

УДК 004.942

DOI <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2026-01-11-12>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДУ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ АКУСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗА КРИТЕРІЯМИ ТОЧНОСТІ ТА РЕСУРСІВ

Гейко О. О., аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. <https://orcid.org/0009-0006-3279-8274>, oleg.63366@gmail.com

Варава І. А., к.т.н., доц., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. <https://orcid.org/0000-0001-9874-016X>, varava_ivan@ill.kpi.ua

Вдовина А. В., студентка, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна. <https://orcid.org/0009-0001-1116-708X>, vvdovvina@gmail.com

Анотація. У статті наведено експериментальні результати практичного застосування підходу до визначення параметрів чисельної моделі поширення акустичних хвиль у постановці багатокритеріального відбору за показниками точності та обчислювальної вартості. Актуальність проблеми зумовлена тим, що для часових програмних засобів чисельного розв'язання параметри дискретизації та граничних умов істотно впливають як на рівень узгодженості з натурними вимірюваннями, так і на час моделювання. Надмірно дрібний крок сітки та консервативні налаштування поглинальних шарів (PML) призводять до різкого зростання обчислювальних витрат, тоді як груба дискретизація породжує чисельну дисперсію та паразитні відбиття від границь, що погіршує збіг сигналів. В якості натурних даних використано відкритий датасет SWellEx-96[1] (подія S5), який містить багатотонові гідроакустичні передачі та допоміжні таблиці дальностей “джерело-приймач”, що дозволяє автоматично відновлювати відстань для кожної хвилини експерименту. Моделювання виконано засобами k-Wave-python (версія 0.4.0) у двовимірній постановці як практичний компроміс, що дає змогу здійснити серійний перебір конфігурацій. Для коректного порівняння реалізовано узгодження сигналів моделі та вимірювання: приведення до спільної частоти дискретизації, оцінку часової затримки у вузькій смузі навколо частоти випромінювача f_0 та комплексне масштабування для компенсації різниць у фазі й амплітуді. Частота f_0 визначалась комбіновано: з переліку тонів події та спектральною перевіркою на вимірюваному фрагменті. Точність оцінювалась метрикою NMAE (нормалізована середня абсолютна похибка), обчисленою для огинаючої амплітуди вузькосмугової компоненти на f_0 . Параметричний простір конфігурацій включав PPW (points per wavelength, що задає крок сітки), параметри PML та допоміжні параметри домену. Процедура відбору виконана у два етапи: 1) визначення конфігурації з максимальною точністю (еталон для фрагмента) та 2) вибір найшвидшої конфігурації за обмеженням $NMAE \leq 0.2$. Для розглянутого фрагмента отримано скорочення часу моделювання приблизно у 2.96 раза при збереженні прийнятної точності. Результати підтверджують практичну здійсненність визначення області допустимих параметрів чисельної моделі та автоматизованого вибору ресурсно-ефективної конфігурації без погіршення якості порівняння понад заданий поріг.

Ключові слова. валідація математичних моделей, поширення акустичних хвиль, комп'ютерне моделювання, чисельні методи, параметри моделі, критерії точності, ресурсна здійсненність, інженерія програмного забезпечення, алгоритм відбору конфігурацій.

EXPERIMENTAL VALIDATION OF A METHOD FOR SELECTING ACOUSTIC MODEL PARAMETERS BASED ON ACCURACY AND COMPUTATIONAL RESOURCE CRITERIA

Oleh Heiko, PhD student, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine. <https://orcid.org/0009-0006-3279-8274>, oleg.63366@gmail.com

Ivan Varava, PhD, Associate Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0001-9874-016X>, varava_ivan@ill.kpi.ua

Anastasiia Vdovyna, student, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine. <https://orcid.org/0009-0001-1116-708X>, vvdovvina@gmail.com

