

ЗАХИСТ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОБЛАДНАННЯ / SOFTWARE & HARDWARE ARCHITECTURE SECURITY

DOI: [10.18372/2225-5036.24.12609](https://doi.org/10.18372/2225-5036.24.12609)

ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИКО-ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Євгеній Косяк

Національний авіаційний університет, Україна



КОСЮК Євгеній Сергійович

Рік та місце народження: 1992 рік, м. Монастирище, Черкаська обл., Україна.

Освіта: Київський національний університет культури і мистецтва.

Посада: аспірант 3-го року навчання.

Наукові інтереси: методи та засоби захисту комп'ютерних систем від акустико-вібраційного впливу, методи та засоби побудови пристроїв акустико-вібраційного впливу.

Публікації: 12 наукових публікацій, серед них наукові статті у закордонних та вітчизняних авторитетних виданнях, матеріали конференцій.

E-mail: yevgeniy.kosyuk@gmail.com

Анотація. Стаття присвячена проблематиці захисту апаратних засобів комп'ютерних систем критичної інфраструктури. Показано, що найчутливішими до акустико-вібраційного впливу в комп'ютерній системі є жорсткі диски. Наслідками такого впливу можуть бути порушення роботи жорстких дисків, втрата інформації або повна відмова функціонування, які виникли внаслідок механічного пошкодження робочої поверхні блоку дисків або слайдера зчитуючої голівки. Проведено дослідження акустико-вібраційного впливу різноманітної амплітуди сигналу та його форми на жорсткі диски. Визначено найбільш небезпечні параметри впливу. Виявлено наслідки акустико-вібраційного впливу. У ході експерименту виявлено найбільш небезпечні частоти та форми сигналу, проведено інтерполяцію результату, визначено наслідки акустико-вібраційного впливу на жорсткий диск та комп'ютерну систему в цілому. Проведено дефектування комп'ютерної системи після акустико-вібраційного впливу, описано пошкодження, які отримала система внаслідок такого впливу.

Ключові слова: інформаційна безпека, захист комп'ютерної техніки, вібрація, вібраційне ураження, інфразвук, інфразвукове ураження.

Вступ

Дані літературних джерел [1, 4, 9] та результати власних досліджень [2, 3] вказують на те, що вібраційний вплив є одним із найбільш ефективних методів ураження комп'ютерних систем, а саме найбільш чутливої до подібного впливу їх частини – жорстких дисків (ЖД). Основну небезпеку для ЖД становить висока амплітуда коливань між корпусом ЖД, блоком зчитуючих голівок та блоком дисків, адже останні мають низьку інерційність через гіроскопічний ефект, що виникає за рахунок їх обертання на високій швидкості. Так як відстань між блоком зчитуючих голівок та блоком магнітних дисків (БМД) становить 0,05 мкм [1], навіть найменше зміщення блоку дисків відносно корпусу, а отже і актуатора зчитуючої голівки призведе до контакту між поверхнею БМД і слайдером зчитуючої голівки та їх

механічним пошкодженням. Аналізуючи декларовані характеристики ЖД, виявлено, що системами захисту та протидії ударам чи струсам оснащено ЖД виключно серверного та бізнес-класу (в бізнес-класі виключно мобільні версії). Захисту від акустико-вібраційного впливу інфразвукового діапазону не виявлено в характеристиках, представлених у вільному доступі. Було прийнято рішення експериментально дослідити акустико-вібраційний вплив на ЖД та можливість пошкодження ЖД чи даних, що зберігаються на ньому, в результаті подібного впливу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теоретичні та експериментальні дослідження шуму і вібрації, а також їх впливу проводяться з 50-х років минулого століття [9]. Засновуються інститути, які займаються проблематикою дослідження вібрації

та шуму і створення засобів зниження їх впливу на людину та оточення. Аналізуючи подібні дослідження на прикладі розробок Акустичного інституту ім. Акад. М.М. Андреева, можна дійти висновку, що в якості реципієнта шуму чи вібрації виступає людина і засоби та методи протидії розробляються саме для її захисту від негативного впливу вібрації та шуму. Проблематикою наднизько-частотного акустичного та вібраційного впливу на комп'ютерну техніку в цілому вітчизняні інститути не займаються. У вільному доступі вдалось знайти дослідження кількох найбільш вразливих до вібраційного впливу компонентів аерокосмічної сфери, серед яких досліджень ЖД немає.

