

**Міністерство культури та стратегічних комунікацій
Львівська національна музична академія імені М.В. Лисенка**

**Факультет оркестрових інструментів
Кафедра струнно-смічкових інструментів**

КАЛЄСВ Денис Андрійович

**ЕВОЛЮЦІЯ ДИЗАЙНУ АЛЬТА: ВПЛИВ РОЗМІРУ ТА ФОРМИ НА
ЯКІСТЬ ЗВУЧАННЯ ІНСТРУМЕНТА**

**Спеціальність 025 – Музичне мистецтво
Профілізація – Альт**

Бакалаврська робота

Науковий керівник:
старший викладач, доктор мистецтва (D.A.)
ГАВРИЛЮК СЕРГІЙ АНДРІЙОВИЧ

Рецензент:
доцент кафедри струнно-смічкових
інструментів, кандидат мистецтвознавства
ОЛІЙНИК ОЛЬГА ГРИГОРІВНА

Львів – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ДИЗАЙНУ АЛЬТА	5
1.1. Технічні аспекти дизайну альта	10
1.2. Пропорції корпусу, глибина обичайок та їх оптимізація.	11
1.3. Сучасні підходи до вибору розміру та форми альта.....	13
1.4. Вплив розміру та форми на якість звучання	16
1.5. Акустика корпусу альта	17
1.6. Геометрія корпусу та звукове випромінювання	17
1.7. Приклади модифікацій інструмента.....	18
РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ І СУЧАСНИХ МОДЕЛЕЙ АЛЬТА	20
2.1. Традиційні моделі альта	20
2.2. Сучасні моделі альта	21
2.3. Порівняння конструкції і звуку	21
2.4. Точки дотику між майстрами і виконавцями.....	23
2.5. Перспективи досліджень акустики альта	24
2.6. Перспективні напрями досліджень.....	25
ВИСНОВКИ	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

ВСТУП

Актуальність дослідження. Альт – струнно-смичковий інструмент, який протягом тривалого відтинку історичного часу перебував у тіні скрипки, але сьогодні дедалі більше привертає увагу не лише композиторів і виконавців, а й дослідників. Одним із важливих, хоч і малодосліджених, питань є вплив конструкційних особливостей альта – насамперед його розмірів – на акустичні характеристики інструмента. Протягом століть майстри з виготовлення інструментів експериментували з пропорціями корпусу, формою деки та глибиною обичайок, намагаючись досягти балансу між зручністю виконання й тембровим багатством. У наш час, коли новітні технології (включно з 3D-друком) дозволяють виготовляти інструменти найрізноманітніших форм, проблема пошуку оптимального розміру альта залишається актуальною. Виникає питання: який розмір цього інструмента можна вважати найбільш близьким до ідеального?

Метою дослідження є з'ясування закономірностей того, як геометричні параметри корпусу альта впливають на його звучання, а також простеження історичних спроб встановити «золотий стандарт» розміру цього інструмента.

Об'єктом дослідження виступає конструкція альта, зокрема його форма та розміри, як представника родини струнно-смичкових інструментів.

Предметом дослідження є взаємозв'язок розмірів, форми та пропорцій корпусу альта з його акустичними характеристиками та зручністю виконання на ньому музичних творів.

Головними **завданнями** дослідження є:

- *простежити* еволюцію конструкції альта і спроби визначення його оптимальних розмірів;
- *дослідити*, як розміри і пропорції корпусу альта впливають на тембр, гучність та резонансні характеристики звучання;
- *проаналізувати* сучасні моделі альтів та новітні конструкційні рішення майстрів;

- *узагальнити* критерії, на основі яких формується уявлення про «золотий стандарт» розміру альтя.

Методи дослідження. У дослідженні застосовано такі методи: історико-аналітичний (для вивчення еволюції конструкції альтя); компаративний (для порівняння акустичних характеристик інструментів різних розмірів); теоретичний (для аналізу спеціалізованої літератури й досліджень майстрів та акустиків); емпіричний (передбачає прослуховування аудіозаписів та візуальне порівняння різних моделей альтів).

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в її рамках буде:

1. Проведено комплексний аналіз впливу різних конструкційних параметрів альтя (розміри, пропорції, форма корпусу тощо) на характер його звучання.
2. Висвітлено малодосліджену проблему – історичні спроби стандартизувати розміри альтя та встановити єдиний еталонний розмір інструмента.
3. Здійснено аналіз сучасних підходів до конструювання альтів та оцінено їхню акустичну ефективність з погляду досягнення оптимального тембру і гучності.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані:

- майстрами при розробці та виготовленні нових моделей альтів (для врахування оптимальних розмірів і пропорцій);
- викладачами і студентами музичних закладів у процесі вивчення конструкції смичкових інструментів (як приклад впливу будови інструмента на звук);
- виконавцями-альтистами під час вибору інструмента з бажаними акустичними характеристиками (для розуміння компромісів між розміром альтя та його звучанням).

