

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ СТВОРЕННЯ ПРИСТРОЇВ ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*Олександр Корченко, Ігор Терейковський, Євгеній Косюк*

*Проаналізовані методи та засоби інфразвукового впливу на комп'ютерні апаратні засоби критичної інфраструктури. Показано, що значну загрозу для комп'ютерних систем критичної інфраструктури становить деструктивний вплив викликаний інфразвуковими хвилями. При цьому, більшість способів генерації інфразвуку базуються на використанні наступних пристроїв: резонатор Гельмгольца, генерація за допомогою пульсуючої сфери типу Монополь, випромінювач типу ротор, резонуючий циліндр, наднизькочастотна колонка, метод парних ультразвукових випромінювачів, повітряний гвинт. Проведено дослідження вказаних пристроїв. Виявлено їх характерні особливості, переваги та недоліки. Побудовані діаграма спрямованості інфразвукового випромінювання та графік залежності гучності інфразвукового випромінювання від затраченої потужності. Також, в результаті вказаних пристроїв, обгрунтовано множину базових параметрів, величини яких дозволяють оцінити їх конструктивно – експлуатаційні властивості. Також, для кожного із способів генерації були розраховані орієнтовні значення цих параметрів, що дозволяє перейти до подальших досліджень з метою створення системи класифікації засобів створення пристроїв вібраційного впливу та методу вибору способу генерації інфразвукового сигналу в залежності від очікуваних умов застосування та створення.*

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

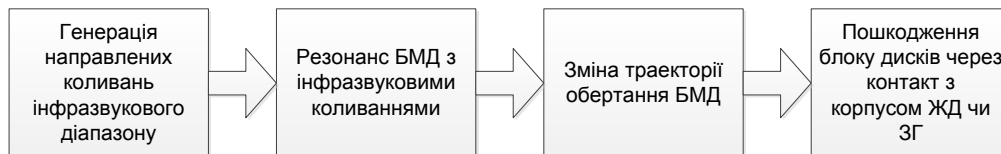


Рис.1. Етапи інфразвукового ураження комп'ютерної техніки

**Вступ.** Однією з найважливіших складових сучасної інформаційної війни є можливість деструктивного впливу на критичну інфраструктуру [1] потенційного супротивника, що представляє собою комплекс апаратно – програмних засобів, які забезпечують функціонування інформаційних систем, відмова яких може спричинити великі або навіть незворотні негативні наслідки для економіки, добробуту та здоров'я населення, стабільного перебігу політичних процесів.

Результати [4] вказують на те, що досить ефективними є апаратні засоби ураження призначені для деструктивного впливу на внутрішні носії інформації постійного типу – жорсткі диски (ЖД).

Основою ЖД є блок магнітних дисків (БМД), що обертаються на шпинделі та зчитуючі головки (ЗГ), що знаходяться у безпосередній близькості до БМД. Відповідно, основними причинами вразливості ЖД є наявність рухомих деталей, чутливих до вібрації, та чутливість БМД до електромагнітного впливу. Цим же і пояснюється наявність двох основних типів деструктивного фізичного впливу на ЖД: електромагнітний та вібраційний.

Перший тип впливу призводить до розмагнічування магнітного диску та фізичного пошкодження інформації, яку в деяких випадках можливо відновити за допомогою спеціалізованих

програмно – апаратних засобів [5]. Другий – до пошкодження БМД та ЗГ що також призводить до втрати інформації, яка майже не піддається відновленню оскільки суттєво пошкоджується магнітний шар БМД.

Слід зазначити, що деструктивний вплив першого типу можна нівелювати за рахунок використання досить розповсюджених засобів захисту типу G12B17/02 (пасивний екран із заземленням) [6] та фрактальний електромагнітний екран-реструктуризатор (система активної протидії електромагнітним полям) [7].

Разом з тим, пасивний захист від вібраційного впливу мало досліджений, а активна протидія такому впливу («відпарковка» ЗГ) спричинює недовідповідність захищеної інформації і як наслідок – до втрати повноцінного функціонування комп'ютерної системи.

Крім того, до вібраційного впливу можуть мати відносно високу чутливість такі компоненти апаратного забезпечення, як блоки живлення, багатошарові материнські плати та системи охолодження комп'ютерних систем.

Механізм впливу (рис. 1) другого типу полягає у входженні у резонанс перелічених вище елементів комп'ютерних систем. За рахунок висока чутливість до вібрації, результатом такого впливу є

фізичне виведення із ладу апаратних засобів комп'ютерних систем.

Таким чином, перспективність аналізу сучасних засобів створення пристроїв вібраційного ураження комп'ютерних апаратних засобів критичної інфраструктури зумовлює актуальність даної наукової роботи.

Зазначимо, що робота акцентована на дослідженні методів та засобів вібраційного впливу, на комп'ютерні апаратні засоби критичної інфраструктури. Тому, в ній будуть розглянуті пристрої вібраційного ураження з відносно не великою потужністю, дія яких не має помітного впливу на персонал критичних інфраструктур. Відповідно до [10] такий вібраційний вплив аналогічний гучності інфразвукового випромінювання в 125 ДБл.