Кожний з виробників ЖД А-брендів проводить тестування ЖД на стійкість до вібрації або ударів. Тестування проводиться у відповідності до цільового призначення ЖД та програмно-апаратних засобів захисту, які є в наявності в моделі ЖД, що проходить випробування. Так, наприклад, серія багатомісних WD Red, призначених для використання в серверних рішеннях та NAS-накопичувачах, тестується на здатність протистояти резонансним вібраціям, що виникають у серверних стійках чи NAS-системах з великою кількістю ЖД та має вбудовану систему 3D Active Balance Plus для компенсації деструктивного впливу паразитних вібрацій в багатодискових NAS-системах, RAID масивах та інших рішеннях з використанням великої кількості ЖД. Моделі бізнес-класу типу WD Black Mobile у форм факторі 2,5 дюйма, призначені для преміальних мобільних рішень (ноутбуки, ультрабуки), тестуються на здатність датчиків фіксувати удари та струси і паркувати зчитуючу голівку під час сильних ударів чи коливань, адже мають вбудовану систему протидії деструктивного впливу ударів.

Технології екстреного паркування голівки типу NoTouch у ЖД компанії Western Digital, судячи із заяв виробників, є ефективними для протидії падінням та не сильним ударам, але інформації зі здатності протидії вібрації чи захисту від неї знайти не вдалось.

З огляду на це, метою дослідження є визначення та аналіз наслідків акустико-вібраційного впливу на жорсткий диск та комп'ютерну систему в цілому.

Для досягнення вказаної мети потрібно вирішити такі завдання: проведення тестових замірів із різноманітними значеннями частоти, форми сигналу та звукового тиску; розробка критеріїв оцінювання, оцінка деструктивності акустико-вібраційного впливу відповідно до поставлених критеріїв.

Основна частина дослідження

Опис установки. Аналізуючи дослідження [3], для генерації акустико-вібраційного впливу був обраний метод наднизько-частотної колонки (ННЧК), адже саме він є найбільш розповсюдженим та простим [6] в реалізації. Була використана класична [7] акустична схема (рис.1), де роль генератора виконує модифікований генератор сигналів FG-100 DDS, підсилювача – СНЧ підсилювач Hertz HP 1 KD з демонтованим інфразвуковим фільтром, випромінювача – збірка з випромінювача Rockford Fosgate

T2S2-13 та корпусу, модифікованого для зміщення резонансної частоти в інфразвуковий діапазон.



Рис.1. Функціональна схема генератора акустико-вібраційного впливу

Опис тестового стенду. Для тестування був обраний ЖД компанії Western Digital (WD), модель WD3200AAJS. Дана модель станом на 11.02.2017 є найпопулярнішою на українському ринку (серед ЖД з ємністю менше ніж 600 Гб) та має оптимальне (найменша «вартість») 1 Гб серед ЖД середнього та високого цінового діапазону виробників А-брендів) співвідношення грн/Гб. До розгляду брались виключно актуальні на момент проведення експерименту моделі ЖД, модельних рядів не старших від 2015 року.

Тестовий ПК вмонтований в типовий корпус типу Mini Tower. До складу тестового ПК входять материнська плата типорозміру mini ATX, центральний процесор Intel Core 2 Quad п'ятого покоління (на 2 покоління старший актуального) та 4 Гб оперативної пам'яті типу DDR3.

Всі використані комплектуючі є новими та пройшли повне дефектування, у ході якого не було виявлено проблем та помилок.

ЖД встановлений в штатне [5] місце та закріплений фіксуєчними кріпленнями, що входять в базову комплектацію корпусу. Для тесту була встановлена ОС Windows 8.1 Enterprise.