Структура дослідження роботи зумовлена поставленою метою та завданнями. Дипломна робота містить вступ, два розділи (з теоретичним та практичним аналізом матеріалу), висновки та список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ДИЗАЙНУ АЛЬТА

Історія розвитку дизайну альта є наочним прикладом еволюції струнно-смичкових інструментів. Вона нерозривно пов'язана з розвитком музичних традицій, зростаючими вимогами до якості звучання та технічним прогресом у сфері інструментобудування. Протягом століть конструкція альта зазнавала численних змін, спрямованих на покращення його акустичних та виконавських характеристик.

Перші згадки про альт як окремий інструмент датуються XVI століттям, коли він фактично виступав різновидом старовинної віоли. На ранньому етапі альт не мав усталених форми та розмірів, тому різні майстри створювали інструменти, що помітно відрізнялися за габаритами і пропорціями.

Вже в середині XVI ст. з'явилися перші спроби окреслити конструкційні особливості альта, надавши йому виразніший власний характер звучання. Зокрема, італійські майстри Андреа Амати та Гаспаро да Сало експериментували з розмірами і формою, прагнучи поєднати глибокий тембр віоли з більшою яскравістю та виразністю, необхідною для нових оркестрових потреб. Ці ранні зразки альтів були зазвичай більшими за сучасні та дуже різнилися між собою – фактично, кожен майстер створював свій прообраз альта, пробуючи знайти оптимальний баланс між тембровим багатством і зручністю гри.

Наступний важливий етап розвитку припадає на XVII століття, коли у творчості видатних кремонських майстрів формується більш стабільний дизайн альта. Майстри школи Кремони – такі, як Антоніо Страдіварі та представники родини Гварнері – ініціювали поступове унормування розмірів і пропорцій альта, одночасно вдосконалюючи його акустичні властивості. Саме в цей період склався уявний «класичний» образ альта: інструмента з певними усталеними пропорціями корпусу, які забезпечували збалансоване та насичене звучання. Відбулося й деяке зменшення габаритів альта

порівняно з ранніми моделями, що підвищило зручність гри на ньому без втрати характерного тембру.

Зокрема, Антоніо Страдіварі виготовляв альти з ретельно розрахованою довжиною та формою корпусу, завдяки чому інструмент звучав більш виразно й багатством тембру. Відомі альти Антоніо Страдіварі мали довжину корпусу близько 47,8 см (наприклад, модель Medici), що вважається великим розміром [17, с. 97-103], однак були й коротші моделі — приблизно 40,5–41,5 см, орієнтовані на кращу зручність гри.[17, с.115-118] Майстри родини Гварнері створювали альти, розміри яких зазвичай коливалися в межах 39–42 см, причому акцент робився на експеримент з формою обичайок і деки, щоб оптимізувати резонансні характеристики інструментів [18, с.51-54]. Завдяки таким нововведенням альт до кінця барокової епохи набув чіткіших обрисів як окремий інструмент і здобув більшу популярність серед музикантів.



Приклад 1. Альт моделі Medici (tenor)

Протягом XVIII–XIX століть дизайн альта продовжував удосконалюватися під впливом нових вимог музичного мистецтва. На той час основні розміри альта вже були більш-менш визначені, хоча різні майстерні зберігали власні конструкційні особливості. Майстри цієї епохи прагнули зробити інструмент компактнішим та зручнішим для виконавця,

водночас зберігаючи його теплий, глибокий тембр. Це дозволило альту впевненіше звучати в оркестровому складі й бути придатним для сольного виконання. Типовими були такі характеристики:

Довжина корпусу: у переважній більшості оркестрових альтів – близько 42 см, але вже у 1876 році Герман Ріттер представив «Viola Alta» довжиною 48 см із п'ятою (мі) струною. Великий розмір вважали малопридатним – на такі альти незручно витягати руку [20, с.17-19,21].

Форма: типовий силует подібний до XVIII ст., але гриф поступово подовжували для зручності гри. Експериментальні альти мали ще ширші плечі і видовжену талію (щоб вмістити 5 струн); до кінця століття фігури корпусу залишалися «скрипкоподібними».

Пропорції: широкі плечі та глибока нижня дека, талія вузька; глибина ребер у звичайних альтів 4 см, у «Viola Alta» – до 4,5 см.

Матеріали: як і раніше – ялина (верхня дека), клен (нижня дека/обичайки). До середини століття струни були жильними (низькі – з мідною обмоткою), до кінця XIX ст. з'явилися металеві струни сучасної моделі.

Конструкція: уперше з'явився підборідник (1820-ті рр.); посилили (зробили товстішою та довшою) дужку для кращого відгуку низьких нот; з'явилися металеві механізми для точнішого налаштування які розташовувались на підгрифнику (машинки). [1, с.30-35,38-40][14, с.55-60].

Паралельно вдосконалювалися матеріали та методи виготовлення інструмента. Майстри ретельно відбирали деревину для корпусу й деки та змінювали пропорції конструкції — усе задля досягнення чистішого і більш збалансованого звучання.

У XX столітті розвиток альту увійшов у фазу активних інновацій, зумовлених прогресом науки й техніки. Майстри та дослідники отримали можливість підходити до конструювання інструмента більш науково. В другій половині XX ст. почали застосовувати сучасні технології, такі як комп'ютерне моделювання, що дозволило детально аналізувати резонансні

характеристики альта і вдосконалювати форму його корпусу на основі отриманих даних. Завдяки цьому з'явилися нові моделі з покращеними акустичними параметрами та більш передбачуваною якістю звучання.

