

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА  
МОГИЛИ

**ТРЕБУКОВ АРТЕМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 004.8

**ЦИФРОВИЙ ФІЛЬТР ЗВУКОВИХ ЧАСТОТ ДЛЯ МУЗИЧНОГО  
СЕКВЕНСОРА**

Галузь знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю

122 «Комп'ютерні науки»

122 - БКР.А - 401.21710128

Автореферат

бакалаврської кваліфікаційної роботи на здобуття освітньої кваліфікації

«бакалавр з комп'ютерних наук»

Миколаїв – 2021

Бакалаврська кваліфікаційна робота є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем

Науковий керівник:  
кафедри ІС

к.т.н., доцент, доцент

Г.В. Кондратенко

Рецензент:  
кафедри ІІЗ

к.т.н., доцент, доцент

К.О. Кірей

Захист відбудеться «\_25\_» червня 2021 р. о 9<sup>00</sup> год. на засіданні екзаменаційної комісії (ауд. 2-403) у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

З бакалаврською кваліфікаційною роботою можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

Автореферат представлений «\_\_\_» червня 2021 р.

Секретар  
екзаменаційної комісії,  
викладач кафедри ІС  
Таранов

М.О.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Мета проекту

Створити VST-плагін фільтру звукових частот для музичного секвенсора.

### Актуальність теми

Навіть якщо Ви не маєте прямого відношення до створення музики ця тема все одно є актуальною для Вас тому, що вона безпосередньо торкається теми здоров'я вашого слуху. Навіть якщо ви не меломан і не слухаєте велику кількість музики, все одно споживаєте певну кількість аудіо-контенту. Будь то фільми, відео-ігри тощо. Тому сама концепція створення фільтру низьких частот (low-pass filter) є актуальною. Нижче, в проблематиці теми будуть зачеплені причини, чому використання такого типу фільтрів та взагалі еквалізації важливо не тільки з практичної сторони, а й з точки зору здоров'я. Правильна експлуатація аудіо-контенту, а точніше, знання та вміння коректно його налаштувати не тільки допоможе зберегти слух, а й отримати якісний 'experience' при прослуховуванні музики, перегляду фільмів, у відео-ігор тощо.

Також важливо зазначити, що актуальність теми полягає в покращенні якості вже існуючого софту, розумінні концепції створення аудіо-додатків, особливості звучання. А також поєднання таких сфер, як програмування, фізики, аудіо-дизайну, звуко-режисури та музики. Найбільш актуальним це питання є для музикантів, аудіо-дизайнерів, продюсерів та звуко-режисерів, але й не менш важливим, для рядових користувачів. Чому, було зазначено вище.

**Практичне значення отриманих результатів.** Під час виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено цифровий фільтр звукових частот для музичного секвенсора з використанням технології VST (Virtual Studio Technology).

**Структура кваліфікаційної роботи.** Пояснювальна записка до бакалаврської кваліфікаційної складається із вступу, 4 розділів, висновків,

додатків. Загальний обсяг роботи складає 99 сторінок, 37 рисунків, 1 таблицю та 24 посилань на літературні джерела.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

З усього обсягу людина отримує 13% інформації за допомогою слуху, в тому числі музику, й різні види шумів

Що таке взагалі музика, якщо розглядати це явище с наукової точки зору? Взагалі музичним може бути практично будь-який звук з певними акустичними характеристиками. Джерелами такого звуку можуть бути: людський голос, музичні інструменти, електричні генератори, тощо. Теоретично, навіть звук мотора може бути музикою. Для того, щоб зрозуміти як це працює, потрібно дізнатися, що таке звук. Так як музика складається із звуків. Звук, в свою чергу, складається з певної кількості частот та певного діапазону цих частот. У випадку людини, актуальної діапазон частот 20 - 20 000 Гц. За межами цього діапазону частот людина не в змозі почути що-небудь поза межами цих частот.

Дипломна робота буде складатися з трьох основних частин: «Постановка задачі та теоретична частина», «Основні поняття та концепція створення додатку», «Практична частина та процес створення додатку».

Було зачеплені такі сфери, як фізика, музика, програмування та аудіо-дизайн.