Abstract. This paper reports experimental results of a practical workflow for selecting numerical parameters of a time-domain acoustic wave propagation model under joint accuracy and computational

feasibility constraints. In applied verification and validation tasks, the credibility of conclusions depends not only on physical modeling assumptions but also on discretization and solver settings. Overly fine spatial grids and conservative absorbing boundary settings (PML) lead to steep growth in runtime and memory demands, whereas coarse discretization may introduce numerical dispersion and boundary reflections that distort the simulated waveform and degrade agreement with experimental recordings. We use the open SWellEx-96 dataset (event S5) as the experimental reference, because it provides controlled multi-tone underwater transmissions together with auxiliary range tables that enable automatic reconstruction of the source-to-receiver distance per experiment minute. Simulations are performed using k-Wave-python (v0.4.0) in a two-dimensional configuration as a pragmatic compromise allowing systematic parameter sweeps while preserving essential wave physics. To ensure objective comparison, we implement an explicit alignment stage between measured and simulated signals: both are brought to a unified sampling rate and time window; the transmitter tone frequency f_0 is determined by combining known S5 tone candidates with spectrum-based presence checking on the measured segment; time lag is estimated via cross-correlation within a narrow band around f_0 ; and complex scaling based on analytic (Hilbert) representations is applied to compensate phase and amplitude differences that are not directly related to the propagation model quality. Accuracy is quantified using the normalized mean absolute error (NMAE) computed on the amplitude envelope of the narrowband component at f_0 , which reduces sensitivity to small phase mismatches and emphasizes energy consistency in the tone band. The explored parameter space is defined as a discrete set of numerical configuration values including PPW (points per wavelength defining grid step dx), PML thickness and absorption coefficient, and auxiliary domain parameters. The selection procedure is implemented in two stages: 1) a maximum-accuracy configuration providing the lowest NMAE for the selected experimental segment and serving as a baseline, and 2) an “optimal” configuration chosen as the fastest one that satisfies a practical accuracy constraint $NMAE \leq 0.2$. For the considered SWellEx-96 segment, we obtain an approximately 2.96 reduction in simulation time while keeping the NMAE well below the imposed threshold, demonstrating that an admissible parameter region can be identified and that a resource-efficient configuration can be selected automatically without exceeding the required error level. The reported results support the feasibility of parameter region estimation and computationally constrained validation workflows for numerical acoustic models.

Key words: validation of mathematical models, propagation of acoustic waves, computer modeling, numerical methods, model parameters, accuracy criteria, resource feasibility, software engineering, configuration selection algorithm.

Вступ

Чисельне моделювання поширення акустичних хвиль використовують у ряді прикладних задач гідроакустики та інженерного аналізу, зокрема коли потрібна оцінка впливу параметрів середовища та конфігурації вимірювань на прийнятий сигнал. На практиці коректність порівняння результатів моделювання з натурними вимірюваннями залежить не лише від фізичної постановки, але й від параметрів чисельної реалізації: просторового кроку сітки, часової дискретизації, поглинальних шарів PML, розмірів домену тощо. Невдалий вибір цих параметрів або істотно збільшує витрати часу/пам'яті без пропорційного виграшу в точності, або призводить до зростання похибки через чисельну дисперсію та паразитні відбиття від границь [1; 2]. Тому актуальною є експериментальна перевірка процедур, які дозволяють формально визначати область допустимих параметрів чисельної моделі за критеріями точності та ресурсної здійсненності.

Метою цієї роботи є демонстрація практичного експерименту на відкритих натурних даних SWellEx-96 із використанням k-Wave-python, у межах якого 1) визначається конфігурація з максимальною точністю як еталон для фрагмента і 2) вибирається найшвидша конфігурація, що забезпечує заданий поріг точності $NMAE \leq 0.2$.

Виконання досліджень

Практична перевірка методу виконувалась на відкритому датасеті SWellEx-96 для події S5, оскільки він містить керовані багатотонові передачі в діапазоні десятків–сотень герц та допоміжні файли (зокрема range.tar) для відновлення дальності “джерело–приймач” за часом експерименту. У межах відтворюваного сценарію було вибрано один файл запису антени VLA (Vertical Line Array processed channels) та один канал приймання. Для кожного запуску процедури формувалась фрагмент вимірюваного часового ряду $p_{meas}(t)$ заданої тривалості (у пошуковому режимі – коротке вікно, у демонстраційному режимі – вікно 1.0 с). Часове положення фрагмента задавалось параметрами minute_file та OFFSET_IN_MINUTE_s, що однозначно визначає початок вікна:

$$t_{start} = 60 \cdot \text{minute_file} + \text{OFFSET_IN_MINUTE}_s. \quad (1)$$

Дальність R між випромінювачем і приймачем визначалась автоматично за таблицями range.tar для відповідної хвилини експерименту шляхом інтерполяції табличних значень. Це дозволяє не вводити вручну параметр відстані R (який впливає на геометрію розрахункової області та налаштування

чисельної постановки) і забезпечує відтворюваність: задане значення `minute_file` однозначно задає як фрагмент сигналу, так і відповідну йому дальність R .