Довжина корпусу: стандарт поступово склався близько $16\frac{3}{4}$ дюйма (42,5 см) – за рекомендацією Лайонела Тертіса . Загалом корпуси сучасних повноформатних альтів зазвичай дорівнюють 41–43 см. [6, с.14-17].

Форма: модель Тертіса (співпраця з Артуром Річардсоном) вирізняється ширшими плечима й глибшими обичайками для багатшого звучання. Інші моделі залишилися близькими до класичних зразків Амати–Страдиварі з незначними пристосуваннями (трохи пом'якшені кути, індивідуальні обриси).

Пропорції: плечі широкі, талія пропорційно вужча; глибина корпусу у 16–17" альтів зазвичай 3,8–4,0 см, у «моделі Тертіс» дещо більше (для посилення басу) [6, с.14-17].

Матеріали: все ще традиційні (ялина/клен) . З початку століття почали застосовувати синтетичні лакофарбові та клеючі матеріали (полімерні смоли, синтетичні лаки).

Конструкція: гриф з інтегрованим сталевим анкером (від 1920–30-х), стандартний підборідник; на підставці – регульовані механізми налаштування.

Також у XX столітті проявилася тенденція до розширення різноманітності розмірів та форм альтів. З'явилися менші моделі, призначені для дітей і молодих виконавців або просто для музикантів з меншим розмахом рук, що дало змогу ширшому колу виконавців опановувати альт без істотної втрати акустичних властивостей інструмента. Крім того, майстри почали сміливіше експериментувати з матеріалами. Хоча традиційно основою конструкції залишаються ялина (верхня дека) та клен (нижня дека, корпус і гриф), у другій половині XX – на початку XXI ст. випробовуються новітні лакувальні матеріали та композитні речовини (наприклад,

вуглеволокно) з метою полегшити вагу й підвищити міцність альта без втрати якості його звуку.

Довжина корпусу: переважають ті ж “16–17” (40,6–43,2 см) . Сучасні майстри також пропонують зменшені варіанти (“15–16”, 38–41 см) для зручнішої гри.

Форма: загалом класичний силует XX ст.; дедалі більше уваги – ергономіці. Існують експериментальні моделі (наприклад, «Erdesz cutaway» зі зрізаним плечем), але в основі – традиційна конструкція.

[3],[14, с.61-63].



Приклад 2. Viola «Erdesz cutaway»

Пропорції: співвідношення розмірів корпусу відповідають традиційним нормам; при цьому можливий дещо вужчий корпус у менших розмірах. Висота обичайок близька до зразків XX ст. (3,8–4,2 см).

Матеріали: ті ж породи деревини (ялина/клен). Використовують сучасні модифіковані лаки та клеї, іноді вводять композитні матеріали у форми склеювання (але основний корпус – дерево).

Конструкція: за скрипковими зразками: підборідник, внутрішні частини (дужка) відчутно укріплені. Майстри продовжують вдосконалювати товщини деки та її вигин для оптимального звучання, але без радикальних технічних новацій.

Втім, попри появу нових технологій і матеріалів, значна частина сучасних майстрів продовжує дотримуватися канонів класичної школи виготовлення. Ручна робота, традиційні матеріали й перевірені часом методи й надалі вважаються запорукою автентичного звучання цього інструмента, тому багато майстрів свідомо наслідують підходи старих італійських кремонських майстрів.[8, с.4-5, 8-9],[17,с.42-49],[10, с.10-14].

Отже, історія вдосконалення альта відображає постійний діалог між традицією та інновацією, продиктований еволюцією музичного мистецтва. Кожен історичний етап приніс конструктивні зміни, що наближали інструмент до досконалості звучання та зручності у грі. Від експериментів ранніх майстрів, через створення класичних зразків у добу А. Страдіварі, і до впровадження сучасних технологій – усі ці кроки поступово сформували той альт, який ми знаємо сьогодні, з його багатим тембром і широкими виражальними можливостями. Сучасний альт є результатом багатовікової еволюції, і процес його розвитку триває. Традиції великих майстрів минулого продовжують жити у творчості нинішніх, які й далі шукають ідеальний дизайн альта, зберігаючи автентичність та емоційну виразність його звучання.

1.1. Технічні аспекти дизайну альта

Доведено, що розмір корпусу альта безпосередньо впливає на його тембр, резонансні частоти та гучність звучання. Майстри зауважують, що для отримання ідеального звучання (зважаючи на те, що альт налаштований на квінту нижче за скрипку) його корпус мав би бути приблизно на третину довшим за скрипковий – тобто близько 18–21 дюйма (46–53 см) . Такий розмір є непрактичним для гри «на плечі», тому реальні інструменти роблять меншими (зазвичай 40–43 см). Ця компромісна менша мензура впливає на баланс обертонів і силу звуку. Зокрема, менший альт (близько 15–16 дюймів) зазвичай дає яскравіше, більш скрипкоподібне звучання з підвищеною насиченістю у верхніх обертонах, тоді як більший альт (близько 17 дюймів і більше) звучить темніше, збагачений нижчими обертонами.

