İSSN 2708-955X

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
SUMQAYIT DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
СУМГАИТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

MINISTRY OF EDUCATION OF AZERBAIJAN REPUBLIC
SUMGAYIT STATE UNIVERSITY

# KONFRANS
# MATERİALLARI

## МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

## CONFERENCE PROCEEDINGS

## 2020 № 7

SUMQAYIT - 2020

# TƏTBİQİ FİZİKA VƏ ENERGETİKANIN AKTUAL MƏSƏLƏLƏRİ

**II BEYNƏLXALQ ELMİ KONFRANS**

***(12-13 noyabr 2020-ci il)***

---

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

**II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

***(12-13 ноября 2020-го года)***

---

# ACTUAL PROBLEMS OF APPLIED PHYSICS AND ENERGETICS

**II INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE**

***(November 12-13, 2020)***

---

## FEATURES OF HEAT SUPPLY SYSTEMS WITH APPLICATION HEAT PUMP

**Dautov R.R., Kondratiev Y.V.**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education*
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia Federation*
*gluza.dautova@yandex.ru*

Key words: heat pump, low-potential source, heating, transformation coefficient, energy efficiency.

Due to limited reserves and environmental degradation, traditional energy sources are being replaced by renewable sources - their new alternative. So, at the present time, an increasingly relevant and promising direction is the use of heat pumps that use low-grade heat as the main type of energy. The article discusses the features of heating systems, hot water supply with the use of heat pump installations. It also provides an assessment of low-grade heat sources in terms of the efficiency of the heat pump as applied to heat supply facilities for residential buildings.

## МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРЕОБРАЗОВАНИИ МОД ВОЛН ЛЭМБА

**Ибадов А.А., Сергеева Д.В., Кондратьев А.Е.**

*Казанский государственный энергетический университет, г.Казань, Россия*
amil-i@mail.ru

Ключевые слова. виброакустический контроль, волны Лэмба, трубопровод ЖКХ, скорость моды.

Предложен метод локализации повреждений, основанный на фокусировке с обращением времени отдельной моды волны Лэмба для части трубопровода, который рассматриваем как сегмент с асимметричным дефектом в направлении толщины. Локализация повреждения достигается путем численного моделирования с обратным временем (TR) преобразованной модой волны Лэмба, генерируемой на дефекте. Рассмотрен метод трехмерного эластодинамического конечного интегрирования (EFIT).

Обращение времени в акустике – это техника фокусировки волн, используемая в том числе при оценке методами неразрушающего контроля, технической диагностике, при сейсмологическом анализе и т.п. Когда волновые сигналы, записанные несколькими преобразователями, обращаются по времени и отправляются обратно в среду, самофокусировка волны происходит в исходном источнике волны. В работах М.Финка и его коллег [1-2] представлена концепция зеркала с обращением времени. Акустика с обращением времени применяется не только для фокусировки акустических волн в нужном месте и времени, но также и для локализации неизвестных источников волн или рассеивателей в различных средах.

Волны Лэмба предлагают эффективный инструмент для обнаружения и локализации повреждений в сегментах трубопроводов, поскольку они могут распространяться на относительно большие расстояния. Однако, поскольку расстояние распространения становится больше, временное разрешение сигналов волн Лэмба имеет тенденцию быть ниже из-за их дисперсии и мультимодальных характеристик. Чтобы преодолеть эту трудность, в исследованиях команды Н.Мориа из Гонконгского политехнического университета были предложены методы обработки сигналов, такие как компенсация дисперсии [3], двумерное преобразование Фурье и волновое-преобразование [4]. Эти подходы эффективно работают для определения времени прихода мод дисперсионной волны или для разложения измеренного сигнала на различные моды, но требуют дополнительного априорного изучения дисперсии и мультимодальных характеристиках.

В последние годы временная фокусировка волн Лэмба привлекает внимание при обнаружении повреждений пластинчатых структур. Теоретические исследования выявили, что дисперсионный эффект моды A0 компенсируется при обратном распространении. Также было показано, что сигнал основной моды (то есть обращения времени сигнала, полученный посредством процесса обращения времени) сопровождается несколькими боковыми полосами из-за мультимодального эффекта волн Лэмба. Наличие возможного повреждения можно оценить по индексу повреждения, который основан на разнице между входным и восстановленным сигналами в процессе обращения времени. По сути, этот метод может непосредственно обнаруживать только повреждения, расположенные между излучателем и приемником, хотя алгоритм восстановления вероятности (RAPID) был включен в метод обращения времени для преодоления этой трудности.