### **Перший розділ.**

В першому розділі було розглянуто теоретичні деталі, такі як що звук, частота, гучність, висота звуку, діапазон частот тощо. Розуміння цих термінів та принципи за якими вони працюють, допоможуть зрозуміти як були створені різні аудіо-додатки, за якими законами вони працюють. Було розглянуто то, як потрібен приблизно виглядати фільтр низьких частот, якими функціями та параметрами повинен володіти.

За звичаєм фільтри низьких частот мають три регулятори:

- **gain** – регулятор гучності;
- **cut off** – регулятор точки зрізу;
- **resonance** – регулятор резонансу;



Рис. 1. Приклад простого VST-додатку фільтру низьких частот

1) **Gain** – в електроніці коефіцієнт посилення – це міра здатності двухпортової схеми (часто підсилювача) збільшувати потужність або амплітуду сигналу від входу до порту за допомогою додавання до сигналу енергії, отриманої з джерела живлення. Зазвичай він визначається як середнє відношення амплітуди або потужності сигналу на вихідному порту до амплітуді або потужності на вхідному порті. Це часто виражається в логарифмічних децибелах (дБ) (посилення в дБ). Коефіцієнт посилення більше одиниці (більше нуля дБ), тобто посилення, є визначальним властивістю активного компонента або схеми, в той час як пасивна схема буде мати коефіцієнт посилення менше одиниці.

2) **Cut off** – це межа частотної характеристики системи, при якій енергія, що протікає через систему, починає зменшуватися (послаблюватися або відображатися), а не проходити через неї.

Зазвичай в електронних системах, таких як фільтри і канали зв'язку, частота зрізу застосовується до краю в характеристиках low-pass,

high-pass, band-pass або band-stop – частота, яка характеризує межу між смугою пропускання і смугою затримування. Іноді вважається, що це точка у відгуку фільтра, де зустрічаються перехідна смуга і смуга пропускання, наприклад, як визначено точкою половинній потужності (частота, для якої вихідний сигнал схеми складає -3 дБ від номінального значення смуги пропускання). В якості альтернативи, кутова частота смуги затримування може бути вказана як точка, де зустрічаються перехідна смуга і смуга затримування: частота, для якої загасання більше, ніж вимагається загасання в смузі затримування, яке, наприклад, може становити 30 дБ або 100 дБ.

3) **Resonance** – резонанс описує явище підвищеної амплітуди, яке виникає, коли частота періодично прикладається до сили (або її складової Фур'є), яка дорівнює або близька до власної частоти, на яку вона діє. Коли осцилююча сила застосовується на резонансній частоті динамічної системи, система буде коливатися з більшою амплітудою, ніж при застосуванні тієї ж сили на інших, нерезонансних частотах.

Постановка задачі:

1) Розібрати основні поняття роботи зі звуком, матеріальну частину. Розглянути усі можливі інструменти для створення додатку.

2) Визначити платформу для розробки програми та програмне забезпечення, за допомогою якого буде проводитись демонстрація програмного додатку.

3) Детально розібрати принцип роботи еквайзера, його практичне застосування. На основі роботи еквайзера буде створено фільтр звукових частот.

4) Розглянути основні деталі праці з еквайзером, процесу мастерінгу, еквалізації та налаштування звуку.

5) Детально розібрати усі основні типи фільтрів звукових частоту, визначити їх різницю.

6) Навчитись працювати з VST (virtual studio technology) технологією. Зрозуміти концепцію створення аудіо-додатків. Детально розібрати та встановити необхідні аудіо-бібліотеки, які будуть використовуватись при процесі створення програми.

7) Створити макет додатку та на основі його розробляти програму.

8) Розробка математичної моделі. Тестування та закріплення результатів роботи програми.

### **Другий розділ.**

VST-плагіни взагалі не існують як самостійні програми. Вони використовуються як допоміжні інструменти в музичному секвенсорі або DAW (digital audio workstation). Незалежно від конфігурації, сучасні DAW мають центральний інтерфейс, що дозволяє користувачеві змінювати та змішувати декілька записів і треків у кінцеву вироблену частину. DAW використовуються для створення та запису музики, пісень, мови, радіо, телебачення, саундтреків, подкастів, звукових ефектів та майже будь-якої іншої ситуації, коли необхідний складний записаний звук. Для демонстрації та використання створеного додатку був використаний Ableton Live, який підтримує технологію VST. Основна функція аудіо-плагіна – обробка звуку на доріжці. Тобто VST-плагіни працюють за принцип зовнішнього додатку, який додає додатковий функціонал до DAW. Плагіни бувають різними, і в якості віртуальних інструментів, і в якості модуляторів звуку, і в якості MIDI-додатків для MIDI-контролерів. Створений в цій дипломній аудіо-плагін відноситься до аудіо-ефектів, так як він змінює сам характер звуку.