**Аналіз існуючих досліджень і постановка завдання.** Критична інфраструктура будь-якої держави – не що інше, як велика складна система стратегічного масштабу, яка є сукупністю значної кількості елементів різного типу, об'єднаних зв'язками різної природи і яка володіє загальною властивістю (призначенням, функцією), відмінною від властивостей окремих елементів усєї сукупності [8, 9]. Необмежена кількість об'єктів і параметрів системи, які постійно варіюються, та важко прогнозована поведінка об'єктів з великою кількістю взаємозв'язків є основними причинами труднощів виявлення об'єктів критичної інфраструктури держави. Для забезпечення захисту об'єктів критичної інформаційної інфраструктури (КІІ) необхідно, перш за все, ідентифікувати ці об'єкти за певними критеріями чи критичними параметрами.

Використання вібраційних засобів впливу передбачає низькочастотний вплив. Середовищами передачі такого впливу може бути як ґрунт, так і повітря. При використанні ґрунту як середовища передачі вібрації, ефективність подібного впливу передбачає високі втрати потужності та низький коефіцієнт корисної дії за рахунок використання антивібраційних засобів в комп'ютерних системах. З огляду на це, найбільш перспективним середовищем передачі вібрації є повітря. При використанні повітря як середовища передачі вібрації, найбільш доцільним стає саме інфразвуковий вплив, так як частоти інфразвуку є наднизькими і прирівнюються до вібрації. До того ж, такий тип впливу є практично непомітним для персоналу критичної інфраструктури [10].

Аналізуючи роботи [15...21] можна прийти до висновку, що підходи до створення засобів інфразвукового впливу або малодосліджені, або базуються на якомусь одному методі генерації. Також, ці дослідження не включають в себе будь якої класифікації засобів впливу як по типові генерації так і по середовищу передачі сигналу. Також, в більшості проаналізованих робіт немає передумов будь-якого комплексного підходу до вирішення проблеми генерації інфразвуку. Відсутність всього вищезгаданого обумовлюється тим, що автори описують окремі способи генерації з різними значеннями початкових параметрів для кожного з цих способів не класифікуючи їх. Також, в доступній літературі методи та засоби генерації вібраційного впливу описуються досить схематично, прямі інструкції відсутні як клас.

З огляду на це, **метою роботи** є аналіз сучасних засобів створення пристроїв генерації інфразвукових хвиль, для оцінювання їх можливостей щодо викликання деструктивних наслідків їх впливу на апаратні засоби комп'ютерної техніки.

### **Основна частина дослідження**

Зазначимо, що у відкритих та достовірних літературних джерелах інформація по інфразвуковим генераторам практично відсутня. Тому були розглянуті класичні способи генерації інфразвуку, які базуються на використанні наступних пристроїв: резонатор Гельмгольца, генерація за допомогою пульсуючої сфери типу Монополь, випромінювач типу ротор, резонуючий циліндр, над низькочастотна колонка, метод парних ультразвукових випромінювачів, повітряний гвинт.

#### **1. Резонатор Гельмгольца (РГ)**

Сутність підходу. Генерація пружної хвилі в результаті резонансу пустотілого пристрою особливої форми..

Опис підходу. Резонатор Гельмгольца – акустичний пристрій, що являє собою емкість сферичної (в деяких випадках трубчастої (рис. 3.)) форми з відкритою горловиною (рис. 2).



Рис. 2. Сферичний резонатор Гельмгольца

Резонатор може здійснювати низькочастотні та над низькочастотні коливання, довжина хвилі яких значно більше розмірів самого резонатора [2].

Важливим аспектом інфразвукових генераторів є частота резонансу. У над низькочастотних генераторах, частотою резонансу вважається частота, при якій відмічається сильне зростання амплітуди коливань у результаті відповідності частоти генерації із власною частотою коливань корпусу генератора.

Частота резонатора вираховується за формулою:  $f_H = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V_0 L}}$ , де  $f_H$  - частота, Гц;  $v$  - швидкість звуку в повітрі (340 м/с);  $S$  – площа отвору, м<sup>2</sup>;  $L$  – довжина отвору, м;  $V_0$  - об'єм резонатора, м<sup>3</sup>.

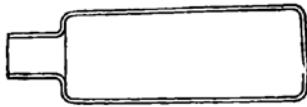


Рис. 3. Трубчастий резонатор Гельмгольца

Резонатор відкликається на звук фіксованої частоти - точніше певну, або розмитту область частот в районі резонансу. Як видно з формули вище, частоту резонансу визначає об'єм резонатора і розміри горловини. Також, потрібно врахувати, що занадто довга, чи вузька горловина глушить коливання резонатора [3].

РГ з високим розмиттям області резонансу частот часто використовується як штучне «Інфравуху» для фіксування наявності коливань інфразвукового діапазону.

**Переваги використання.** Даний тип генерації має високий КПД резонації (рис. 7) та відносно просту будову. Також, РГ є найкомпактнішим генератором з усіх існуючих. Висока відмова стійкість РГ обумовлюється простотою конструкції та відсутністю рухомих деталей. Також, до переваг РГ можна віднести високу направленість сигналу (рис. 6).