Випромінювач та тестовий ПК установлені на різних поверхнях на відстані 3-х метрів для мінімізації вібраційного впливу через поверхню та зменшення паразитних шумів.

Звуковий тиск контролювався за допомогою універсального шумоміра-віброметра RST-00026, який був стандартним для санітарно-епідемологічної служби України (до її розформування), установленим за 10 см від отвору фазоінвертора випромінювача.

Хід виконання експерименту

ЖД, що використовувався в експерименті, був очищений шляхом двократного форматування з повним скиданням усіх кластерів. У результаті багаторазового форматування, графіки швидкості запису та зчитування однорідного масиву даних мали вигляд горизонтальної лінії. Після скидання проводилося дефектування ЖД за допомогою Victoria 4,46b, яке показало повну відсутність секторів з часом відклику більше ніж 50 мс.

Для завантаження ЖД під час експерименту, проводилась операція копіювання однорідного масиву даних між логічними дисками, створеними на одному фізичному, що фактично було поетапним процесом зчитування-запису даних. Проводилось 2 увімкнення установки (по 10 секунд кожне) та фіксувалось найменше значення швидкості запису-зчитування. Середні значення 2-х ітерацій для кожної з частот та форм сигналу записувались у таблиці.

Залежність швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу та форми сигналу при звуковому тиску 60 дБ (2×10^{-1} Па)

Таблиця 1

Частота (Гц)	Форма сигналу				
	Синусоїда	Меандр	Трикутник	Пила	Зворотня пила
5	35,2 Мб/с	35,3 Мб/с	35,6 Мб/с	35,2 Мб/с	35,7 Мб/с
8	35,1 Мб/с	35,3 Мб/с	35,5 Мб/с	35,4 Мб/с	35,4 Мб/с
11	35,3 Мб/с	35,2 Мб/с	35,3 Мб/с	35,3 Мб/с	35,4 Мб/с
14	34,6 Мб/с	35,1 Мб/с	35,4 Мб/с	35,1 Мб/с	35,5 Мб/с
17	34,2 Мб/с	34,7 Мб/с	35,1 Мб/с	34,8 Мб/с	35,2 Мб/с
20	33,7 Мб/с	34,4 Мб/с	35 Мб/с	34,4 Мб/с	35,1 Мб/с
23	33,3 Мб/с	34,5 Мб/с	34,8 Мб/с	33,9 Мб/с	34,9 Мб/с
26	33,6 Мб/с	34,1 Мб/с	34,7 Мб/с	33,8 Мб/с	34,7 Мб/с
29	33,9 Мб/с	34,7 Мб/с	34,6 Мб/с	33,9 Мб/с	34,7 Мб/с
32	34,5 Мб/с	35 Мб/с	34,9 Мб/с	34,5 Мб/с	34,6 Мб/с

Залежність швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу та форми сигналу при звуковому тиску 80 дБ (1 Па)

Таблиця 2

Частота (Гц)	Форма сигналу				
	Синусоїда	Меандр	Трикутник	Пила	Зворотня пила
5	34,1 Мб/с	34,3 Мб/с	35,1 Мб/с	35,5 Мб/с	35,2 Мб/с
8	33,4 Мб/с	33,9 Мб/с	34,2 Мб/с	35,1 Мб/с	35 Мб/с
11	31,8 Мб/с	33,2 Мб/с	33,6 Мб/с	33,9 Мб/с	34,4 Мб/с
14	29,5 Мб/с	30 Мб/с	32,9 Мб/с	33,2 Мб/с	34,5 Мб/с
17	27,9 Мб/с	28,7 Мб/с	32,1 Мб/с	32 Мб/с	33,7 Мб/с
20	26,2 Мб/с	26,5 Мб/с	31,2 Мб/с	31,2 Мб/с	32,9 Мб/с
23	23,5 Мб/с	25,6 Мб/с	29 Мб/с	30,6 Мб/с	32,1 Мб/с
26	24,3 Мб/с	25,7 Мб/с	28,7 Мб/с	30,3 Мб/с	32,4 Мб/с
29	25,9 Мб/с	25,4 Мб/с	28,8 Мб/с	30,7 Мб/с	32,4 Мб/с
32	27,6 Мб/с	27,8 Мб/с	29,5 Мб/с	31,6 Мб/с	33,9 Мб/с

