульсу. Оцінка згинальної жорсткості D для дисків з різних застосовуваних конструкційних матеріалів диска проведена для стандартної формули циліндричної жорсткості $D = Eh^3/12(1 - \nu^2)$, де E – модуль пружності матеріалу диска, h – товщина, ν – коефіцієнт Пуассона. Товщини використаних матеріалів диску (сталь, СТЕФ–1, силумін) складала 2мм–11мм. Для експериментів зі сталевими та склопластиковими заземленими дисками додатково застосовувався незаземлений мідний диск–лайнер товщиною 2 мм. Діапазон розрахованих значень циліндричної жорсткості: від 0 Н/м² (механічно не заземлений диск) до $8,7 \times 10^3$ Н/м².

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити наступні висновки.

Для близьких до початкового значень згинальної жорсткості (мідний лайнер та диск без заземлення) тривалість першої напівхвилі акустичного імпульсу дорівнює приблизно половині тривалості напівхвилі розрядного струму ємнісного накопичувача. Встановлено, що амплітуда акустичного сигналу при цьому монотонно збільшується по мірі зменшення жорсткості матеріалу заземленого диска (диски зі СТЕФ–1, сталі товщиною 2,0 мм, незаземленого диску). В цьому випадку також присутній екстремум амплітудного значення імпульсу тиску для всіх цих типів випромінювача в діапазоні значень енергії ємнісного накопичувача. Для дисків з великою згинальною жорсткістю (близькою до верхніх значень діапазону) амплітуда акустичного сигналу зростає прямо пропорційно енергії накопичувача. Так, при використанні силумінового диска діаметром 0,5 м для амплітуди імпульсу тиску P (кПА) отримана лінійна апроксимація у вигляді $P = 11,3 \times U + 9,3667$, де U – початкова напруга ємнісного накопичувача (кВ). Таким чином, для кожного конструктивного виконання індукційного динамічного акустичного перетворювача існує гранично допустима енергія, яка підводиться до випромінювача, вище якої акустичний сигнал зменшується завдяки деформації диска та збільшенню робочого зазору між електропровідним диском та котушкою.

Список літератури:

1. Мостовий С.П. Оптимізація параметрів сигналу імпульсних акустичних випромінювачів на основі індукційних динамічних перетворювачів / Мостовий С.П., Бахвалов О.В. // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1882 с. – С. 97