Експериментальні вимірювання спектра звучання підтверджують цю тенденцію: альти з більшим корпусом краще підсилюють нижчі обертони (додаткові звукові частоти, що формують тембр), що створює тепліший і глибший звук. Натомість менші корпуси акцентують вищі обертони, що робить звучання яскравішим і дзвінкішим.

Вплив розміру проявляється і в загальній звуковій потужності інструмента. Збільшений об'єм повітря в корпусі великого альту посилює випромінення низьких частот, що в свою чергу підвищує гучність та глибину звучання струни «До». Дійсно, численні експерименти з розширенням розмірів альту показали, що більший корпус надає звуку більшої глибини – тон альту наближається до віолончельного за повнотою. Однак надмірне збільшення розмірів може мати і негативні наслідки: занадто великий альт звучить “важко”, надто темно (майже як віолончель) і може вибиватись із балансу в ансамблі [13, с.27-28, с. 32-34]. Отже, існує компроміс між розміром та звуковими якостями: надто малий інструмент втрачає глибину й силу низьких нот, а надто великий – ясність і зручність виконання.

1.2. Пропорції корпусу, глибина обичайок та їх оптимізація.

Не лише довжина, але й пропорції корпусу альту (ширина верхньої і нижньої деки, звуження «талії», висота обичайок) помітно впливають на тембр та гучність інструмента. Майстри відзначають, що ширший і крупніший корпус дає більш темний, глибокий звук, тоді як вужча модель звучить насиченіше і більш яскраво. Цей ефект пов'язаний з об'ємом резонансної коробки та розмірами нижньої та верхньої деки, що визначають розподіл власних коливань. Для підсилення нижнього регістру майстри збільшують площу нижньої частини корпусу та висоту обичайок. Модель Лайонела Тертіса є класичним прикладом такої оптимізації: ця модернізована конструкція альту спеціально має розширену нижню частину інструмента та високі обичайки задля покращення тембру. Тертіс вважав, що альт із довжиною близько 42,5 см (16 3/4 дюйма) і збільшеним корпусом – мінімально необхідний для

повноцінного звучання струни «До». Завдяки широкій нижній частині інструмента досягається більший внутрішній об'єм повітря, що сприяє багатшому низькому звучанню. Як зазначав сам Л. Тертіс та його колеги, такий дизайн зробив відчутний крок вперед у покращенні резонансних властивостей альта, хоч і не став універсальним стандартом для всіх майстрів [21, с.112-116, с.132-135].

Висота обичайок (висота корпусу) – ще один з важливих параметрів. Збільшені обичайки дозволяють компенсувати меншу довжину корпусу за рахунок більшого резонансного об'єму. Наприклад, практика показує, що якщо зберегти ширину корпусу та ефі великого альта, але вкоротити його довжину, можна отримати інструмент, зручніший для гри, без втрати гучності. Відомий випадок: майстриня Г. Кундерт-Клементс схвалила радикальну реконструкцію старовинного альта Амати, чий корпус було вкорочено з 18 до близько 15,6 дюйма, залишивши незмінною ширину дек – після цього потужність звуку інструмента навіть зросла. Такий результат підтверджує, що оптимальні пропорції важливіші за один лише розмір: ширина корпусу та достатня висота обичайок можуть забезпечити насичене звучання навіть при помірній довжині корпусу [22, с.37]. І навпаки, надто плаский або вузький корпус буде обмежувати об'ємні низькі тони. Таким чином, сучасні майстри ретельно підбирають співвідношення довжини, ширини і висоти корпусу. Вимірювання десятків інструментів різних моделей дозволяють виявити вдалі конфігурації: наприклад, аналіз показує, що зменшення довжини альта при збереженні великої ширини нижньої третини альта дає сильніший звук у нижньому регістрі. Це узгоджується з емпіричним правилом: “об'єм корпусу визначає силу низів, а параметри верхньої деки – яскравість верхів”. До параметрів верхньої деки можна віднести:

- форму та висоту (вигин верхньої деки). Більш високе склепіння зазвичай забезпечує більш зібраний, чіткий, але м'якший звук. Плоскіше (нижчий вигин) робить звук більш відкритим, дзвінким і яскравим.

- товщина верхньої деки (особливо в центральній частині й біля країв, обичайок). Тонша дека підсилює високі частоти, даючи яскравіший, більш резонансний і дзвінкий звук. Товща дека робить звучання спокійнішим і приглушеним, акцентуючи нижчі частоти.

- профіль і розташування ефів. Їх розмір, форма та розташування впливають на чіткість і виразність верхнього регістру.

- тип і щільність деревини. Верхня дека з якісної, легшої та більш пружної ялини краще передає високі частоти, забезпечуючи яскравий звук.

Найважливішими з цих параметрів для регулювання яскравості високих частот є висота (вигин) та товщина деки.

Отже, оптимальні пропорції альту часто означають максимальний можливий об'єм і ширину корпусу за мінімально необхідної довжини, зручної для виконавця.