**Недоліки використання.** Основним недоліком є те, що кожний окремий РГ має свою унікальну частоту резонації з мінімальним розмиттям АЧХ і дана частота не може бути змінена після виготовлення РГ без суттєвих змін конструкції. Також, до недоліків можна віднести те, що розмір РГ обернено пропорційний частоті резонації. РГ використовується як підсилювач коливань і не може повноцінно генерувати їх. Резонанс з'являється тільки при зовнішньому впливові на РГ при певних частотах, що відповідають частоті резонації конкретного екземпляру.

## 2. Генерація за допомогою пульсуючої сфери типу Монополь (ГПС)

**Сутність підходу.** Суть ГПС полягає у використанні пружної сфери. Генерації інфразвукових коливань відбувається за рахунок зжимання та розжимання сфери.

**Опис підходу.** Як пульсуюча сфера зазвичай використовується резинова сфера діаметром близько 1 м (рис. 4), з'єднана з резервуаром компресора, який зжимає повітря до 3х і більше атмосфер. З'єднання виконано через трубку з краном, який обертається з потрібним числом обертів і періодично підключає сферу до компресора а потім відключає її.

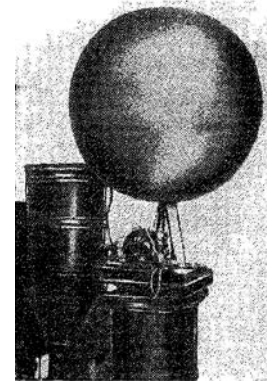


Рис. 4. Експериментальний макет пульсуючої сфери

Повертання крану відбувається за допомогою електродвигуна постійного струму. Сфера пульсує з амплітудою до 5 мм при 15 Гц, і являється джерелом інфразвуку.

**Переваги використання.** Використання системи ГПС дозволяє доволі легко змінювати частоту генерації, змінюючи частоту обертання електромотору і амплітуду пульсації, змінюючи тиск в резервуарі компресора.

**Недоліки підходу.** Експериментально доведено, що такий тип генерації є малоефективним, адже інтенсивність, що залежить від квадрату відношення розміру випромінювача до довжини хвилі, для інфразвуку (якщо сфера не дуже велика) є незначною. Також варто зазначити складність виготовлення, відсутність направленості звукової хвилі (рис. 6) та малий строк експлуатації ГПС.

## 3. Випромінювач типу «Ротор» (ВР)

**Сутність підходу.** Суть ВР полягає в тому, що інфразвукова хвиля може генеруватись за допомогою сфери – ексцентрика, закріпленої на роторі електромотора (рис. 5).

**Опис підходу.** ВР складається з пружної резинові сфери діаметром 30 см. Сфера з'являється в сітці і стягується до металевого кріплення, що знаходиться у прорізі сталюого диску, надітого на вісь електромотора. Диск обертається у горизон-

тальному положенні. Електромотор асинхронний, розрахований на частоту обертань від 15 до 20 в секунду. Кріплення сітки з сферою можна закріпити на будь-якій відстані від осі обертання і за рахунок цього підбирати розмах ротора.

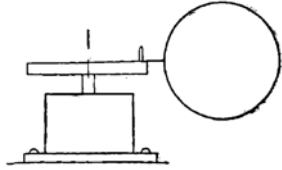


Рис. 5. Конструкція ВР

Обертаючись із швидкістю від 15 до 20 обертів в секунду, сфера випромінює інфразвук відповідної частоти. При цьому, шар стає помітним тільки у вигляді кільця навколо електромотора.

Обертаючись, ВР генерує рухому кільцеву хвилю, яка викликає періодичні зжимання та розжимання повітря навколо пристрою, що і генерує інфразвук.

Переваги підходу. Конструктивно, ВР є одним з найкращих варіантів генерації інфразвуку. Варто відзначити простоту розробки, високий КПД (рис. 7) та тривалий час експлуатації.

Недоліки підходу. До недоліків ВР можна віднести відсутність спрямованості випромінювання (рис. 6) та необхідність жорсткого закріплення конструкції на поверхні.

#### 4. Резонуючий циліндр (РЦ)

Сутність підходу. Суть методу полягає в резонансі мідної труби за рахунок пружної пульсації повітряної маси під час проходження по внутрішньому об'єму циліндра.

Опис підходу. Генерація наднизькочастотних здійснюється за допомогою повітря, що проходить через внутрішній об'єм циліндру. Існує два різновиди генерації інфразвукового сигналу за допомогою РЦ: лабіальна генерація та язичкова. В першому випадку – повітря через циліндр проходить імпульсно. Це відбувається шляхом відкривання та закривання клапану повітревоводу з певною частотою. Для цього, до клапану (або крану) під'єднується електродвигун, який обертається з певною швидкістю. Швидкість обертання електродвигуна (обертів за секунду) визначає частоту відкривання клапана, а отже і частоту генерації. Другий тип генерації (язичковий) працює шляхом установки в основу циліндру металевої пластини певного розміру. Під час проходження повітря через внутрішній об'єм циліндру пластинка створює пружні коливання. І саме розмір цієї пластинки (і швидкість проходження повітря через циліндр) і

визначає частоту генерації сигналу. Сам циліндр виконує функцію резонатора (підсилювача коливань). Розмір циліндру розраховується за формулою:  $L = \frac{S}{f}$ , де  $L$  – довжина циліндру (метрів);  $S$  – швидкість звуку (метрів за секунду);  $f$  – частота резонації (Герц).

