

УДК 003.292.3

**В.В. Скатов**

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЦИФРОВИХ ФОНОГРАМ, СТВОРЕНИХ ДЕЯКИМИ ПРИСТРОЯМИ

*У статті наведено результати дослідження особливостей фонограм, створених деякими пристроями.*

**Ключові слова:** автентичність фонограми, кратна тривалість, період дискретизації, пристрій, звукозапис.

*В статье приведены результаты исследования особенностей фонограмм, созданных некоторыми устройствами.*

**Ключевые слова:** аутентичность фонограммы, кратная продолжительность, период дискретизации, устройство, звукозапись.

*Results of the studying of features of the soundtracks, created by several devices, are considered.*

**Keywords:** authenticity of a soundtrack, multiple duration, sampling period, device, sound recording.

Прогрес у технологіях електроніки та обчислювальної техніки призвів як до створення різноманітних цифрових звукозаписувальних пристроїв, так і до розвитку способів та засобів цифрового монтажу, які, на жаль, іноді застосовуються для навмисної фальсифікації фонограм. Виявляти такі втручання у фонограми має експертиза матеріалів і засобів цифрового звукозапису. При цьому ідентифікація цифрової апаратури звукозапису відіграє визначальну роль при проведенні такої експертизи, оскільки результати її ідентифікації визначають результати дослідження первинності цифрових фонограм та наявності або відсутності в них ознак цифрового монтажу [1]. Тому експертам часто ставиться запитання щодо виготовлення такої фонограми на наданому на дослідження пристрої. І чим більше ознак апаратури, що залишаються на носії запису, ми перевіряємо під час експертизи – тим більша вірогідність правильного вирішення поставленого перед експертом завдання і недопущення помилки.

Іноколи трапляється, що з будь-яких причин отримати на експертні дослідження звукозаписувальний пристрій, на якому було проведено звукозапис, неможливо. У такому разі вже не можна встановити оригінальність фонограми, але можна спробувати встановити певну групову приналежність апарату запису, на якому було записано надану на експертизу фонограму. І хоча такі випадки трапляються нечасто, вирішення завдань створення методів та засобів встановлення групової приналежності апаратури запису на основі аналізу властивостей записаних на них фонограм є актуальним завданням для фоноскопичної експертизи. Крім того, якщо групові ознаки частково втрачено на довжині фонограми, можна свідчити про наявність ознак монтажу навіть при відсутності на експертизі апаратури запису.

Метою статті є експериментальний пошук звукозаписуючих пристроїв, що залишають у фонограмах ознаки з певними властивостями, які можуть бути втрачені в результаті цифрового монтажу.

Одним із завдань фоноскопичної експертизи є виявлення факту стирання, перезапису, монтажу, фрагментарності запису та інших змін, внесених у фонограму після закінчення звукозапису [2]. Ми припустили, що фонограми, які піддавалися монтажу (тобто об'єднанню двох або більше частин однієї або декількох раніше записаних фонограм шляхом перезапису, при якому можуть вноситись зміни в записану інформацію та може змінитися послідовність фрагментів [3]), майже завжди довільним чином змінюють свою тривалість. Це припущення далі буде перевірено експериментально.

Зрозуміло, що найбільш просто факт зміни тривалості фонограми можна довести, якщо буде відома її початкова тривалість. Але інколи для цього може бути достатньо знати певну індивідуальну властивість деяких пристроїв створювати фонограми з тривалістю, що підкоряється певній закономірності, наприклад, відсутності кратності її тривалості до декількох періодів дискретизації.

Експериментально цю закономірність можна виявити за алгоритмом знаходження найбільшого спільного дільника (НСД) для чисел, що становлять тривалість фонограм. Якщо НСД дорівнюватиме більшому значенню ніж період дискретизації, то, у разі запису достатньої кількості фонограм, можна зробити висновок про наявність у пристрої властивості зберігання фонограм із закономірністю відповідності тривалості декільком періодам дискретизації. У випадку, коли тривалість періоду дискретизації є періодичним дробом, потрібно помножити значення тривалості фонограм відповідного пристрою на таке число, яке в результаті множення на тривалість періоду дискретизації дає ціле число, а після вирахування НСД поділити на це ж число. Така маніпуляція не вплине на результат знаходження кратності тривалості фонограм, але дозволить застосувати алгоритм Евкліда. Саме таким чином і проводилися експерименти, опис яких наведено у цій роботі.

Слід звернути увагу на те, що для наглядності у роботі аналізується лише параметр тривалості, хоча аналогічно можна розглядати параметр кількості семплів, який значно зручніше використовувати під час розрахунків, оскільки тривалість є похідним параметром від кількості семплів.