Залежність швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу та форми сигналу при звуковому тиску 110 дБ (10 Па)

Таблиця 3

Частота (Гц)	Форма сигналу				
	Синусоїда	Меандр	Трикутник	Пила	Зворотня пила
5	27,8 Мб/с	26,8 Мб/с	33,6 Мб/с	34,1 Мб/с	33,9 Мб/с
8	25,2 Мб/с	26 Мб/с	30,3 Мб/с	33,9 Мб/с	32,4 Мб/с
11	22,3 Мб/с	23 Мб/с	27 Мб/с	31,3 Мб/с	30,6 Мб/с
14	19,2 Мб/с	21,2 Мб/с	23,2 Мб/с	29,2 Мб/с	29,9 Мб/с
17	17 Мб/с	18,8 Мб/с	19,3 Мб/с	25 Мб/с	29,8 Мб/с
20	14,7 Мб/с	16,2 Мб/с	18 Мб/с	25,2 Мб/с	28,4 Мб/с
23	12,8 Мб/с	14,9 Мб/с	17,9 Мб/с	23,9 Мб/с	26,5 Мб/с
26	12,4 Мб/с	14,4 Мб/с	19,8 Мб/с	21,9 Мб/с	26 Мб/с
29	13,1 Мб/с	15,9 Мб/с	20,4 Мб/с	20,7 Мб/с	24,3 Мб/с
32	16 Мб/с	19,3 Мб/с	22,6 Мб/с	23,8 Мб/с	25,7 Мб/с

Проаналізувавши дані заміру при амплітуді звукових коливань 110 дБ, було вирішено фінальний замір проводити, змінюючи форму сигналу в зворотньому порядку (меандр та синусоїда в остан-

ню чергу), адже саме при цих формах сигналу, швидкість зчитування-запису падала найбільше, 4 рази виникав збій процесу (1 раз при сигналовій тилу меандр та 3 рази при синусоїдальній формі сигналу).

Залежність швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу та форми сигналу при звуковому тиску 140 дБ (200 Па)

Таблиця 4

Частота (Гц)	Форма сигналу				
	Синусоїда	Меандр	Трикутник	Пила	Зворотня пила
5	13 Мб/с	23,2 Мб/с	31,2 Мб/с	34,5 Мб/с	34,3 Мб/с
8	5,4 Мб/с	15 Мб/с	30,7 Мб/с	34,1 Мб/с	33,9 Мб/с
11	1,9 Мб/с	9,3 Мб/с	25,4 Мб/с	33,6 Мб/с	34,7 Мб/с
14	0,8 Мб/с	4,1 Мб/с	24,6 Мб/с	32,9 Мб/с	33,5 Мб/с
17	0,1 Мб/с	2,6 Мб/с	23,1 Мб/с	32,1 Мб/с	32,8 Мб/с
20	0 Мб/с	2,2 Мб/с	20,2 Мб/с	31,7 Мб/с	32,2 Мб/с
23	0 Мб/с	0,8 Мб/с	18,5 Мб/с	27,2 Мб/с	28,1 Мб/с
26	нд	0 Мб/с	16 Мб/с	22,2 Мб/с	25,3 Мб/с
29	нд	0,1 Мб/с	17,8 Мб/с	22,8 Мб/с	22,8 Мб/с
32	нд	1,6 Мб/с	19,9 Мб/с	24 Мб/с	24 Мб/с

Під час акустико-вібраційного впливу при звуковому тиску 140 дБ (200 Па) та синусоїдальній формі сигналу і частоті 26 Гц, ЖД отримав критичні (як показало дефектування ЖД) пошкодження та

зупинив своє функціонування, що призвело до стоп-помилки операційної системи.