Переваги підходу. Основною перевагою використання РЦ є висока спрямованість звукової хвилі. При використанні РЦ з резонансною частотою в 18-20 Гц, на відстані у 50 метрів, розмір точки фокусу не перевищує 15 метрів у діаметрі. Також, такий підхід до генерації над низькочастотних сигналів є одним з найефективніших. Показник Вт на децибел у діапазоні від 1 до 90 децибел не перевищує 15 ват.

Недоліки підходу. До недоліків використання РЦ можна віднести відносно великий розмір установки. Резонатор розрахований на 18 герц, буде близько 19 метрів у довжину. Використання зв'язаної генерації та генерації на другому коливанні може зменшити розмір такої установки вдвічі, але і з такими модифікаціями, РЦ залишається найбільшою установкою з розглянутих варіантів.

#### 5. Наднизькочастотна колонка (ННЧК)

Сутність підходу. Інфразвукова хвиля генерується за рахунок коливань дифузора на пружному підвісі та резонансу корпусу пристрою.

Опис підходу. Дифузор закріплений на пружному підвісові. З внутрішньої сторони дифузора знаходиться одна з обмоток котушки індуктивності. Друга обмотка котушки та постійний (частіше рідкоземельний) магніт розміщуються навколо першого контуру котушки індуктивності. На перший контур котушки подається синусоїдальний (інколи прямокутний) сигнал, який, утворюючи магнітне поле між обмотками котушки змушує другу обмотку виштовхувати першу за зростанням сигналу, а разом із нею, виштовхується і дифузор. Із спадом сигналу, сила, що діє на першу обмотку, зменшується і пружний підвіс повертає дифузор (а разом із ним і першу обмотку котушки) на початкове місце.

Важливим аспектом використання ННЧК є розрахунок та виготовлення корпусу пристрою, резонансна частота якого буде відповідати випромінювачу. Резонансна частота корпусу ННЧК розраховується за формулою:  $F = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{LV}}$ , де  $F$  – резонансна частота;  $c$  – швидкість звуку;  $\pi=3.14\dots$ ;  $S$  – площа отвору фазоінвертора;  $L$  – ефективна

довжина фазоінвертора (довжина фазоінвертора плюс 5 відсотків);  $V$  – об'єм корпусу.

Переваги підходу. Запропонований підхід до генерації сигналу інфразвукового діапазону є найбільш розповсюдженим. Практично всі комплекти для створення генераторів типу ННЧК є у вільній продажі. Також існує безліч технічної літератури та досліджень по ННЧК.

Недоліки підходу. Однією з конструктивних особливостей є необхідність розробки та налаштування корпусу пристрою відштовхуючись від проектною частоти резонансу пристрою. Зміна налаштувань резонансної частоти потягне за собою вагомі зміни до конструкції корпусу. Саме тому, динамічна зміна частоти генерації з максимальним КПД не можлива. Також, використання ННЧК є не ефективним у зв'язку з тим, що потужність, що затрачується на генерацію росте експоненціально із зростанням гучності.

#### 6. Метод парних ультразвукових випромінювачів (МПУЗВ)

Сутність підходу. Метод парних ультразвукових випромінювачів передбачає використання декількох (частіше, двох) випромінювачів ультразвуку для створення інфразвукових коливань у точці фокусу випромінювачів.

Опис підходу. У методі МПУЗВ використовується принцип нелінійного накладання ультразвукових пучків. За допомогою ультразвукових випромінювачів (найчастіше, п'єзоелементів) генеруються високочастотні сигнали високої направленості. У точці фокусу цих сигналів, за рахунок нелінійного зсуву частоти утворюється область інфразвукового впливу.

Переваги підходу. Метод МПУЗВ є одним з найбільш енергоефективних методів, адже тут використовується непряма генерація інфразвуку за рахунок накладання ультразвукових сигналів. Також, до переваг можна віднести те, що область інфразвукового впливу обмежена точкою фокусу ультразвукових сигналів, а отже інфразвуковий вплив не буде відчуватись на лініях випромінювачів та в безпосередній близькості до них. Це дозволяє відносно безпечно використовувати МПУЗВ у густонаселених районах та областях скупчення людей. Також, негативний вплив не буде розповсюджуватись на саму установку та обслуговуючий персонал чи оператора установки.

Недоліки підходу. Система МПУЗВ є компонентною, а отже виведення з ладу чи втрата фокусу на одному з компонентів приведе до зупинки

ефективного функціонування системи. Також, для досягнення гучності більше 100 дБ, необхідно використовувати високоенергетичні установки, яких немає у вільному продажі.