1.3. Сучасні підходи до вибору розміру та форми альту

Через історичну відсутність єдиного стандарту розміру альту, майстри та виконавці ХХ–ХХІ ст. пропонували різні підходи до удосконалення розмірів цього інструмента. Наводимо кілька знакових прикладів та сучасних рішень цієї дилеми:

Альт Германа Ріттера ("viola alta") – радикальне збільшення розміру (48см) для досягнення ідеального альтово-тенорового тембру, призначене для партій в операх Р. Вагнера. Цей «теоретично досконалий» альт має глибокий, потужний звук, однак виявився надто громіздким для більшості виконавців.

Модель Тертіса – 16¾-дюймовий альт із широкими пропорціями, розроблений Л. Тертісом спільно з майстром А. Річардсоном. Мета – забезпечити мінімально необхідний розмір для багатого звуку без надмірного збільшення мензури. Близько 178 інструментів було виготовлено за цим кресленням, демонструючи успішність концепції. Цей дизайн вплинув на багатьох наступників і довів, що навіть невисокий на зріст альтист (сам

Тертіс був зростом 168 см) міг грати на відносно великому корпусі завдяки продуманим формам.



Приклад 3. Модель альта Річардсона.

Асиметричні та ергономічні моделі – щоб поєднати коротшу довжину з достатнім об’ємом, сучасні майстри змінюють традиційну форму. Отто Ердеж розробив альт з вирізаним верхнім плечем («cutaway»), що полегшує рух позицією без втрати резонансної площі . Девід Рівінус створив модель “Pellegrina” з вигнутими, “поталеними” обрисами і дуже широким нижнім склепінням; така форма збільшує об’єм повітря і площу деки, дозволяючи інструменту довжиною в 43 см звучати, як значно більший, при цьому вага і довжина зменшені для зручності гри . Майстри відзначають, що розширени низ альта в поєднанні з нестандартними вирізами справді дає кращий резонанс на низьких нотах, і струні «До» зокрема.



Приклад 4. Альт моделі Viola Pellegrina.

Іновації Дж. Кертіна та інших – застосування нестандартних матеріалів і конструкцій. Зокрема, модель “Evia” Джозефа Кертіна має форму, схожу на віолу да гамба (з плавними обводами), з знімною/пересувною шийкою та полегшеною карбоновою нижньою декою. Це дозволяє регулювати мензуру та розподіл ваги інструмента, досягаючи оптимального балансу між звуком і комфортом. Інші новатори, як Б. Сабатьє, експериментували з нестандартними контурними формами (наприклад, “плавлений” дизайн корпусу) для покращення ергономіки без значної втрати акустичних властивостей.



Приклад 5. Альт моделі Sabatier Viola.

Персоналізований підбір розміру – сучасні майстри дедалі частіше підходять індивідуально до вибору розмірів під конкретного виконавця. Враховується антропометрія альтиста (довжина рук, будова тіла) та бажаний характер звуку. Наприклад, відомий альтист Роберто Діас грає на

старовинному альті з укороченим корпусом ~40 см, який, завдяки збереженій великій ширині та глибині, зберіг потужний звук. [23]. Деякі майстри (як Г. Кундерт-Клементс) вимірюють параметри десятків історичних інструментів – довжину, ширину, висоту – і на основі емпіричних даних створюють нові моделі з оптимальними пропорціями. Такий науково-практичний підхід дозволяє поєднати комфорт гри із високоякісним звуком, підбираючи найбільший можливий корпус, який підходить конкретному музиканту [6, с.125-135].

Отже, сучасний дизайн альта – це область балансування між акустичними ідеалами та ергономічними обмеженнями. Наукові дослідження і практичний досвід майстрів підтверджують значний вплив розміру та пропорцій корпуса на тембр і гучність альта. Підкріплені замірами та експериментами оптимізації, висновки фахівців збігаються: «великий корпус дає глибокий тембр, малий – яскравіший тон; проте правильні пропорції можуть компенсувати розмір». Саме тому в сучасній майстерності немає єдиного стандарту: замість цього існує різноманіття моделей – від традиційних до інноваційних – що підтверджують слова В. Пріроуза про те, що пошук “досконалого альта” триває, дозволяючи музикантам обирати інструмент зі звучанням і розміром, які найкраще відповідають їхнім потребам. [6]

1.4. Вплив розміру та форми на якість звучання

Корпус альта, як і будь-якого смичкового інструмента, виконує роль резонатора, котрий формує тембр та гучність звуку. Збільшення габаритів альта (корпус приблизно на 15% більший за скрипковий) призводить до зниження власних резонансних частот інструмента і суттєвого затемнення тембру. Так, дослідження показали, що основні резонанси корпуса альта розташовуються між частотами його відкритих струн (а не точно на них, як у скрипці), що надає звучанню більш “приглушеного” характеру. (У кожного струнного інструмента корпус має власні резонансні частоти — тобто

частоти, на яких інструмент природно сильніше резонує. У скрипки резонансні частоти (корпусу) більш-менш точно збігаються з висотою відкритих струн (тобто, струни «соль», «ре», «ля», «мі»). Це забезпечує яскраве, відкрите звучання.