Нижче наведено приклад виміряного сегмента, який використовувався як еталонний фрагмент для подальшого порівняння з результатами моделювання (VLA, канал 10, `minute_file`=74, $R = 2196$ м). Візуалізація такого фрагмента важлива з методичної точки зору: вона фіксує, що порівняння здійснюється для конкретного реального сигналу, а також дозволяє оцінити наявність шумових компонент та характерну амплітуду коливань у часовій області.

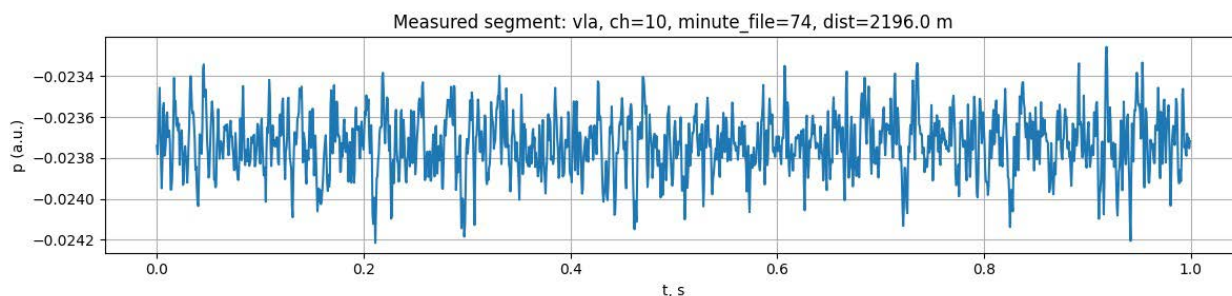


Рис. 1. Фрагмент виміряного сигналу тиску $p_{meas}(t)$ (VLA, канал 10, `minute_file`=74, $R = 2196$ м)

Як видно з рис. 1, виміряний сигнал має шумову складову та не є ідеальним тоном у часовій області, що є типовим для натурних даних. Саме тому порівняння лише за формою “сирої” осцилограми може бути суб'єктивним, а для формальної оцінки доцільно використовувати спектральні ознаки та вузькосмугові метрики.

Подія S5 містить багатотонові передачі, тобто одночасно або послідовно присутні кілька тональних компонент. Для подальшого чисельного експерименту необхідно коректно визначити частоту випромінювача f_0 , яка використовуватиметься для вузькосмугового аналізу та обчислення метрики точності.

Для визначення частоти випромінювача f_0 застосовано комбінований підхід:

1. Формується список кандидатних тонів $\{f_k\}$, заданий метаданими S5.
2. Для виміряного фрагмента $p_{meas}(t)$ обчислюється спектр (модуль FFT).
3. Для кожного кандидата f_k оцінюється спектральна амплітуда $\#P(f_k)\#$.

4. Обирається частота f_0 за правилом присутності в спектрі (тон має бути статистично вираженим на фоні шуму).

Практичним аспектом є також обчислювальна вартість: для time-domain моделювання збільшення частоти вимагає дрібнішого dx (для збереження PPW) і меншого кроку часу, що різко збільшує тривалість симуляції. Тому для серійного перебору параметрів у пошуковому режимі доцільно обирати найнижчий тон, який реально присутній у спектрі виміряного сегмента. На рис. 2 наведено спектр виміряного фрагмента та кандидатні частоти (штрихові вертикальні лінії), що ілюструє принцип визначення f_0 .