Експеримент проводився за таким алгоритмом. На першому етапі встановлювалася апаратура, в якій тривалість кратна декільком періодам дискретизації записаних та збережених у апараті фонограм. На другому етапі порівнювалися тривалості фонограм, що піддавалися цифровій обробці, з тривалістю фонограм, що їй не піддавалися.

Було записано по п'ять експериментальних фонограм для кожного довільно обраного пристрою запису. НСД обраховувався за алгоритмом Евкліда [4]. Знайдений НСД для величин тривалості для перших двох фонограм далі порівнювався з величиною, отриманою для НСД третьої фонограми, в разі, якщо при першому порівнянні не було отримано НСД, з величиною, рівною періоду дискретизації. Це б, у свою чергу, сигналізувало про відсутність необхідності продовження розрахунку.

Для ілюстрації проведеного експеримента нижче надається приклад розрахунків для фонограм мобільного телефону Samsung GT-S5610:

$a_1 = 8820000$ ;  $a_2 = 1980000$ , де  $a_n$  – тривалість фонограми у  $n$ -ій фонограмі

Крок $k$	Рівняння	Частка і залишок
0	$8820000 = q_0 \cdot 1980000 + r_0$	$q_0 = 4$ и $r_0 = 900000$
1	$1980000 = q_1 \cdot 900000 + r_1$	$q_1 = 2$ и $r_1 = 180000$
2	$900000 = q_2 \cdot 180000 + r_2$	$q_2 = 5$ и $r_2 = 0$ ; алгоритм закінчується

$a_3 = 1512000$ ; НСД( $a_1, a_2$ ) = 180000

Крок $k$	Рівняння	Частка і залишок
0	$1512000 = q_0 \cdot 180000 + r_0$	$q_0 = 8$ и $r_0 = 72000$
1	$180000 = q_1 \cdot 72000 + r_1$	$q_1 = 2$ и $r_1 = 36000$
2	$72000 = q_2 \cdot 36000 + r_2$	$q_2 = 2$ и $r_2 = 0$ ; алгоритм закінчується

$a_4 = 1476000$ ; НСД( $a_1, a_2, a_3$ ) = 36000

Крок $k$	Рівняння	Частка і залишок
0	$1476000 = q_0 \cdot 36000 + r_0$	$q_0 = 41$ и $r_0 = 0$ ; алгоритм закінчується

$a_5 = 1404000$ ; НСД( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ) = 36000

Крок $k$	Рівняння	Частка і залишок
0	$1404000 = q_0 \cdot 36000 + r_0$	$q_0 = 39$ и $r_0 = 0$ ; алгоритм закінчується

НСД( $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ ) = 36000

З результатів експерименту бачимо, що мобільний телефон Samsung GT-S5610 записує фонограми з кратною тривалістю до 36000 мкс = 36 мс. Порівняємо цю величину з періодом дискретизації відповідного пристрою. Частота дискретизації фонограм мобільного телефону Samsung GT-S5610 дорівнює 16000 Гц, тому період дискретизації дорівнює  $1/16000 = 0,0000625$  сек = 62,5 мкс, тобто можна зробити висновок про наявність особливості запису та збереження фонограм з кратною тривалістю більшою ніж період дискретизації (36000 мкс > 62,5 мкс).

При проведенні експериментальних досліджень знайдено 6 пристроїв зі схожими особливостями: RM-320 (смартфон Nokia N95 8GB), RM-159 (смартфон Nokia N95), RM-244 (смартфон Nokia E51), мобільний телефон Samsung GT-S5610, RM-469 (смартфон Nokia E52), смартфон Fly IQ 430. Отримані при цьому результати зведено у табл. 1.

Кожний пристрій з попередньої таблиці працював під керуванням стандартної операційної системи, і створення фонограм відбувалося за допомогою стандартних програм звукозапису.

RM-244 (смартфон Nokia E51) працює під керуванням операційної системи Symbian v 9.2, має вбудований засіб звукозапису, апаратним аудіо-кодеком цього пристрою є два мікроконтролера: RAPIDOYAWE\_v.1.12\_PA\_385ZWK та AVILMA\_1.05с [5]. Згідно з результатами проведення експерименту працює за алгоритмом, відповідно до якого фонограми зберігаються з тривалістю, кратною до 100 мс.

RM-320 (смартфон Nokia N95 8GB) працює під керуванням операційної системи Symbian v 9.2, має вбудований засіб звукозапису, апаратним аудіо-кодеком цього пристрою є два мікроконтролера: RAPIDOYAWE\_v.1.12\_PA\_385ZWK та AVILMA\_1.05с. Згідно з результатами проведення експерименту працює за алгоритмом, відповідно до якого фонограми зберігаються з тривалістю, кратною до 256 мс.