Був створений фільтр звукових частот, основна функція якого – зрізати високі частоти та пропускати низькі (фільтр низьких частот).



Фільтр низьких частот існує як і самостійний звуковий ефект та й як один з складових еквалайзера.

Якщо коротко, то еквалайзер – це пристрій який поєднує в собі декілька фільтрів, призначених для корекції спектральних властивостей (тембру) акустичного сигналу. Тобто еквалізація, як поняття використання еквалайзера для обробки звуку, працює з певним діапазоном частот в залежності від інструменту/поставленої задачі/умов в яких був запис звуку. Основна задача фільтрів звукових частот та еквалізації взагалі – покращення якості звуку, позбавлення певних шумів у сигналі, змінення тембру звучання.

Зробимо висновок з вище перерахованого: еквалізація – процес обробки звукового сигналу, який дає можливість використовувати усі типи фільтрації звуку в залежності від поставлених задач. Це невід’ємна частина звукової обробки в професійній сфері у музиці.

### **Третій розділ**

Аудіо-плагін був створений за допомогою фреймворку JUCE та його аудіо-бібліотек. Juce – відкритий (тобто для всіх бажаючих, хто хоче почати створювати VST додатки) багатоплатформовий інструментарій програмування, фреймворк, для розробки GUI додатків і плагінів на C++. Може бути скомпільований практично на всіх сучасних ПЗ: Windows,

Mac OS, Linux, Android, IOS тощо. Підтримує різні середовища розробки такі як GCC, Xcode і Visual Studio. Подібно до багатьох інших фреймворків, Juce містить класи, які дозволяють програмі працювати з графікою і звуком, розбирати XML, працювати з мережею і криптографією тощо. За рахунок цього, програмістам, яким потрібно додаткові бібліотеки, можуть використовувати тільки бібліотеку Juce, або хоча б скоротити кількість сторонніх бібліотек, які вони використовують,

щоб облегшити працю та зробити розробку більш комфортною. В поставку Juce входять класи-обгортки для створення як аудіо-плагінів, так і браузерних плагінів. При складанні аудіо-плагіна, виходить єдиний бінарний файл, який підтримує кілька форматів плагінів (VST, RTAS, AU). Оскільки весь платформи-залежний і формату-залежний код міститься в класах-обгортках, то користувач може збирати плагіни в форматі VST / RTAS / AU для Mac OS і Windows з одного і того ж вихідного коду. Плагіни для браузерів підтримуються аналогічним чином: один і той же бінарний файл, функціонує і як NPAPI, і як ActiveX плагін.

Невід'ємна частина фреймворка Juce - додаток Juceg (так само написаний на Juce), що використовується для візуального проектування і редагування графічних інтерфейсів. Juceg потім може згенерувати C++ код, який реалізує обрану структуру графічного інтерфейсу.

Створений додаток повинен мати наступний функціонал:

- наявність трьох ручок: resonance, frequency, valley size, задача яких налаштовувати звук;
- можливість використовувати плагін як фільтр високих, середніх та низьких частот;
- можливість бути одночасно і фільтром високих та низьких частот;

Додаток буде мати три змінні «resonance», «frequency», «valley size».