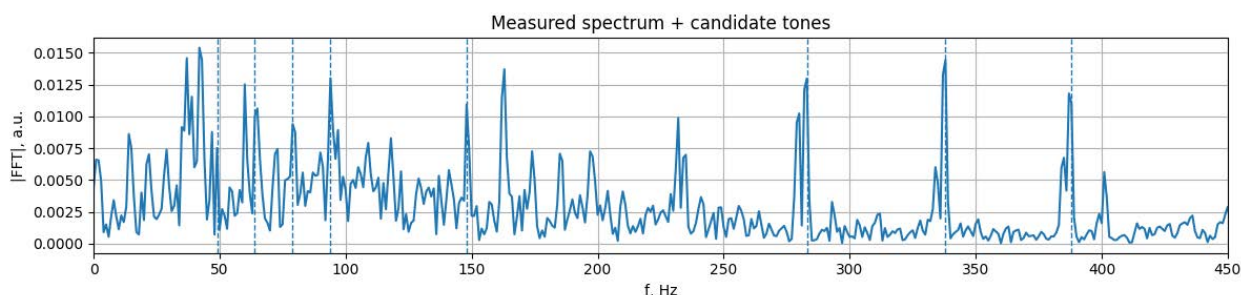


Рис. 2. Спектр виміряного фрагмента та кандидатні частоти події S5

Як видно з рис. 2, спектр містить кілька виражених піків, частина з яких співпадає з кандидатним набором тонів події. На основі цього співставлення визначається f_0 , який далі використовується як центральна частота для вузькосмугового аналізу, узгодження сигналів та оцінювання точності.

Для реалізації відбору конфігурацій за критеріями точності та обчислювальної вартості необхідно визначити метрику, яка: 1) придатна для натурних сигналів із шумом; 2) є відтворюваною (однозначною, без ручної інтерпретації); 3) стійка до малих фазових відхилень між виміром і моделлю.

У задачі тонального випромінювання природною ознакою є амплітудно-енергетична відповідність у смузі навколо f_0 . Тому замість прямого порівняння осцилограм, отриманих ГАС, використано огинаючу амплітуди вузькосмугового сигналу на f_0 . Обчислення виконується так:

1. Сигнал фільтрується вузькосмуговим фільтром навколо f_0 , отримуємо $p_{bp}(t)$;
2. Обчислюється аналітичний сигнал за Гільбертом $\mathcal{H}\{p_{bp}(t)\}$;
3. Огинаюча амплітуди:

$$A_{f_0}(t) = \#H p_{bp}(t) \# \quad (2)$$

Точність оцінюється метрикою NMAE (нормалізована середня абсолютна похибка):

$$\text{NMAE}(A_x, A_y) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \#A_x(n) - A_y(n)\#}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \#A_x(n)\# + \varepsilon}, \quad (3)$$

де A_x – огинаюча для узгодженого вимірюваного сигналу, A_y – огинаюча для узгодженого модельного сигналу, $\#$ – мале число для уникнення ділення на нуль.

Додавк ε у знаменнику формули (3) використовується виключно як чисельно-стабілізуючий параметр. Його наявність є суттєвою лише у виродженому випадку нульового сигналу, коли $A_x(n) = 0$ для всіх n , унаслідок чого знаменник нормувального виразу дорівнює нулю.

Таким чином, NMAE є скалярним показником, придатним для автоматизованого перебору параметрів: менше значення відповідає кращій відповідності моделі та експерименту на частоті випромінювання.

У даній статті предметом оптимізації є параметри чисельної постановки, які не є параметрами натурального експерименту, але визначають точність і час моделювання:

- a) PPW (points per wavelength) - кількість вузлів на довжину хвилі, що визначає просторовий крок:

$$dx = \frac{\lambda}{PPW}, \lambda = \frac{c_0}{f_0}, \quad (4)$$

де c_0 – опорна швидкість звуку;

- b) PML size – товщина поглинального шару (в клітинках), що впливає на рівень відбиттів від межі та на розмір обчислювальної області;

- c) PML alpha – коефіцієнт поглинання в PML, що впливає на ефективність демпфування;

- d) параметри домену: запас по довжині хвилі (у λ) і мінімальна товщина домену по осі Y ($N_y \min$).