#### 7. Повітряний гвинт (ПГ)

Сутність підходу. Суть ПГ полягає у здатності лопастей вітроустановок резонувати з певною частотою.

Опис підходу. Виявлено, що під час роботи вітроустановок двох- та трьохлопастного горизонтально – осьового типу а також вертикально – осьовим роторам Дар'є і Савоннуса [11], крім шуму в чутному спектрі, на певних частотах обертання, виникає сильна вібрація інфразвукового діапазону. Гучність таких вібрацій часто досягає 90 – 110 дБ [12].

В [13] показано, що природа цього інфразвуку полягає у явищі «вихрового» звуку або «еолових тонів». Спектр такого звуку складається з слабкого фону (вихрового шуму) і одного гострого піку високої інтенсивності. Частота цього піку була об'єктом багатьох досліджень [14], в результаті яких, була підтверджена формула Струхалія:  $f = \frac{St v}{R_0}$ , де  $St$  – число Струхалія;  $R_0$  - довжина лопасті;  $v$  – швидкість потоку, що обтікає лопасть. За допомогою формули Струхалія визначається частота «еолових» тонів інфразвукового діапазону з генераторів типу ПГ.

Характеристики направленості інфразвукових гармонік акустичного поля генератора типу ПГ представлені на рис.6.

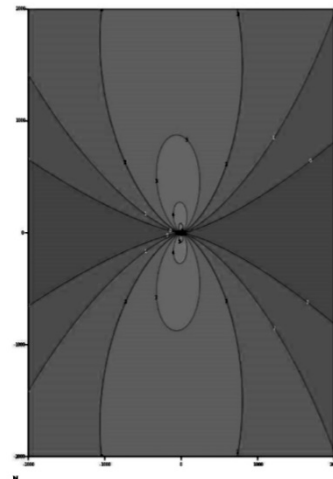


Рис. 6. Характеристики направленості інфразвукових гармонік акустичного поля генератора типу ПГ

Переваги підходу. До переваг генераторів типу ПГ можна віднести високу площу покриття

та, за рахунок розміру генераторів такого типу, можливість на пряму впливати на об'єкти, що знаходяться за не високими перешкодами.

**Недоліки підходу.** Основними недоліками ПГ є його розмір, вага та малий коефіцієнт корисної дії. Для генерації інфразвукових хвиль з використанням ПГ потрібно не тільки обертати гвинт з відповідною частотою, а і використовувати гвинт такого розміру, щоб він входив в резонанс на потрібній частоті. При використанні інфразвукового діапазону, розмір гвинта буде досить великий (через велику довжину хвилі). Також, вагомим недоліком генератора типу ПГ є широка направленість дії (рис. 6) і те, що випромінення відбувається не тільки прямо по направленості пристрою, а і назад і частково в боки.

Також в результаті аналізу джерел [2, 3, 7] для способів інфразвукового випромінювання, що базуються на розглянутих пристроях та методах побудовані діаграми спрямованості (рис. 7) та графік залежності гучності інфразвукового випромінення від затраченої потужності (рис. 8). Крім того проведені дослідження дозволили запропонувати ряд базових параметрів, за допомогою яких можливо оцінити конструктивно-експлуатаційні властивості способів інфразвукового випромінювання:

– Мінімальна частота - мінімальна частота, при якій коефіцієнт корисної дії пристрою не менше 30% від коефіцієнту корисної дії при резонансній частоті (Герц);

– Максимальна частота - максимальна частота, при якій коефіцієнт корисної дії пристрою не менше 30% від коефіцієнту корисної дії при резонансній частоті (Герц);

– Мінімальна гучність - нижній робочий поріг гучності (Децибел);

– Максимальна гучність - верхній максимальний поріг гучності на відстані 50 метрів від пристрою (Децибел);

– Максимальна потужність - максимальна потужність роботи, яку можна досягти за умови використання комплектуючих, що знаходяться у вільному продажу (Ват);

– Вагова віддача - орієнтовна вага пристрою, розрахованого на робочу гучність в 125 децибел (Кілограм);

– Габаритна віддача - орієнтовний об'єм пристрою (по габаритним розмірам), розрахованого на робочу гучність в 125 децибел (Метрів кубічних);

– Спрямованість - кут випромінювання інфразвукового сигналу (Градусів);

– Коефіцієнт корисної дії генерації - потужність, що затрачується на генерацію одного децибела при гучності в 125 Децибел (Ват на Децибел);

– Відсоток гармонік в сигналі - максимальне відхилення сигналу від еталонного (Відсотків);

– Коефіцієнт шуму - відношення гучності шуму до гучності базового сигналу (Відсотків).

Наявність комплектуючих у вільному продажу - можливість вільно придбати комплектуючі, чи виготовити без спеціалізованого обладнання.