Результати. Аналізуючи табл. 1-4, можна зробити висновок, що найбільш деструктивними виявились синусоїдальна форма сигналу та сигнал

типу меандр. Результати тестування форми сигналу типу меандр та синусоїда представлені у вигляді

графіка залежності частоти впливу та швидкості запису (рис.2, рис.3).

Залежність швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу та звукового тиску при формі сигналу типу меандр

Таблиця 5

Частота (Гц)	Амплітуда звукових коливань			
	60дБ	80дБ	110дБ	140дБ
5	35,3 Мб/с	34,3 Мб/с	26,8 Мб/с	23,2 Мб/с
8	35,3 Мб/с	33,9 Мб/с	26 Мб/с	15 Мб/с
11	35,2 Мб/с	33,2 Мб/с	23 Мб/с	9,3 Мб/с
14	35,1 Мб/с	30 Мб/с	21,2 Мб/с	4,1 Мб/с
17	34,7 Мб/с	28,7 Мб/с	18,8 Мб/с	2,6 Мб/с
20	34,4 Мб/с	26,5 Мб/с	16,2 Мб/с	2,2 Мб/с
23	34,5 Мб/с	25,6 Мб/с	14,9 Мб/с	0,8 Мб/с
26	34,1 Мб/с	25,7 Мб/с	14,4 Мб/с	0 Мб/с
29	34,7 Мб/с	25,4 Мб/с	15,9 Мб/с	0,1 Мб/с
32	35 Мб/с	27,8 Мб/с	19,3 Мб/с	1,6 Мб/с

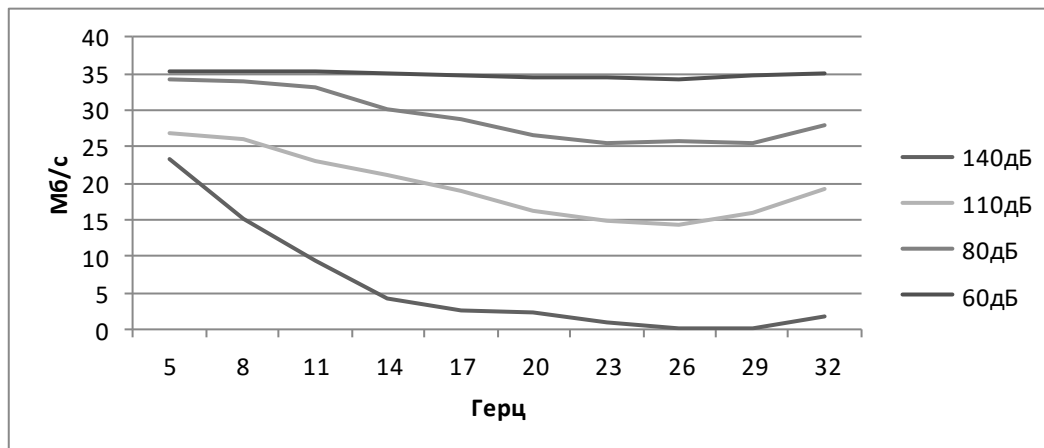


Рис. 2. Графік залежності швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу та звукового тиску при формі сигналу типу меандр

Таблиця 6. Залежність швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу та звукового тиску при синусоїдальній формі сигналу

Таблиця 6

Частота (Гц)	Амплітуда звукових коливань			
	60дБ	80дБ	110дБ	140дБ
5	35,2 Мб/с	34,1 Мб/с	27,8 Мб/с	13 Мб/с
8	35,1 Мб/с	33,4 Мб/с	25,2 Мб/с	5,4 Мб/с
11	35,3 Мб/с	31,8 Мб/с	22,3 Мб/с	1,9 Мб/с
14	34,6 Мб/с	29,5 Мб/с	19,2 Мб/с	0,8 Мб/с
17	34,2 Мб/с	27,9 Мб/с	17 Мб/с	0,1 Мб/с
20	33,7 Мб/с	26,2 Мб/с	14,7 Мб/с	0 Мб/с
23	33,3 Мб/с	23,5 Мб/с	12,8 Мб/с	0 Мб/с
26	33,6 Мб/с	24,3 Мб/с	12,4 Мб/с	нд
29	33,9 Мб/с	25,9 Мб/с	13,1 Мб/с	нд
32	34,5 Мб/с	27,6 Мб/с	16 Мб/с	нд