Целью данного теоретического исследования является предложение метода обращения волн Лэмба для локализации повреждений в сегментах трубопроводов без использования базовых данных. Для этого преобразование мод, вызванное повреждением, включается в процесс обращения времени. Двойные преобразователи прикреплены симметрично на обеих поверхностях трубопровода, чтобы избирательно излучать и принимать симметричные ($S_0$) и антисимметричные ($A_0$) моды самого низкого порядка в низкочастотном диапазоне. Локализация повреждений выполняется путем численного моделирования с обратным временем (TR) рассеянной модой рассеянной волны Лэмба.

Сигналы волны Лэмба в сегменте трубопровода с дефектом численно моделируются методом эластодинамического конечного интегрирования (EFIT) [5] вместо фактического измерения. Когда мода Лэмба, которая соответствует моде испускаемой волны в поврежденном сегменте, пики фокусировки не появляются в месте дефекта без извлечения сигналов рассеянной волны с использованием базовых данных для неповрежденной части сегмента трубопровода. Однако предлагаемый метод, а именно обращение времени рассеянной волны с преобразованием мод, позволяет фокусироваться в месте повреждения без базовых данных. Выявлено, что предлагаемый способ создает сфокусированные пятна в дефектной зоне трубопровода, размеры которых связаны с размером дефекта и половинной длины волны моды обращения времени волной. Предложенный способ показал потенциал для достижения локализации повреждения в относительно сложной структуре трубопроводов, такой как часть сегмента с отверстиями сквозной толщины [6]. В будущих исследованиях необходима экспериментальная проверка для обсуждения применимости предлагаемого метода к локализации повреждений для реальных конструкций трубопроводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. M.Fink, Time reversal of ultrasonic fields—Part I: basic principles, IEEE Trans.Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control 39 (1992) 555–566.

2. P.Roux, M.Fink, Time reversal in a waveguide: study of the temporal and spatial focusing, J. Acoust. Soc. Am. 107 (2000) 2418–2429.

3. P.D.Wilcox, A rapid signal processing technique to remove the effect of dispersion from guided wave signals, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control 50 (2003) 419–427.

4. K.Kishimoto, H.Inoue, M.Hamada, T.Shibuya, Time frequency analysis of dispersive waves by means of wavelet transform, J. Appl. Mech. 62 (1995) 841–846.

5. P.Fellinger, R.Marklein, K.J.Langenberg, S.Klaholz, Numerical modeling of elastic wave propagation and scattering with EFIT—elastodynamic finite integration technique, Wave Motion 21 (1995) 47–66.

6. N.Moria, Sh.Biwab, T.Kusakaa, Damage localization method for plates based on the time reversal of the mode-converted Lamb waves, Ultrasonics 91, Hong Kong Polytechnic University Department of Mechanical Engineering, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, (2019) 19–29, rev.ISSN: 0041-624X

## PIPELINE DAMAGE LOCALIZATION METHOD BASED ON MODES CONVERSION OF LAMB WAVES

**Ibadov A.A, Sergeeva D.V., Kondratiev A.E.**

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Key words: vibroacoustic control, Lamb waves, housing and communal services pipeline, fashion speed.

A damage localization method is proposed based on time-reversal focusing of an individual Lamb wave mode for a part of the pipeline, which is considered as a segment with an asymmetric defect in the thickness direction. Damage localization is achieved by numerical simulation with inverse time (TR) of the mode-converted Lamb wave generated at the defect. The method of three-dimensional elastodynamic finite integration (EFIT) is considered.

## LAMB DALGALARININ KONVERSİYASİYA MODLARINA GƏLƏN KƏMƏR ZƏMƏRİNİN YERLƏŞDİRİLMƏSİ ÜSULU

**Ibadov A.A, Sergeeva D.V., Kondratiev A.E.**

*Kazan Dövlət Enerji Mühəndisliyi Universiteti, Kazan, Rusiya*

Açar sözlər: vibroakustik nəzarət, Quzu dalğaları, mənzil və kommunal xidmətlər boru kəməri, moda sürəti.

Qalınlıq istiqamətində asimmetrik bir qüsuru olan bir seqment kimi qəbul edilən boru kəmərinin bir hissəsi üçün fərdi bir Quzu dalğa rejiminin vaxtın geri çevrilməsinə əsaslanan bir zərər lokallaşdırma metodu təklif olunur. Zərərin lokalizasiyası, qüsurda yaradılan rejimə çevrilmiş Quzu dalğasının tərs vaxtı (TR) ilə ədədi simulyasiya ilə əldə edilir. Üç ölçülü elastodinamik sonlu inteqrasiya (EFIT) metodu nəzərdən keçirilir.