Час моделювання для time-domain солверів у першому наближенні масштабується як:

$$T \propto N_x N_y N_t, \quad (5)$$

де N_x і N_y – розміри сітки, N_t – кількість часових кроків. Тому навіть відносно невелика зміна dx , PML або розмірів домену може давати кратний вииграш/програш у часі. Це і є підстава для практичної процедури: спочатку визначити найточнішу конфігурацію (еталон), а потім знайти найшвидшу конфігурацію за умови допустимого значення NMAE.

Процедура відбору конфігурації реалізується у два етапи.

1. Пошук еталонної конфігурації

Виконується серія прогонів з відносно “консервативними” значеннями дискретизації (наприклад, більший PPW і більший PML), після чого обирається конфігурація з мінімальним значенням NMAE. Ця конфігурація використовується як еталонна точність для конкретного фрагмента натурального сигналу.

2. Пошук ресурсно-ефективної конфігурації

Далі формується множина кандидатних конфігурацій у ширшому діапазоні параметрів (PPW, PML size, PML alpha тощо) і виконується відбір за умовою:

$$\text{NMAE} \leq 0.2.$$

Серед конфігурацій, що задовольняють поріг точності, обирається конфігурація з мінімальним часом моделювання (медіана за повторними запусками). Такий підхід забезпечує формалізований вибір ресурсно-ефективного варіанта без порушення вимог до точності.

Таблиця 1 демонструє, що для заданого фрагмента натурального сигналу існує область конфігурацій, які забезпечують прийнятну точність, але суттєво відрізняються за часом моделювання. Обраний ресурсно-оптимальний варіант забезпечує мінімальний час при збереженні умов прийнятності метрики ($\text{NMAE} \leq 0.2$), що є практичною реалізацією критерію ресурсної здійсненності.

Таблиця 1
Порівняння конфігурацій “Максимальні параметри” та “Оптимальні параметри”
(пошукове вікно 0.25 с., запас $\lambda = 0.50$)

Режим	PPW	dx, м	PML size	PML alpha	Ny min	Nx	Ny	Nt	Час мод., с	NMAE
Макс. параметри	20	1.530612	20	2.0	48	1456	48	6930	141.402098	0.014963
Опт. параметри	10	3.061224	10	1.0	32	728	32	3465	47.819362	0.027373

У результаті серійних прогонів сформовано таблицю конфігурацій з полями: PPW, dx , параметри PML, розміри сітки $N_x \times N_y$, кількість кроків N_t , час моделювання і NMAE по огинаючій $A_b(t)$. З цієї таблиці автоматично обрано:

- одну конфігурацію “Максимальні параметри” (мінімальний NMAE);
- одну конфігурацію “Оптимальні параметри” як найшвидшу при $NMAE \leq 0.2$.

Для наочного аналізу впливу дискретизації на метрику точності побудовано графік залежності NMAE від кроку сітки dx (рис. 3). Горизонтальна пунктирна лінія відповідає порогу прийнятності $NMAE = 0.2$, який визначає область допустимих параметрів за критерієм точності.