В ході експерименту виявилось, що акустико-вібраційний вплив при амплітуді звукових коливань в 140 дБ та синусоїдальній формі сигналу призводить до критичних пошкоджень робочого поля блоку магнітних дисків (БМД) та повної зупинки роботи ЖД і, як наслідок, комп'ютерної системи в цілому (стоп-помилка роботи ЖД).

Для більш глибокого аналізу обрано результат акустико-вібраційного впливу з формою сигналу типу меандр та звуковому тиску 140 дБ (200 Па),

оскільки він найбільш повно відображає стан ЖД під час роботи випромінювача.

Інтерполяцію результату проведено за допомогою сплайну Акіми [8].

Аналізуючи інтерпольовані дані (рис.4), виявлено, що найбільший деструктивний вплив відбувається при частоті 27 Гц. Інтерпольовані дані дослідження при синусоїдальній формі сигналу та звуковому тиску 110 дБ, отримано аналогічний результат.

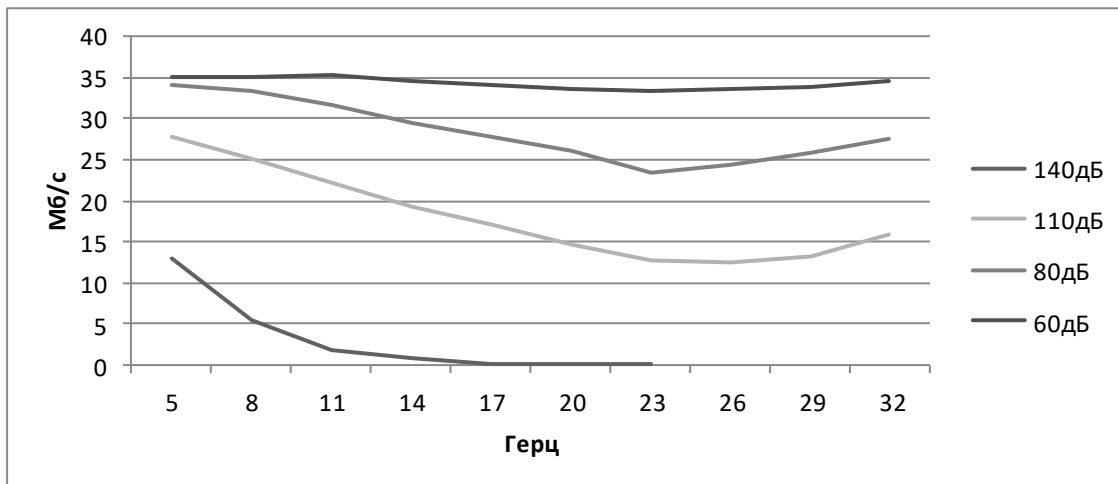


Рис. 3. Графік залежності швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу та звукового тиску при формі сигналу типу синусоїда

В ході повторного дефектування ДЖ виявлено, що в результаті акустико-вібраційного впливу відсоток пошкоджених кластерів робочого поля БМД в зоні, з якої проводились операції запису та зчитування даних, перевищив 67%. Більш точне дефектування доступними засобами провести не вдалось, оскільки поверхня БМД та профілювання зчитуючої голівки були критично пошкоджені (виявлено в ході розборки ЖД після усіх тестів), а система мікропозиціонування не могла довго тримати зчитуючу голівку на доріжці без аеродинамічної подушки.