RM-159 (смартфон Nokia N95) працює під керуванням операційної системи Symbian v 9.2, має вбудований засіб звукозапису, апаратним аудіо-кодеком цього пристрою є два мікроконтролера: RAPIDOYAWE\_v.1.11\_PA\_385ZWK та AVILMA\_1.05с. Згідно з результатами проведення експерименту працює за алгоритмом, відповідно до якого фонограми зберігаються з тривалістю, кратною до 256 мс.

Таблиця 1

**Експеримент з виявлення властивості кратної тривалості,  
більшої за період дискретизації у фонограмах для деяких пристроїв**

Пристрій	Частота дискретизації (Гц) / відповідний період дискретизації (мкс)	Тривалість фонограми (мкс)					НСД	Чи можна зробити висновок про наявність властивості кратної тривалості фонограм? (НСД більше періоду дискретизації?)
		Запис №1	Запис №2	Запис №3	Запис №4	Запис №5		
Диктофон Edic mini LED S51	20 000 / 50	119 719 100	7 279 950	6 131 450	7 122 500	8 905 050	50	Ні
Мобільний телефон Samsung GT-S5610	16 000 / 62,5	8 820 000	1 980 000	1 512 000	1 476 000	1 404 000	36 000	Так
Смартфон Nokia N95	8000 / 125	5 376 000	4 352 000	2 304 000	2 560 000	2 304 000	256 000	Так
Смартфон Nokia N95 8GB	8000 / 125	3 072 000	3 072 000	3 328 000	3 328 000	7 424 000	256 000	Так
Смартфон Nokia E51	8000 / 125	12 500 000	29 100 000	700 000	2 200 000	500 000	100 000	Так
Смартфон Nokia E52	48000 / 20,8(3)	4 714 666,(6)	2 794 666,(6)	2 176 000	2 645 333,(3)	2 026 666,(6)	21 333,(3)*	Так
Мобільний телефон Fly DS123	16 000 / 62,5	1 848 562,5	5 099 500	3 032 000	3 037 937,5	522 750	62,5	Ні
Смартфон Fly IQ 430	8000 / 125	1 940 000	2 300 000	2 040 000	1 280 000	1 940 000	20 000	Так

\* Перед вирахуванням НСД значення тривалості у мікросекундах фонограм, записаних смартфоном Nokia E52, були помножені на 3, а записаних смартфоном Fly IQ 430 – на 2, для того, щоб привести їх до цілого числа. Після вирахування – значення НСД зазначених пристроїв було поділено на 3 і на 2 відповідно. Це не вплинуло на результат, але дозволило застосувати алгоритм Евкліда.

Мобільний телефон Samsung GT-S5610 має вбудований засіб звукозапису, апаратним аудіо-кодеком цього пристрою є мікроконтролер UCP200\_MAIN. Згідно з результатами проведення експерименту працює за алгоритмом, відповідно до якого фонограми зберігаються з тривалістю, кратною до 36 мс.

RM-469 (смартфон Nokia E52) працює під керуванням операційної системи Symbian\_v 9.3, має вбудований засіб звукозапису, апаратним аудіо-кодеком цього пристрою є два мікроконтролера: RPUYAMA\_v.1.11\_PR\_RISTA\_BGA401 та GAZOO\_v.3.4. Згідно з результатами проведення експерименту працює за алгоритмом, відповідно до якого фонограми зберігаються з тривалістю, кратною до 21,333 мс.

Смартфон Fly IQ430 працює під керуванням операційної системи Android v4.1.1, має вбудований засіб звукозапису, апаратним аудіо-кодеком цього пристрою є мікроконтролер U101\_MT6577. Згідно з результатами проведення експерименту працює за алгоритмом, відповідно до якого фонограми зберігаються з тривалістю, кратною до 20 мс.

Знайдена особливість зазначених вище пристроїв може бути корисною в рамках фоноскопичної експертизи шляхом аналізу тривалості наданих на дослідження фонограм і винесення відповідного висновку щодо автентичності та можливості збереження відповідним пристроєм фонограми з відповідною тривалістю. Але виявлення факту зміни тривалості фонограми носить ймовірний характер, оскільки величина зміни тривалості фонограми в результаті монтажу може співпасти з індивідуальною властивістю деяких пристроїв створювати фонограми із закономірною тривалістю більшою за період дискретизації. Ймовірність виявлення факту зміни тривалості фонограми можна вирахувати за формулою:

$$P = 1 - \frac{1}{TF}$$

$P$  – ймовірність виявлення факту зміни тривалості фонограми.

$F$  – частота дискретизації.

$T$  – стала часова величина у секундах, індивідуальна для деяких пристроїв, що створюють фонограми із закономірною тривалістю, більшою від періоду дискретизації.