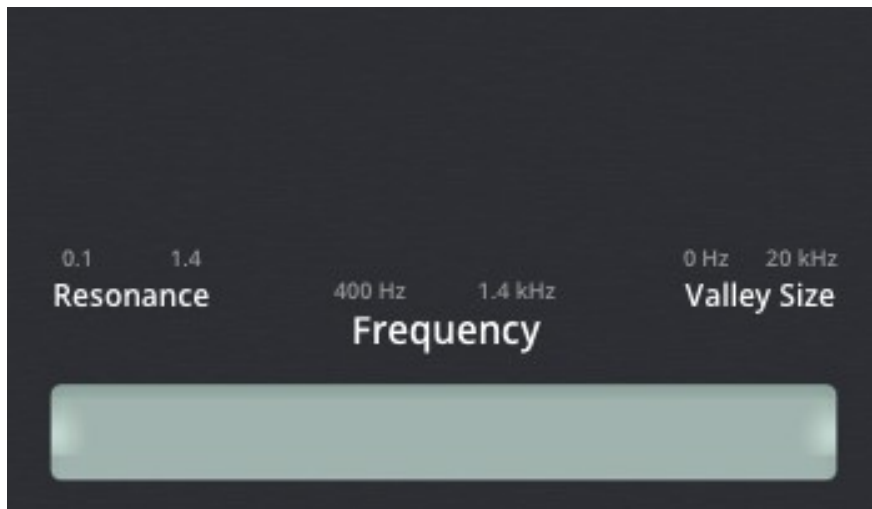


Рис. 2. Макет додатку

Наступна частина коду відповідає за налаштування основних параметрів фільтру, таких як 'resonance', 'frequency' і 'valley size':

```

NotNotchFilterAudioProcessor::NotNotchFilterAudioProcessor() :
TeragonPluginBase(), ParameterObserver() {
    frequency = new FrequencyParameter("Frequency",
                                        kFrequencyMin,
                                        kFrequencyMax,
                                        kFrequencyDefault);

    parameters.add(frequency);

    resonance = new FloatParameter("Resonance",
                                    kResonanceMin,
                                    kResonanceMax,
                                    kResonanceDefault);

    parameters.add(resonance);

    valleySize = new ValleyParameter("Valley Size");
    parameters.add(valleySize);

    for(int i = 0; i < parameters.size(); ++i) {
        parameters[i]->addObserver(this);
    }
}

void
NotNotchFilterAudioProcessor::recalculateCoefficients(const
double sampleRate) {

```

```

const float baseFrequency = (float)frequency->getValue();
const float filterResonance = (float)resonance-
>getValue();
maxFilterFrequency = (float)(sampleRate / 2.0f) - 10.0f;
loFrequency = (float)(baseFrequency + valleySize-
>getValue());
if(loFrequency > maxFilterFrequency) {
    loFrequency = maxFilterFrequency;
}
const float hiCoeffConstant = (float)tan(M_PI *
loFrequency / sampleRate);
hiCoeffA1 = 1.0f / ((1.0f + filterResonance *
hiCoeffConstant) + (hiCoeffConstant * hiCoeffConstant));
hiCoeffA2 = -2.0f * hiCoeffA1;
hiCoeffB1 = 2.0f * hiCoeffA1 * ((hiCoeffConstant *
hiCoeffConstant) - 1.0f);
hiCoeffB2 = hiCoeffA1 * (1.0f - (filterResonance *
hiCoeffConstant) + (hiCoeffConstant * hiCoeffConstant));

```

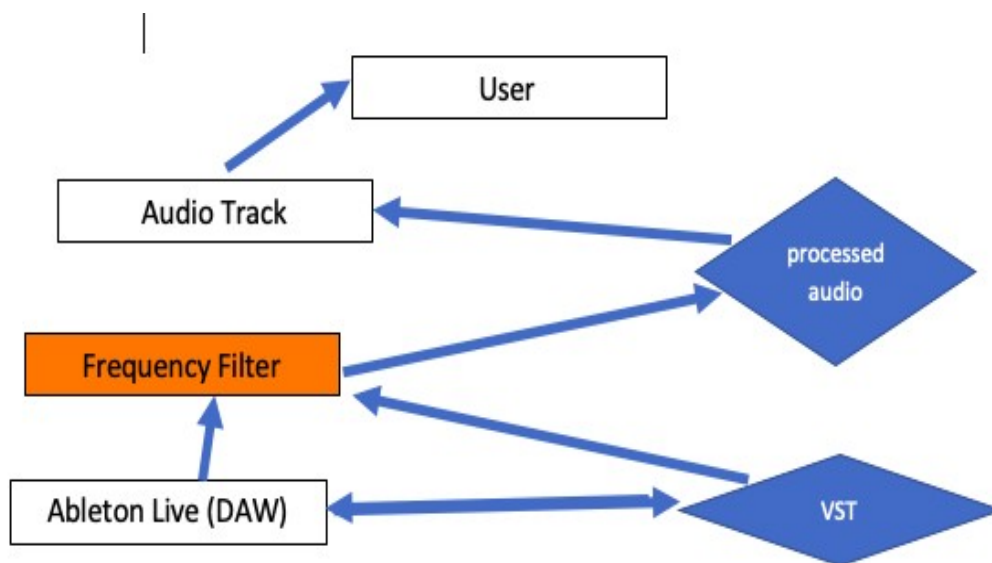


Рис. 3. Взаємозв'язок між користувачем та софтом

Як принцип буде використаний наступний псевдо-код

```

function lowpass(real[0..n] x, real dt, real RC)
    var real[0..n] y