Під час комплексного технічного огляду тестового комп'ютера виявилось, що частоти інфразвукового діапазону також деструктивно впливають на систему охолодження. Опорні муфти кулерів сис-

теми охолодження центрального процесора та блоку живлення змістились із місць посадки та розклинили собою осі кулерів, заважаючи їх штатному функціонуванню. Подальша їх робота в такому стані, з високою долею вірогідності, призведе до перегріву системи та спрацьовування термореле центрального процесора. Окрім вищеперерахованих пошкоджень, інших наслідків акустико-вібраційного впливу на тестовий комп'ютер не виявлено.

В ході дослідження було визначено, що точкою біфуркації (в даному випадку повна відмова системи, критичні пошкодження робочого поля БМД та втрата інформації) є частота 27 Гц.

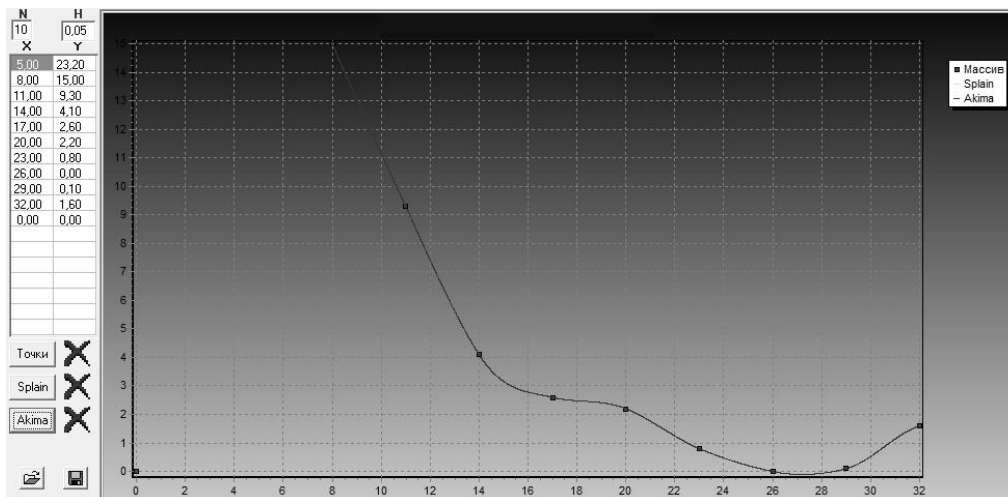


Рис. 4. Інтерполяція графіку залежності швидкості запису однорідного масиву даних від частоти впливу при формі сигналу типу меандр та звуковому тиску 140 дБ (200 Па) сплайном Акіми

Висновки

У зв'язку з аналізом результатів дослідження, можна зробити такі висновки:

1. Акустико-вібраційний вплив є деструктивним для комп'ютерної системи.
2. Найбільшу загрозу становлять: синусоїдальна форма сигналу, сигнал типу меандр.

3. Вплив на частотах 27 ± 2 Гц найбільш негативно впливає на роботу ЖД і комп'ютерної системи в цілому.

4. Базовий вібраційний захист ЖД А-бренду не може ефективно протидіяти інфразвуковому впливові.

5. Наслідком акустико-вібраційного впливу є відмова роботи ЖД, втрата інформації та зупинка

роботи комп'ютерної системи. Подібний вплив можна нейтралізувати за допомогою інерційних елементів, підібраних з резонансом у протифазі до найбільш критичних частот інфразвукового діапазону, гіроскопічних підвісів та активних віброгасіїв. Перспективним шляхом дослідження в даному напрямку є оцінка здатності перелічених методів та засобів захисту від акустико-вібраційного впливу на комп'ютерну техніку критичної інфраструктури захищати та протидіяти акустико-вібраційному впливові, а також можливість модифікації даних методів та засобів з метою підвищення рівня захисту та нейтралізації деструктивного впливу.

Література

- [1] Г. Сенкевич, «Искусство восстановления данных», СПб, БХВ-Петербург, с. 304, 2011.
[2] А. Корченко, И. Терейковский, Е. Косюк, «Современные методы и средства защиты от акустико-вибрационного влияния на компьютерную технику», *Вестник Актобинского регионального госу-*

дарственного университета имени К.Жубанова, вып. 2 (48), с. 48-63, 2017.

