

MODELOWANIE ABSORPCJI ENERGII AKUSTYCZNEJ W TKANKACH MIĘKKICH

B. GAMBIN¹, O. DOUBROVINA²

¹Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, ul.
Pawńskiego 5B, 02-106 Warszawa,

²Zakład Informatyki, Wydział Humanistyczny, Białoruski Państwowy Uniwersytet,
Nezavisimosti avenue, 22-30 Minsk, Białorus
bgambin@ippt.gov.pl

Trzy klasy mechanizmów odpowiadają za straty energetyczne w czasie propagacji fali w biologicznych tkankach miękkich w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych

(1) absorpcja energii związana z lepkością ruchu cząstek

(2) straty ciepłone związane z przewodnictwem cieplnym

(3) pochłanianie dźwięku związane z przekazaniem energii do procesów chemicznych lub na procesy relaksacji związane z przesunięciem położenia równowagi spowodowanego przez zmiany ciśnienia.

Pierwsze dwa mechanizmy [i.e. (1) i (2)] zazwyczaj nazywane "absorpcja klasyczna". Trzeci mechanizm, związany z relaksacją jest nazywane "nie-klasyczna absorpcja".

Tłumienie fali akustycznej, nie związane z rozproszeniem na niejednorodnościach, jest wynikiem absorpcji energii przez osrodek. Tłumienie zależne od częstotliwości fali jest powszechnie obserwowane w tkankach miękkich. Zależność jest dana prawem potęgowym, przy czym wykładnik potęgi jest liczbą niecałkowitą. W opisie matematycznym prowadzi to do użycia operatorów całkowitych, zwanych pochodnymi frakcyjnymi (ułamkowymi). Ułamkowa pochodna czasowa, zamiast pierwszej pochodnej czasowej w klasycznej lepkości, lepiej opisuje rzeczywistą lepkość materialu typu tkanka miękka, por. [1]. Natomiast równania falowe, w których używają ułamkowych operatorów różniczkowych względem czasu wymagają wiedzy o stanie ciśnienia w poprzednich chwilach czasowych. Z drugiej strony, użycie w opisie zjawiska tzw. Ułamkowych laplasjanów (operatorów nielokalnych przestrzennie) wprowadzone zostało do teorii propagacji dźwięku w celu uwzględnienia nielokalnych oddziaływań mechanicznych I w konsekwencji prowadzi również do prawa potęgowego na tłumienie z wykładnikiem ułamkowym., por. [2]. Przedyskutujemy konsekwencje użycia obu operatorów, zarówno ułamkowej pochodnej czasowej jak i przestrzennej (czyli ułamkowego laplasjanu) na opis procesu akustycznego w tkankach miękkich.

[1] K.A. Lazopoulos, Non-local continuum mechanics and fractional calculus, Mechanics Research Communications 33 (2006) 753-757

[2] Bradley E. Treeby, B. T. Cox, Modeling power law absorption and dispersion for acoustic propagation using the fractional Laplacian, J. Acoust. Soc. Am. 127 ,5 (2010) 2741-2748

Podziękowania

Praca została dofinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (projekt badawczy no. NN518426936)

MODELING OF ACOUSTIC ABSORPTION IN SOFT TISSUE

B. GAMBIN¹, O. DOUBROVINA²

department of Ultrasound, Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences, Pawinskiego 5B, 02-106 Warsaw, POLAND

department of Information Technology, Faculty of Humanities, Byelorussian State University, 4, Nezavisimosti avenue, 220030 Minsk, REPUBLIC OF BELARUS
bgambin@ippt.gov.pl

There are three mechanisms of acoustic energy loss, which are important in the ultrasonic frequency range:

(1) absorption of energy due to viscous forces appearing in molecules shearing motions;

(2) heat losses due to conduction;

(3) the sound absorption due to chemical or physical relaxation processes occurs when the equilibrium position is affected by pressure changes.

The first two [i.e., mechanisms (1) and (2)] are often referred to as "classical absorption". The third one is often referred to as relaxation or "non-classical absorption".

The acoustic wave attenuation, not related to the scattering, is due to the absorption of the acoustic energy. The frequency-dependent attenuation has been observed in acoustic waves in biological tissues. This dependence is typically described by the power law dependence on frequency and it demonstrates non integer dependence on the power of frequency. It leads to the fractional differential operators rather than classical differential ones. The fractional time derivative, instead of the first derivative in classical viscous term, has been used to describe better the real viscosity of soft tissues, cf. [1]. The wave equations which use the time-domain fractional operators require the storage of the complete pressure field at previous time steps. From the other hand the fractional Laplacian (space-domain fractional operator) has been introduced independently to take into account the nonlocal character of mechanical interactions and it also leads to a frequency power law with non integer power, cf. [2]. We discuss the consequences of modeling the acoustic process in which both type of terms involving the fractional operators are taken into account, in space domain, fractional Laplacian, and in time domain, nonclassical viscous absorption

[1] K.A. Lazopoulos, Non-local continuum mechanics and fractional calculus, *Mechanics Research Communications* 33 (2006) 753-757

[2] Bradley E. Treeby, B. T. Cox, Modeling power law absorption and dispersion for acoustic propagation using the fractional Laplacian, *J. Acoust. Soc. Am.* 127 ,5 (2010) 2741-2748

Acknowledgement

This work was partially supported by the Polish Ministry of Science and Higher Education (grant no. N N518426936)