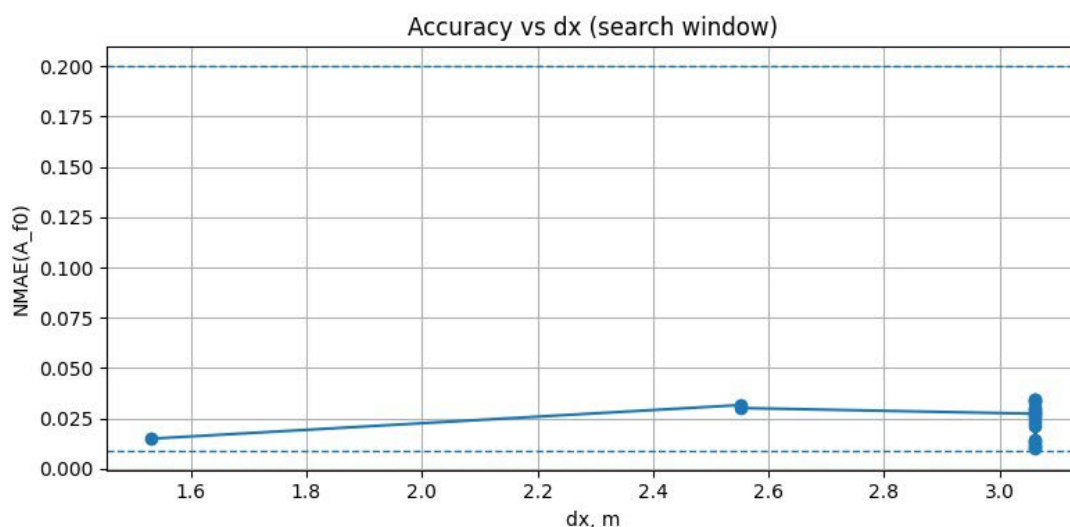


Рис. 3. Залежність NMAE по $A_b(t)$ від кроку сітки dx (пошукове вікно)

Рис. 3 демонструє, що всі розглянуті конфігурації в даному експерименті мають значення NMAE значно нижчі за 0.2, тобто формують область параметрів, яка є “достатньо точною” для розглянутого фрагмента. В межах цієї області ключовим стає другий критерій – час моделювання.

Для аналізу ресурсної складової побудовано залежність часу моделювання від dx (рис. 4). Цей графік показує, що зі збільшенням dx (грубішою сіткою) час у загальному випадку зменшується, але можливі викиди, зумовлені специфічними комбінаціями PML або розмірів домену.

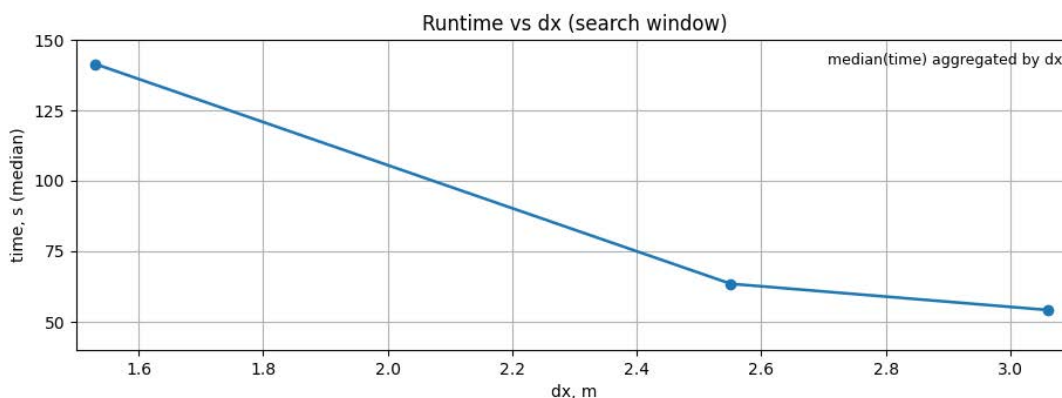


Рис. 4. Залежність часу моделювання (медіана) від кроку сітки dx (пошукове вікно)

На основі рис. 4 обирається конфігурація з мінімальним часом серед тих, що задовольняють поріг точності. Такий вибір формалізується як задача:

$$\min_{\theta \in \Theta} T(\theta) \text{ за умови } \text{NMAE}(\theta) \leq 0.2, \quad (6)$$

де θ – конфігурація чисельної постановки (PPW, PML та параметри домену), $T(\theta)$ – час моделювання.

Висновок

У роботі експериментально перевірено підхід до вибору параметрів чисельної акустичної моделі за одночасними критеріями точності та ресурсної здійсненності на прикладі натурних гідроакустичних даних SWellEx-96 (подія S5) із використанням k-Wave-python. Показано, що коректність порівняння “вимір–модель” забезпечується відтворюваною процедурою підготовки даних: формуванням вимірюваного фрагмента, відновленням дальності “джерело–приймач” за таблицями дальностей, визначенням частоти випромінювача f_0 за метаданими та спектральною перевіркою, а також узгодженням сигналів у смузі навколо f_0 (оцінка лагу за крос-кореляцією та комплексне масштабування через аналітичний сигнал). Точність оцінювалась метрикою NMAE для огинаючої амплітуди вузькосмугової компоненти $A_0(t)$, що підвищує стійкість оцінювання до малих фазових відхилень і шумів у реальних записах. Практично реалізовано двоетапний вибір конфігурації: спочатку визначено “еталон” максимізації NMAE ≤ 0.2 , обрано ресурсно-оптимальний варіант з мінімальним часом моделювання. Для розглянутого фрагмента даних отримано скорочення часу моделювання приблизно у 2.96 раза при збереженні прийнятної точності ($\text{NMAE} \approx 0.027 < 0.2$), що підтверджує практичну здійсненність визначення області допустимих параметрів чисельної реалізації (PPW, PML та параметри домену) і автоматизованого вибору ресурсно-ефективної конфігурації без перевищення заданого порогу похибки.