[3] О. Корченко, И. Терейковский, Е. Косюк, «Анализ современных средств создания устройств вибрационного влияния на информационные системы критической инфраструктуры», *Защита информации*, вып. 2, с. 124-132, 2016.

[4] М. Афанасьев, «Современные жесткие диски», *Компьютер-пресс*, вып. 12, 2007.

[5] Е. Рудометов, В. Рудометов, «Архитектура ПК, комплектующие, мультимедиа», Питер, 2008.

[6] Е. Скучик, «Основы акустики: в 2-х томах», М., Мир, 1976.

[7] Г. Сокол, «Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот», Днепропетровск, Промінь, с. 136, 2000.

[8] А. Круковец, Г. Горелкин, «Разработка метода интерполяции значений номограммы», *Современные научные исследования и инновации*, вып. 5, ч.2. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/05/53846>.

[9] Шумы и вибрации. URL: http://www.akin.ru/r_shmvib.htm.

УДК 004.056.5 (045)

Косюк Е.С. Исследование акустико-вибрационного влияния на аппаратное обеспечение компьютерных систем

Аннотация. Статья посвящена проблематике защиты аппаратных средств компьютерных систем критической инфраструктуры. Показано, что наиболее чувствительными к акустико-вибрационному воздействию в компьютерной системе есть жесткие диски. Последствиями такого влияния могут быть нарушения работы жестких дисков, потеря информации или полный отказ функционирования вызванные механическими повреждениями рабочей поверхности блока дисков или слайдера считывающей головки. Проведено исследование акустико-вибрационного воздействия различной амплитуды сигнала и его формы на жесткие диски. Определены самые опасные параметры воздействия. Выявлено последствия акустико-вибрационного воздействия. В ходе эксперимента выявлены наиболее опасные частоты и формы сигнала, проведения интерполяции результата, определены последствия акустико-вибрационного воздействия на жесткий диск и компьютерную систему в целом. Произведено дефектовку компьютерной системы после акустико-вибрационного воздействия, описано повреждение, которое получила система в результате такого воздействия.

Ключевые слова: информационная безопасность, защита компьютерной техники, вибрация, вибрационное поражение, инфразвук, инфразвуковое поражение.

Kosyuk Ye. The study of the acoustic-vibrational effect on the hardware of computer systems

Abstract. The article is devoted to problems of hardware protection of computer systems of critical infrastructure. It is shown that hard drives are the most sensitive to acoustic-vibrational effects in the computer system. The consequences of this effect may be the disruption of the hard disk drive, the loss of information or the complete failure of operation that arose as a result of mechanical damage to the working surface of the drive unit or the slider of the read head. It is determined that technical specifications of hard disks lack tolerance levels of acoustic impact. A test stand was developed for research of acoustic-vibration influence on computer equipment. An acoustic system is implemented to generate acoustic vibrations of the infrasonic range. Test measurements of acoustic-vibrational influence with different values of frequency, waveform and sound pressure on hard disks have been carried out. The most dangerous frequency of influence and shape of the signal are determined. The high destructiveness of the acoustic-vibrational influence on the computer system has been proved. The consequences of acoustic-vibration influence are revealed. During the experiment, the most dangerous frequencies and waveforms were detected, an interpolation of the result was performed using the Akimi spline, the effects of acoustic-vibrational effects on the hard disk and the computer system as a whole were determined. Graphs of the dependence of the rate of recording of a homogeneous data array on the frequency of the effect and the sound pressure in the form of a signal of the type of the meander and the sinusoid are constructed. Defective computer system after acoustic-vibrational influence has been made, the damage received by the system due to such influence is described. The study found that: the basic vibration protection of A-hard drives cannot effectively counteract infrasound effects, the greatest threat is the sinusoidal waveform and a signal of the type of meander, the effect at frequencies of 27 ± 2 Hz most negatively affects the hard disk and the computer system as a whole.

Key words: information security, protection of computer equipment, vibration, vibration damage, infrasound, infrasonic hitting.