У альтів ж ситуація інша: його резонансні частоти, як правило, не збігаються з висотою відкритих струн, а розташовуються десь посередині між ними. Це спричиняє менший резонанс саме тих нот, які звучать на відкритих струнах, що робить загальне звучання альтів більш приглушеним, м'яким або «тьмянішим».

Відповідно, внаслідок збільшення розмірів при певних умовах посилюється відносна яскравість середніх обертонів (№2–5) у спектрі звуку альтів, у порівнянні зі скрипкою. У цілому більші розміри корпусу дають інструменту глибокий, «басовий» звук з більш виразною середньою тембральною складовою.

1.5. Акустика корпусу альтів

Корпус альтів діє як складна резонансна система, у якій поєднуються два типи резонансів: повітряні (як-от резонанс Гельмгольца A_0 , що визначає глибину найнижчих звуків) та пластинчасті (коливання верхньої й нижньої дек, що впливають на тембр у середньому і високому регістрах). [1] Збільшення об'єму корпусу знижує частоту повітряного резонансу, надаючи звучанню темнішого, глибшого забарвлення. Водночас форма дек та їх матеріал визначають яскравість і виразність звучання у вищому регістрі.

1.6. Геометрія корпусу та звукове випромінювання

Визначальні розміри корпусу – довжина, ширина й висота (обичайок) – задають основні акустичні властивості. Збільшення довжини/глибини корпусу впроваджує більше повітря, знижуючи частоти повітряних мод і роблячи звучання глибшим. Наприклад, стандартний «повний» альт довжиною 40 см (16") зазвичай має $A_0 \approx 220\text{--}250$ Гц, тоді як у менших альтів (15") цей резонанс може бути вищим. З іншого боку, навіть незначні зміни у

ширині або висоті корпусу можуть неоднаково впливати на посилення окремих гармонік через перестройку пластинних резонансів. [1, с.11-15]

Форма ефів і верхньої деки також помітно корегує звукове випромінювання. Наприклад, алюмінієвий аналіз Viola Pellegrina (робота Майстра Д. Рівінуса) показав, що збільшення лівого вирізу і зменшення правого зміщує напрям звуку вліво. За розповідями виконавців, ця конструкція дала дуже велику гучність та рівномірний звук на нижніх струнах (вокальність на G і C), і зробила дещо яскравішими верхні струни [3].

Крім того, нестандартні форми деки можуть вирівнювати звучання у високому регістрі. Так, видатний майстер Роланд Ердеш створив «Viola Virtuoso», у якого є один бічний зріз («cutaway»): він відняв правий верхній кут корпусу, щоб зменшити довжину деки на високій частині. За словами Ердеша, це не знижувало об'єм низьких струн (G, C), але робило звучання більш рівномірним і усувало грубуватість у верхніх нотах [4]. Аналогічну ідею запозичено з будови фортепіано, де високі струни резонують на коротшій деці: у вирізаному альті верхні ноти далися легше і чистіше, а бас залишився глибоким.

1.7. Приклади модифікацій інструмента

У сучасних інноваційних моделях альтів можна зустріти асиметричні ефи – вони можуть відрізнятися за формою чи розміром. Наприклад, Viola Pellegrina Д. Л. Рівінуса мала лівий виріз значно більший за правий, через що більша частина звуку спрямовується вліво. Що це дає? Саме асиметрія ефів дозволяє підсилити резонанс з одного боку та урізноманітнити темброву палітру інструмента, змінюючи співвідношення звучання між струнами.

- Виріз у верхньому зрізі деки – використовується для зручності гри та корекції тембру. Ізгадана модель Viola Virtuoso Ердеша має вирізаний верхній бік деки з правого боку, що забезпечило стабільніше й більш збалансоване звучання на вищих нотах без втрати об'єму низьких частот. Подібно цього підхід застосував Хіроші Ідзука у своїх альтів-«d'amore»:

різко обрізане крило не знижувало гучності басів, проте мінімізувало небажані резонанси у верхньому регістрі .

- Конструкції обичайок і корпуса. Альти з незвичайними формами корпуса (наприклад, розширена ліва верхня частина чи загострені кути) були випробувані для коригування резонансної порожнини. У Viola Pellegrina Д. Рівінус фактично «розвинув» ліву верхню й праву нижню частини корпуса, збільшуючи площу вібрації та об'єм резонатора з боку низьких струн . Це додало інструменту потужності на низьких частотах, адже більше дерев'яної поверхні і повітряної порожнини дозволяє краще випромінювати глибші тони.

- Інші модифікації – Зокрема, майстер Х. Ідзука пробував отвір у голові свого альту, щоб зменшити вагу інструмента, і зауважив, що це не вплинуло на звучання. Такі зміни демонструють: геометрію корпусу (нав'язані форми чи отвори) можна коригувати задля ергономіки, не погіршуючи акустичних властивостей [22, с.40-41].