Література

1. SWellEx-96 Experiment: офіційні матеріали та опис даних подій S5/S59. URL: <https://swellex96.ucsd.edu/> (дата звернення: 03.03.2026).
2. Calisphere. SWellEx-96 collection: metadata and archival information. URL: <https://calisphere.org/collections/26185/> (дата звернення: 01.03.2026).
3. Treeby B.E., Cox B.T. k-Wave: MATLAB toolbox for the simulation and reconstruction of photoacoustic wave fields. *Journal of Biomedical Optics*. 2010. Vol. 15. № 2. 021314. DOI: 10.1117/1.3360308.
4. Oppenheim A.V., Schaffer R.W., Buck J.R. Discrete-Time Signal Processing. 2nd ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1999. 870 p.
5. Berenger J.-P. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves. *Journal of Computational Physics*. 1994. Vol. 114. Iss. 2. P. 185–200. DOI: 10.1006/jcph.1994.1159.
6. k-Wave-python Documentation (v0.4.0). URL: <https://k-wave-python.readthedocs.io/> (дата звернення: 04.03.2026).
7. SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python / P. Virtanen et al. *Nature Methods*. 2020. Vol. 17. P. 261–272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2.
8. Array programming with NumPy / C.R. Harris et al. *Nature*. 2020. Vol. 585. P. 357–362. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2.
9. Hunter J.D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*. 2007. Vol. 9. № 3. P. 90–95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55.
10. McKinney W. Data Structures for Statistical Computing in Python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference (SciPy 2010)*. 2010. P. 56–61. DOI: 10.25080/Majora-92bf1922-00a.
11. Computational Ocean Acoustics. 2nd ed. / F.B. Jensen et al. New York : Springer, 2011. DOI: 10.1007/978-1-4419-8678-8.

References

1. Berenger, J.-P. (1994). A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves. *Journal of Computational Physics*, 114(2), 185–200. <https://doi.org/10.1006/jcph.1994.1159>
2. Calisphere. (n.d.). *SWellEx-96 collection: Metadata and archival information*. Retrieved March 1, 2026, from <https://calisphere.org/collections/26185/>
3. Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., et al. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585, 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
4. Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
5. Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B., & Schmidt, H. (2011). *Computational Ocean Acoustics* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8678-8>
6. k-Wave-python Documentation. (n.d.). *k-Wave-python documentation (v0.4.0)*. Retrieved March 4, 2026, from <https://k-wave-python.readthedocs.io/>
7. McKinney, W. (2010). Data structures for statistical computing in Python. In *Proceedings of the 9th Python in Science Conference (SciPy 2010)* (pp. 56–61). <https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a>
8. Oppenheim, A. V., Schaffer, R. W., & Buck, J. R. (1999). *Discrete-Time Signal Processing* (2nd ed.). Prentice Hall.
9. SWellEx-96 Experiment. (n.d.). *SWellEx-96: Shallow Water Experiment (S5/S59 data and documentation)*. Retrieved March 3, 2026, from <https://swellex96.ucsd.edu/>
10. Treeby, B. E., & Cox, B. T. (2010). k-Wave: MATLAB toolbox for the simulation and reconstruction of photoacoustic wave fields. *Journal of Biomedical Optics*, 15(2), 021314. <https://doi.org/10.1117/1.3360308>
11. Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., et al. (2020). SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17, 261–272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>

Дата першого надходження статті до видання: 17.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 05.10.2026