Орієнтовні значення визначених параметрів для досліджених способів генерації, тримані в результаті проведених досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Орієнтовні значення визначених параметрів

	РГ	ГПС	ВР	РЦ	ННЧК	МПУЗВ	ПГ
Мінімальна частота	1	3	5	12	4	1	11
Максимальна частота	90	25	40	30	100	45	28
Мінімальна гучність	1	1	1	35	1	1	32
Максимальна гучність	150	100	80	150	160	100	120
Максимальна потужність	3500	1350	590	2900	5000	1200	4000
Вагова віддача	10	140	80	350	100	120	500
Габаритна віддача	0,4/0,4/0,6	1,6/1/1	0,9/0,4/0,4	18/0,4/0,4	1/1/1	1,2/1,2/0,7	7/2/2
Спрямованість	60	360	360	35	85	40	280
Коефіцієнт корисної дії генерації	6,4	13	10	8	13	11	20
Відсоток гармонік в сигналі	11	15	26	9	14	6	28
Коефіцієнт шуму	5	31	42	17	14	7	39
Наявність комплектуючих у вільному продажу	+	+	+	+	+	+	+

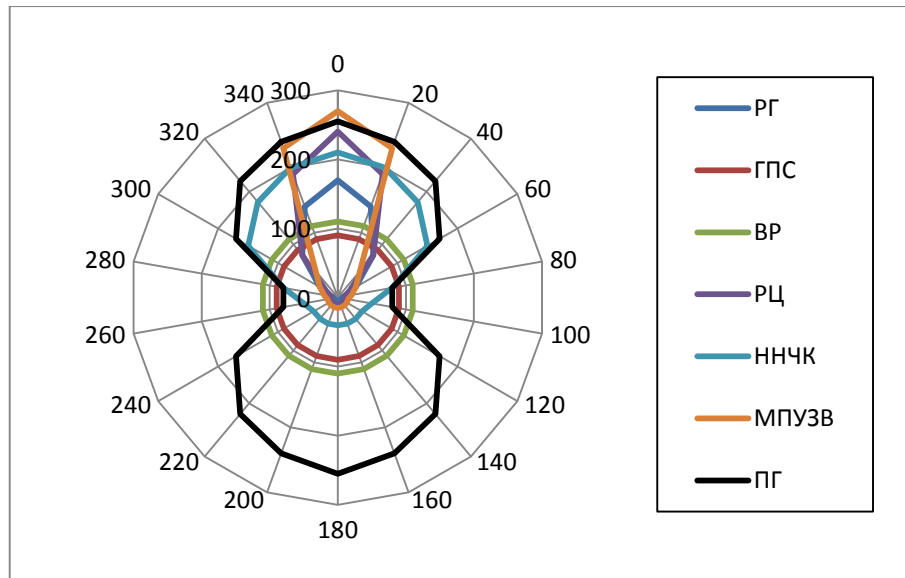


Рис. 7. Діаграма спрямованості інфразвукового випромінення

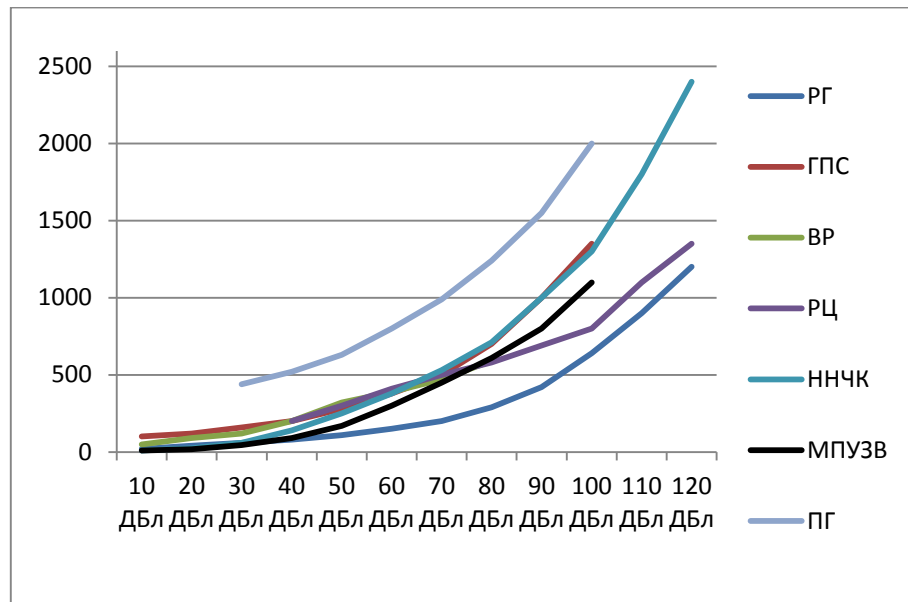


Рис. 8. Графік залежності гучності інфразвукового випромінення від затраченої потужності.

**Висновки.** Визначено, що значну загрозу для комп'ютерних систем критичної інфраструктури становить деструктивний вплив викликаний інфразвуковими хвилями. При цьому, більшість засобів генерації інфразвуку базуються на використанні наступних пристроїв: резонатор Гельмгольца, генерація за допомогою пульсуючої сфери типу Монополь, випромінювач типу ротор, резонуючий циліндр, наднизькочастотна колонка, метод парних ультразвукових випромінювачів, повітряний гвинт.