Нами експериментально за допомогою програми “Cool Edit Pro” здійснювався цифровий монтаж файлів “Тестовий звукозапис 1.wav” та “Тестовий звукозапис 2.wav”, властивості файлів: частота дискретизації 8000Гц, тривалість 12 500 мс і 29 100 мс відповідно, отриманих за допомогою RM-244 (смартфон Nokia E51). Після монтажу новий файл зберігався з аналогічною частотою дискретизації. Ймовірність виявлення факту зміни тривалості таких фонограм згідно зазначеної вище формули навіть при відносно невеликій частоті дискретизації дорівнює  $1 - 1 / 0.1 * 8000 = 0,99875 \approx 0,999$ . Але при деяких видах монтажу тривалість фонограми не змінюється, у чому далі ми переконаємось експериментально. У результаті застосування типових способів монтажу властивість сталої кратності тривалості фонограм до 100 мс була втрачена у 5 експериментах з 6-ти (див. табл. 2). Втрата цієї властивості фонограми свідчить про наявність ознак

застосування монтажу, якщо відомо, що звукозаписуючим пристроєм був RM-244 (смартфон Nokia E51).

Таблиця 2

**Експериментальний монтаж файлів  
“Тестовий звукозапис 1.wav” та “Тестовий звукозапис 2.wav”,  
отриманих за допомогою RM-244 (смартфон Nokia E51)**

Спосіб монтажу	Тривалість фонограм (мс)		Чи можна зробити висновок щодо наявності ознак монтажу? (Значення тривалості після монтажу не кратне до 100 000?)
	до монтажу	після монтажу	
Об'єднання двох частин однієї раніше записаної фонограми	12 500 000	11 247 375	Так
Повне зниження гучності певної частини раніше записаної фонограми зі зміною послідовності фрагментів	12 500 000	12 500 000	Ні
Об'єднання трьох частин однієї раніше записаної фонограми з подальшим повним зниженням гучності певної частини	12 500 000	12 396 750	Так
Об'єднання двох частин двох раніше записаних фонограм	12 500 000 та 29 100 000	21 113 000	Так
Об'єднання двох частин двох раніше записаних фонограм зі зміною послідовності фрагментів	12 500 000 та 29 100 000	21 113 125	Так
Об'єднання трьох частин двох раніше записаних фонограм з подальшим повним зниженням гучності певної частини і зміною послідовності фрагментів	12 500 000 та 29 100 000	28 004 875	Так

### Висновки

1. Експериментальним шляхом виявлено індивідуальні властивості кратності тривалості фонограм до 100 мс для RM-244 (смартфон Nokia E51), до 256 мс для RM-320 (смартфон Nokia N95 8GB) і RM-159 (смартфон Nokia N95), до 36 мс для мобільного телефону Samsung GT-S5610, до 21,333 мс для RM-469 (смартфон Nokia E52) та до 20 мс для смартфона Fly IQ430. Ці величини є більшими за період дискретизації, тому можна їх вважати за групові ознаки досліджених пристроїв звукозапису.

2. Експериментально доведено, що такі індивідуальні особливості здебільшого втрачаються в результаті цифрового монтажу, тому використання таких групових ознак у експертній практиці додатково надасть можливість виявлення слідів цифрової обробки за параметром тривалості для відповідних пристроїв.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рыбальский О.В. Система идентификации аппаратуры записи сигналов и проверки оригинальности и подлинности сигналограмм / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев, Т.В. Командина, Т.А. Татарникова // Информационная безопасность. – 2011. – № 2 (6). – С. 7–14.
2. Россинская Е.Р. Настольная книга судьи: судебная экспертиза / Е.Р. Россинская, Е.И. Гальяшина – М. : Проспект, 2010. – 303 с.

3. Каганов А.Ш. Криминалистическая экспертиза звукозаписей / А.Ш. Каганов – М. : Издательство “Юрлитинформ”, 2005. – 137 с.
4. Алгебра и теория чисел : Учеб. пособие для студентов-заочников 2 курса физ.-мат. фак. пед. ин-тов / Н.А. Казачек, Г.Н. Перлатов, Н.Я. Виленкин, А.И. Бородин ; под ред. Н.Я. Виленкина. – 2-е изд. – М. : Просвещение, 1984. – С. 8–13.
5. СРКВ = Cell Phone Knowledge Base : энциклопедия мобильных телефонов. – Электрон. дан. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.cpkb.org>, свободный.
6. Рибальський О.В. Особливості прояву слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм та методика їх виявлення : метод. реком. / О.В. Рибальський ; МВС України. КНУВС. Каф-ра інформац. технологій. – К. : 2010. – С. 5.

Отримано 23.01.2014