```

```
var real  $\alpha$  := dt / (RC + dt)
y[0] :=  $\alpha$  * x[0]
for i from 1 to n
    y[i] :=  $\alpha$  * x[i] + (1- $\alpha$ ) * y[i-1]
return y
for i from 1 to n
    y[i] := y[i-1] +  $\alpha$  * (x[i] - y[i-1])
```

В якості інструментів «вводу» були створені ручки для вводу змінних, рисунок нижче:



Рис. 4. Інтерфейс створеного додатку

Для більш точного налаштування фільтру є спеціально відведений екран для інформації про додаток та монітор для точного налаштування ручок, як відведено на рисунку нижче:

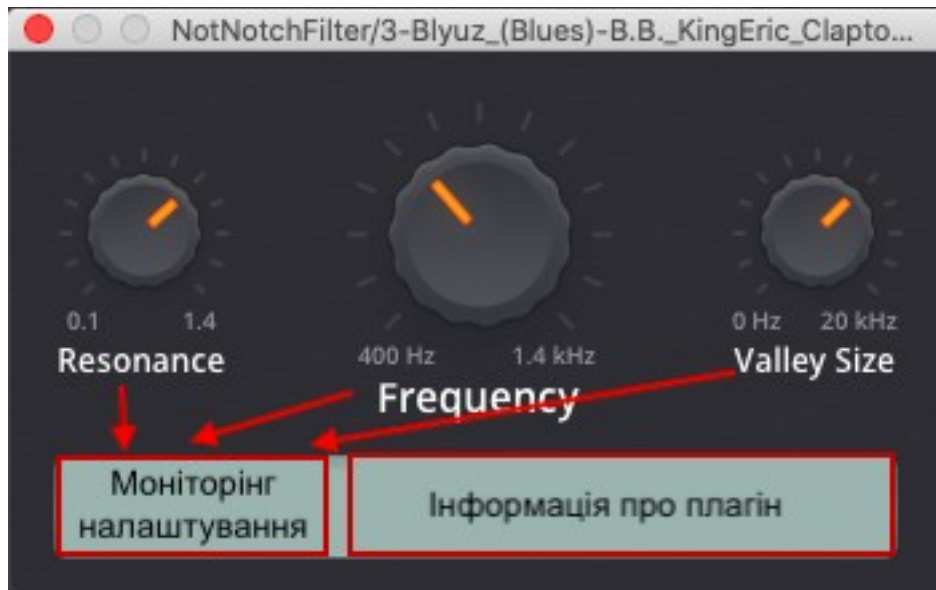


Рис. 5. Моніторинг налаштування

За допомогою коду приведеного нижче налаштовується розмір ручок та розмір монітору для інформації. Функція 'PluginEditor' дозволяє маніпулювати інтерфейсом додатку

```
void PluginEditor::resized()
{
    frequencyKnob->setBounds (119, 11, 113, 113);
    resonanceKnob->setBounds (17, 33, 66, 66);
    valleySizeKnob->setBounds (269, 33, 66, 66);
    statusBar->setBounds (24, 155, 150, 30);
    versionLabel->setBounds (136, 169, 188, 16);
}
```

Для закріплення результату було встановлено два еквайзера, один до фільтру звукових частот, другий – після. Зроблено це для того, щоб порівнювати результат.