Проведено дослідження вказаних пристроїв. Виявлено їх характерні особливості, переваги та недоліки. Побудовані діаграма спрямованості ін-

фразвукового випромінення та графік залежності гучності інфразвукового випромінення від затраченої потужності.

Також, в результаті вказаних пристроїв, обґрунтовано множину базових параметрів, величини яких дозволяють оцінити їх конструктивно – експлуатаційні властивості.

Також, для кожного із способів генерації були розраховані орієнтовні значення цих параметрів, що дозволяє перейти до подальших досліджень з метою створення методу вибору способу генерації інфразвукового сигналу в залежності від очікуваних умов застосування та створення.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Бірюков Д.С. Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні / Д.С. Бірюков, С.І. Кондратов. — К. : НІСД, 2012. — 96 с.
- [2]. Hermann von Helmholtz. On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music / Alexander John Ellis. — Longmans, Green, 1885. — 576 с.
- [3]. Мясников Л.Л. Неслышимый звук, 2-е изд. - Л. : Судостроение, 1967. - 19 с.
- [4]. ОЛМА Медиа Групп. Персональный компьютер, 2007 - 414 с.
- [5]. Рикетс Л.У. Электромагнитный импульс и методы защиты. — 1979.
- [6]. Глива В.А. Левченко Л.О. Перельот Т.М. Просторові критерії екранування низькочастотних магнітних полів, Управління розвитком складних систем, номер 22, 2015
- [7]. Меньшаков Ю.К. Захист об'єктів і інформації від технічних засобів розвідки: Учеб. посібник. М.: Російський держ. гуманіт. ун-т, 2002.
- [8]. Keating C., Rogers R., Unal R., Dryer D., Sousa-Poza A., Safford R., Peterson W., Rabadi G., 2003. System of Systems Engineerings Engineering Management Journal, Vol. 15, No. 3.
- [9]. Jackson M. C, 1991. Systems Methodology for the Management Sciences, New York: Plenum.
- [10]. ДСН 3.3 6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.— К.: МОЗ України, 1999. — 79 с.
- [11]. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ветроэлектрической установки ВЭУ-500 № 90.9990.0000.0000.01.0.ТО.— Днепропетровск: ГKB "Южное", 1997.— 65 с.
- [12]. Сокол Г. И. Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот.— Днепропетровск: Промінь, 2000.— 136 с.
- [13]. Сокол Г. И., Завьялова М. П. Природа вихревого звука в ветроэнергетике // Зб. тез 7-ої міжнарод. молод. наук.-практ. конф. "Людина і космос".— Дніпропетровськ.— НЦАОМУ.— С. 2005.
- [14]. Блохинцев Д. И. Вихревой звук // ЖТФ.— 1945.— 15.— С. 1–2.
- [15]. Скучик Е. Основы акустики: в 2-х томах. — М.: Мир, — 1976.
- [16]. Стретт Дж. (лорд Рэлей) Теория звука: в 2-х томах.— М.: ГИИТЛ, — 1955.
- [17]. Webster A. G. Acoustical Impedance, and the Theory of Horns and of the Phonograph // Proc. Nat. Acad. Sci.— 1919.— 5.— P. 275–282.
- [18]. Крендалл И. Б. Акустика.— Л.: ВЭТА, 1934.— 171 с.
- [19]. Наугольных К. А., Островский Л. А. Нелинейные волновые процессы в акустике.— М.: Наука, 1990.— 238 с.
- [20]. Atchley A. A. Not your ordinary experience: A non-linear-acoustics primer // Acoustics Today.— 2005.— № 10.— P. 19–24.
- [21]. Фурдуев В. В. Электроакустика.— М.: ГИИТ, 1948.— 256 с.

## REFERENCES

- [1]. Biryukov D.S. Critical Infrastructure Protection: Challenges and prospects for implementation in Ukraine / D.S. Biryukov, S.I. Kondrashov, - K., NISS, 2012, - 96 p.
- [2]. Hermann von Helmholtz. On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music / Alexander John Ellis, - Longmans, Green, 1885, - 576 p.
- [3]. Myasnikov L.L. Inaudible sound, 2nd ed, - L., Shipbuilding, 1967, - 19 p.
- [4]. Olma Media Group. Personal Computer, 2007, - 414 p.
- [5]. Rickets L.U. Electromagnetic Impulse and protection methods, - 1979.
- [6]. Glyva V.A. Levchenko L.O. Perelyot T.N. Spatial criteria shielding low frequency magnetic fields, management of complex systems, number 22, 2015
- [7]. Menshakov J.K. Protection of objects and information from reconnaissance equipment: Textbook. manual. M.: Russian state. humanit. University Press, 2002.
- [8]. Keating C., Rogers R., Unal R., Dryer D., Sousa-Poza A., Safford R., Peterson W., Rabadi G., 2003. System of Systems Engineerings Engineering Management Journal, Vol. 15, No. 3.
- [9]. Jackson M. C, 1991. Systems Methodology for the Management Sciences, New York: Plenum.
- [10]. SDS 3.3 6.037-99 Sanitary norms of industrial noise, ultrasound and infrazvuk. - K.: Health of Ukraine, 1999, - 79 p.
- [11]. Technical description and instruction for operation wind power installation VEU-500 number 90.9990.0000.0000.01.0.ТО, - Dnepropetrovsk: GKB "South", 1997, - 65 p.
- [12]. Sokol G.I. Features of acoustic processes in the infrasound frequency range, - Dnepropetrovsk: beam, 2000,- 136 p.
- [13]. Sokol G.I., Zavyalov M.P. The nature of a vortex of sound in wind energy // Coll. abstract 7th international youth. scientific - practical conf. "Man and space" .- Dnipropetrovsk, - NTSAOMU,- S., 2005.
- [14]. Blokhintsev D.I. Vortex sound // ZHTEF.- 1945, - 15, - P. 1-2.
- [15]. E. Skuchykh Fundamentals of acoustics: in 2 tomah.- M.: Mir, 1976.
- [16]. J. Strett. (Lord Rayleigh) Theory of the Sound: in 2 volumes, - N.: HYTTL, 1955.
- [17]. Webster A.G. Acoustical Impedance, and the Theory of Horns and of the Phonograph // Proc. Nat. Acad. Sci.- 1919,- 5,- P. 275-282.
- [18]. J.B. Krendall Acoustic, - L.: VETA, 1934, - 171 p.