Таким чином, існує тісний зв'язок між геометрією альту і його звуковими характеристиками. Збільшення корпусу знижує частоту повітряного резонансу, що надає тембру інструмента більшої глибини та темнішого відтінку. Форма й вирізи деки, вирізані додаткові ефи чи асиметрична конфігурація корпусу можуть перенаправляти звук і змінювати посилення певних частот: прикладами є випробування з вирізаним верхом для більш рівномірного звучання та асиметричні ефи для посилення звучання в окремому регістрі. Навпаки, зміна певних частин альту (наприклад отвір у голові інструмента) не зашкоджує якості звучання при зменшенні ваги.

Отже, як свідчить практика майстрів і дослідників, цілеспрямована зміна розмірів і форми корпусу дозволяє ефективно формувати темброві характеристики та звучання інструмента, адаптуючи його до потреб виконавця, не порушуючи при цьому його ключових акустичних якостей.

РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ І СУЧАСНИХ МОДЕЛЕЙ АЛЬТА

2.1. Традиційні моделі альта

Альт в епоху Відродження та Бароко мав конструкцію, близьку до класичної скрипкової, але дещо більшої величини. Майстри італійської школи по-різному уявляли «ідеальний» альт. Наприклад, Гаспаро да Сало (XVI ст.) виготовляв альти надзвичайно великих розмірів – від 39 см (15,4") до 44,5 см (17,5") довжини деки. Такі широкі й високо розкреслені корпуси з великим об'ємом корпусу давали потужний, м'який тембр «у стилі бароко», з глибоким басом [19],[25]. На відміну від нього, Андреа Амати (Кремона, сер. XVI ст.) працював за класичною формою віоли да браччо з дещо меншою довжиною (приблизно 40–41 см) і помірним склепінням; його інструменти відзначались чистим, яскравим тембром і виразною серединою.

Антоніо Страдіварі на межі XVII–XVIII ст. стандартизував свою модель альта довжиною тіла близько 41–42 см. У 1690 році він створив «CV»-модель – струнку, трохи подовжену форму, яка стала визначальною для його альтів і залишалась незмінною до кінця кар'єри. А. Страдіварі навіть склав набір інструментів для представників родини Медічі, де знаходився єдиний відомий його «теноровий» альт (понад 47 см).

Джузеппе Гварнері (1690 р.) виготовив лише кілька альтів; один із них – «Josefowitz» 1690 р. – має корпус довжиною 41,3 см, помірне склепіння та характерні гострі вирізи ефів. Ці гварнерієвські альти, як і скрипки дель Джезу, визнані сучасними виконавцями за виняткову проєкцію і багатий звук: сім збережених альтів Гварнері вважають «найбільш бажаними інструментами» через їхню потужність й тембр. Виготовлені з тополя (верхня дека) та бука (нижня дека й обичайки) із яскравим помаранчевим лаком, традиційні італійські альти відзначаються гармонійним поєднанням розмірів і резонансних співвідношень: досліді показують, що майстри «випрацювали оптимальну систему» пропорцій корпусу, що зберігає врівноважений спектр обертонів [5].

2.2. Сучасні моделі альта

У XX–XXI ст. майстри теж експериментують із конструкцією альта, прагнучи поєднати потужне звучання з ергономікою. Одним із ранніх прикладів була модель Лайонела Тертіса (Велика Британія, 1930-ті) у співпраці з Артуром Річардсоном – альт довжиною 42,5 см, сконструйований для кращого звучання низької струни «До». Втім, як зауважував альтист Вільям Прімоуз, попри вдалі акустичні характеристики, цей «альт Тертіса» не став загальним стандартом.

Нова хвиля інновацій почалася наприкінці XX ст. та продовжилася до сьогодні. Наприклад, угорський майстер Отто Ердеш створив унікальний альт з вирізом: верхня частина деки з одного боку відрізана заокругленим вирізом, що полегшує доступ до високих позицій і, на думку майстра, не шкодить звучанню баса. Ізраїльська альтистка Рівка Голані, яка довгий час грала на такому інструменті, стверджує, що виріз дійсно «покращує резонанс у верхньому регістрі»: вона відчувала, ніби на цьому альті «ціла октава високих нот резонує краще, ніж на традиційному» .

Американський майстер Девід Рівінус запропонував асиметричну форму альта — модель «Пеллегріна». За зовнішніми розмірами її корпус досягає 50 см (20"), однак завдяки конструктивному зсуву та особливій формі інструмент має укорочену мензуру — приблизно як у $\frac{3}{4}$ -розмірного альта. Це дозволяє зберегти значний внутрішній об'єм (еквівалентно 18–19") і водночас зменшити фізичне навантаження на виконавця. За словами самого Рівінуса, моделі були розроблені з метою зменшити дискомфорт та напруження в шийному, плечовому та ліктьовому суглобах, оскільки, як він зазначав, проблеми м'язово-скелетної системи у струнних виконавців набули масштабів справжньої епідемії.