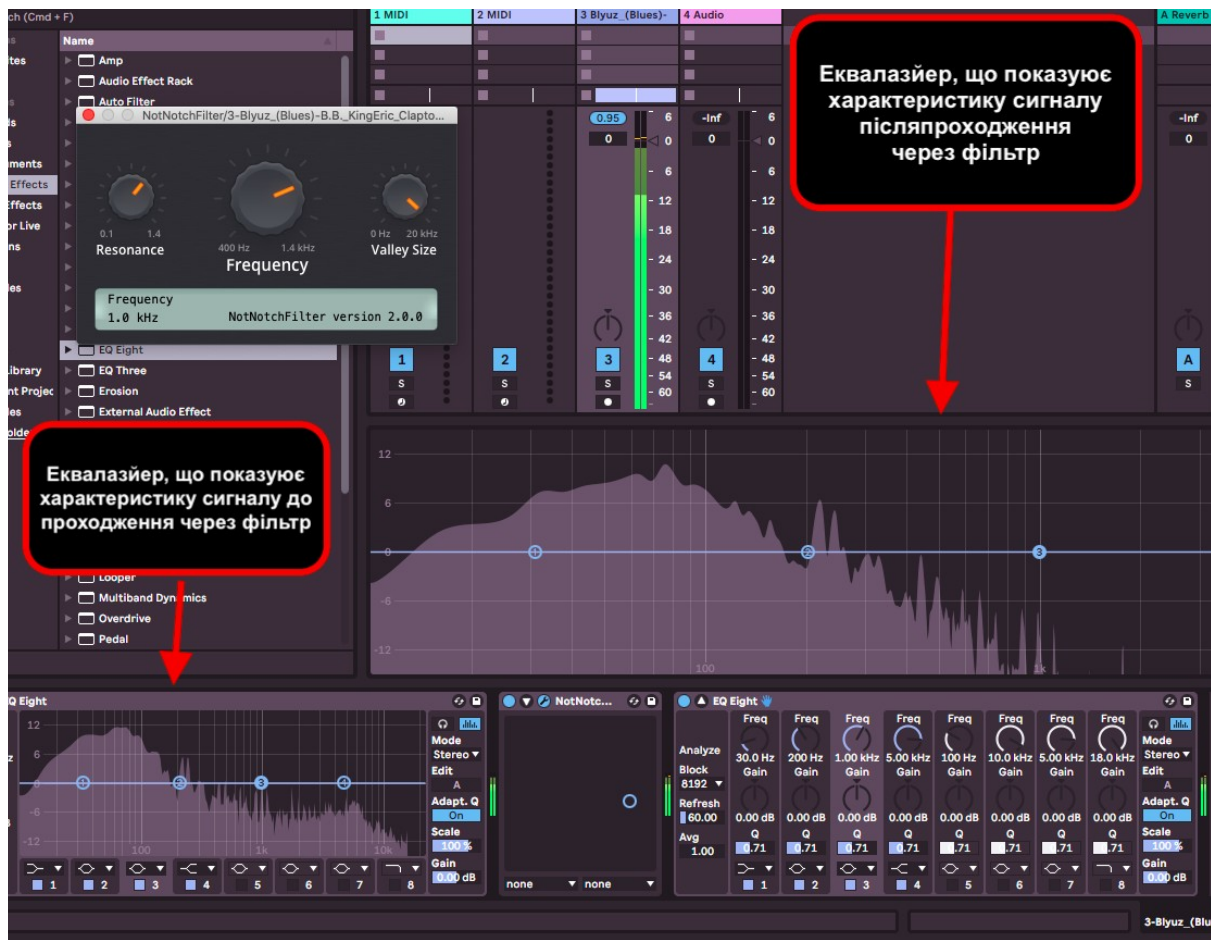


Рис. 6. Інтерфейс робочої аудіо-станції та створеного додатку

## Розділ с охорони праці

Описані основні питання охорони праці. Проведено аналіз і оцінка умов та безпеки праці. Це обов'язкова складова роботи керівництва у будь-якому підприємстві, виробництві, галузі чи напрямку. Для ефективного вирішення питань, пов'язаних з обліком, аналізом та оцінкою стану умов та безпеки праці в обов'язковому порядку проводиться паспортизація виробництв та атестація робочих місць.

Завдання охорони праці полягає в тому, щоб звести до мінімуму імовірність поразки працюючого під дією небезпечного виробничого фактора або захворювання під дією шкідливого виробничого фактора з одночасним забезпеченням комфортних умов при максимальній продуктивності праці.