- [19]. Naugolnyh K.A., Ostrovskiy L.A. Nonlinear wave processes in acoustics, - M.: Nauka, 1990, - 238 p
- [20]. Atchley A. A. Not your ordinary experience: A nonlinear-acoustics primer // Acoustics Today.- 2005, - № 10, - P. 19-24.
- [21]. Furduiev V.V. Electroacoustics, - N.: НТТУ, 1948, - 256 p.

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Проанализированы методы и средства инфразвукового воздействия на компьютерные аппаратные средства критической инфраструктуры. Показано, что значительную угрозу для компьютерных систем критической инфраструктуры составляет деструктивное влияние вызван инфразвуковыми волнами. При этом, большинство способов генерации инфразвука базируются на использовании следующих устройств: резонатор Гельмгольца, генерация с помощью пульсирующей сферы типа монополий, излучатель типа ротор, резонирующий цилиндр, сверхнизкочастотная колонка метод парных ультразвуковых излучателей, воздушный винт. Проведено исследование указанных устройств. Выявлены их характерные особенности, преимущества и недостатки. Построенные диаграмма направленности инфразвукового излучения и график зависимости громкости инфразвукового излучения от затраченной мощности. Также, в результате указанных устройств, обоснованно множество базовых параметров, величины которых позволяют оценить их конструктивно - эксплуатационные свойства. Также, для каждого из способов генерации были рассчитаны ориентировочные значения этих параметров, позволяет перейти к дальнейшим исследованиям с целью создания системы классификации средств создания устройств вибрационного воздействия и метода выбора способа генерации инфразвукового сигнала в зависимости от ожидаемых условий применения и создания.

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

### ANALYSIS OF MODERN MEANS OF CREATING A DEVICE VIBRATION IMPACT ON CRITICAL INFRASTRUCTURE INFORMATION SYSTEM

The methods and means of infrasound impact on critical computer hardware infrastructure. It has been shown that a significant threat to critical infrastructure computer systems is caused by the destructive effect of infrasound waves. At the same time, most of the methods of

generation of infrasound are based on using the following devices: a Helmholtz resonator, generation by using a pulsating sphere such as monopoles, radiator-type rotor resonating cylinder, the sub column method of paired ultrasonic transducers, propeller. The study of these devices. Revealed their characteristic features, advantages and disadvantages. Charting infrasound radiation pattern and a graph of the volume of infrasound radiation from spent power. Also, as a result of the above devices, reasonable set of basic parameters, the values of which make it possible to assess their structural - operational properties. Also, for each of the methods of generation have been calculated approximate values of these parameters, you can go to further research in order to create a system of classification tools for creating vibration exposure devices and the method of choice method of generating infrasound signal, depending on the expected conditions of use and creation.

**Keywords:** information security, the protection of computer hardware, infrasound infrasound defeat.

**Корченко Александр Григорович**, доктор технических наук, профессор, завдувач кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

E-mail: icaocentre@nau.edu.ua

**Корченко Александр Григорьевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности информационных технологий Национального авиационного университета.

**Korchenko Alexander**, Professor, Doctor of Science in Eng., Head of IT-Security Academic Department, National Aviation University.

**Терейковський Ігор Анатолійович**, доктор технических наук, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

E-mail: terejkowski@ukr.net

**Терейковський Игорь Анатольевич**, доктор технических наук, доцент кафедры безопасности информационных технологий Национального авиационного университета.

**Tereykovsky Igor**, Doctor of Science in Eng., Associate Professor of Academic Department of IT-Security, National Aviation University.

**Косюк Євген Сергійович**, аспірант кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

E-mail: yevgeniy.kosyuk@gmail.com

**Косюк Евгений Сергеевич**, аспирант кафедры безопасности информационных технологий Национального авиационного университета.

**Kosyuk Evgeniy**, postgraduate student of IT-Security Academic Department, National Aviation University