Описано основні правила техніки безпеки під час праці з аудіо-приборами. Досліджено також поняття гігієни праці. Гігієна праці - це галузь практичної й наукової діяльності, що вивчає стан здоров'я працівника під впливом умов праці й на цій основі підбирає правильне рішення щодо здоров'я працівника, встановлювати заходи на покращення та зміцнення стану людини.

В результаті роботи було досягнуто забезпечення майбутньої безпеки завдяки застереженням та перевіркам. Тобто основна мета роботи була досягнута.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Як результат було створено VST-додаток в якості фільтру звукових частот. Було вивчено принципи роботи еквайзера, обробки звуку та процес мастерінгу. Усі ці знання надали можливість знайти найбільш оптимальний варіант вирішення проблеми створення програми. Основною задачею було створити цифрову заміну аналоговому фільтру звукових частот. Це є дуже актуальним рішенням для багатьох музикантів, продюсерів, аудіо-дизайнерів, так як аналогове обладнання має дуже високу вартість. Так як аналогові інструменти обробки звуку мають найвищу якість, основною задачею було створення максимально наближеного цифрового варіанту як в плані якості, так і функціоналу. Задля досягнення цього результату було використано відкритий фреймворк JUCE з великою кількістю сучасних бібліотек, за рахунок чого був досягнутий якісний звук.

Вище, в «перспективах використання програми», вже було зазначено, що при продовженні розробки додатку, його можна зробити самостійним проектом. Тобто вже в якості самостійної програми, а не додатку.

Також важливо зазначити, що цей плагін буде цікавим не тільки аудиторії, яка цікавиться музикою, але й рядовому користувачеві. Так як за рахунок того, що фільтр має функцію зрізати ультразвукові частоти, які мають дуже негативний вплив на слух людини, особливо на високому рівні гучності, ця програма в перспективі має значно більшу актуальність ніж може здатися на перший погляд.

Взагалі створення подібного софту є дуже актуальною темою не тільки тому що це стосується не тільки таких сфер як фізика, аудіо-дизайн, звуко-продакшн та програмування, а й ще піднімає питання про речі, яких можна позбутися завдяки цифровій емуляції, що може задати розвиток не тільки в музичній сфері.

## АНОТАЦІЯ

**Требуков Артем Олександрович.** Цифровий фільтр звукових частот для музичного секвенсора.

Бакалаврська кваліфікаційна робота на здобуття освітньої кваліфікації «бакалавр з комп'ютерних наук» в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв.

Об'єкт роботи – фільтр звукових частот.

Предмет роботи – цифровий аудіо-додаток для музичного секвенсора.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи створення VST-плагіну фільтра звукових частот для музичного секвенсора. Одним із завдань було дослідження принципу роботи звукових фільтрів та еквалізації.

Робота складається з фахового розділу і спеціальної частини з охорони праці. Пояснювальна записка складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків.

У першому розділі розглядається теоретична частина.

У другому розділі досліджено основні принципи роботи звукових фільтрів та еквалізації.

У третьому розділі описано створення та результат роботи VST-додатку, використовуючи фреймворк JUCE на основі мови програмування C++, аудіо-бібліотек JUCE. Була проведена демонстрація праці плагіна та закріплення результатів.

У четвертому розділі було розібрано поняття охорони праці.

В результаті розроблено цифровий фільтр звукових частот на основі VST технології для DAW.

## ABSTRACT

Trebukov Artem Alexandrovich. Digital audio filter for music sequencer.

Bachelor's qualification work on obtaining the educational qualification "Bachelor of Computer Science" in the field of knowledge 12 "Information Technology" in the specialty 122 "Computer Science".

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv.

The object of work is an audio frequency filter.

The subject of the work is a digital audio application for a music sequencer.

The purpose of the bachelor's thesis is to create a VST-plugin audio frequency filter for a music sequencer. One use was to study the principles of sound films and equalization.

The work is created from the professional section and a special part of labor protection. The explanatory note is created from the introduction, four sections, conclusion and appendices.

The first section discusses the theoretical part.

The second section explores the basic principles of sound filters and equalization.

The third section describes the creation and operation of the VST-application, using the JUCE framework based on C++ language programming, JUCE audio libraries. There was a demonstration of the plug-in and consolidation of the results.

In the fourth section the concept of labor protection was analyzed. As a result, a digital audio frequency filter based on VST technology for DAW was developed.