2.3. Порівняння конструкції і звуку

Форма й розміри. Традиційний альт має симетричний, двогорбий силует з двома вирізами f-отворами й класичною головкою. Довжина корпусу зазвичай 39–42 см (15–16½") . Багато старовинних інструментів були

компактнішими – для зручності гри в оркестрі, – або навпаки надвеликими (тенорові альти Гаспаро, Страдіварі), що давали потужний звук, але були громіздкі. Сучасні моделі часто мають більш стандартний розмір 40-42 см. Інші ж майстри відходять від ідеальної симетрії: наприклад, модель Ердеша та «Пеллегріна» Рівінуса мають відкориговані обриси корпусу, а подекуди висоту деки й обичайок збільшують у порівнянні зі старими зразками для більшого об'єму. Усе це змінює пропорції та форму корпусу і розташування центру симетрії. При цьому класичні матеріали (ялинка для верхньої, клен для нижньої дек й обичайок) зазвичай зберігають, а інколи посилюють деякі елементи (наприклад, вищі обичайки) для збільшення резонансної маси (об'єму).

Акустична сторона. Співвідношення форми і звуку очевидне: більше внутрішнього об'єму посилює низькі частоти, тоді як компактний корпус забезпечує ясніший «скрипковий» тембр. Так, альти Гаспаро да Сало та Гварнері із глибокими вигинами зазвичай мають «баритонне» глибоке звучання з насиченим басом, що привертає увагу сучасних солістів. Натомість маленькі зразки Амати, або стрункі типи Страдіварі звучать світліше, з гострішим тембром верхніх нот. Оптимальна довжина корпусу для сучасних майстрів (близько 41–42 см) вважається «ідеальною» для збалансованого звучання. Інноваційні конструкції покликані розширити звуковий потенціал: асиметрична форма «Пеллегріни» дає простір для довгих хвиль низьких частот, але зменшує мензуру інструмента та полегшує натяг струн. У сприйнятті глядача-слухача деякі модерні форми звучать незвично, але багато професійних альтистів підтверджують, що у правильних руках нестандартні моделі можуть звучати потужно і «бархатно» – іноді з іншими, специфічними обертоновими барвами.

Зручність гри. Традиційний великий альт часто перевантажує плечі і пальці – як відзначають виконавці, «один крок до занадто великого корпусу може бути добре для вуха, але надто великим для плеча». Форма «Пеллегріни» та моделі Ердеша очевидно покращують ергономіку:

зменшують розмах рухів при грі на верхніх струнах і розвантажують спину. За словами Рівіна, у його моделі «відстань від підгрифника до поріжка, менша ніж у звичайному» (майже як у $\frac{3}{4}$ -розміру) , що робить тривалий концерт більш легким для ігрового апарату. Водночас класичні інструменти навантажують сильніше, а при тривалому виконанні на інструментах з великим корпусом у деяких музикантів може з'являтися біль. Водночас більшість виконавців зазначають, що звичність форми та привабливий тембр традиційних інструментів часто переважають інновації. Проте деякі, як-от Рафаель Гольняк (відомий також як Рівка Голані), готові прийняти незвичний дизайн заради суттєвого поліпшення звучання — наприклад, цілої октави з кращим тембром.»

2.4. Точки дотику між майстрами і виконавцями

Багато традиційних майстрів і виконавців віддають належне звучанню старовинних альтів, але визнають їхні обмеження. Наприклад, альтист Вільям Пріроуз визнав вклад Тертіса в побудову «масштабного» альту, однак зауважив, що модель Тертіса не стала єдиною правильною. Рівка Голані, професійна виконавиця, стверджує, що в її інструменті верхній регістр резонує на октаву краще, ніж на звичайному, підкреслюючи таким чином перевагу інновації. Дон Ерлхайль (учасник симфонічного оркестру в Сан-Франциско) у своїх щоденних виступах відчув полегшення завдяки «Пеллегріні» – він помітив, що після концерту з його новим альтом біль у лівому лікті зменшився в порівнянні з грою на старих моделях. У цілому, думки фахівців узгоджуються так: сила звуку і насиченість тембру традиційних інструментів дуже високо цінуються, але нові дизайни пропонують варіанти, що покращують ергономіку та розширюють діапазон резонансів

Знаковими зразками традиційних альтів вважають, зокрема, альт 1696 р. Антоніо Страдіварі («Макдональд»), альт Gasparo da Salò XVIII ст. у Берліні, або альт 1690 р. Дж. Гварнері («Primrose», нині в Колекції Койозіо). Серед

сучасних – «альт Тертіса» роботи Річардсона (1950 р., Лондон), асиметричний «Пеллегріна» Рівінуса та cutaway-альт О.Ердеша (США, 1970–90-і рр.). Ці інструменти ілюструють діапазон підходів: від «мінімальних удосконалень» (нові розміри, товщини деки) до радикальних змін форми та внутрішньої конструкції.

Відомо багато наукових і практичних робіт з акустики струнних інструментів. Зокрема, експерименти Карлін Мелей Гатчінс свідчать, що старі майстри «розвинули майже оптимальну систему» конструкції струнних інструментів. Публікації Тарізіо і The Strad містять технічні виміри та аналіз відомих зразків Амати, Страдіварі, Гварнері. Статті сучасних майстрів розкривають нові рішення. Ці джерела підтверджують, що порівняння традиційних і сучасних моделей альта має ґрунтуватися на глибокому розумінні взаємозв'язку конструкції, акустики та ергономіки інструмента.

2.5. Перспективи досліджень акустики альта

Сучасне дослідження звучання альта використовує передові аналітичні методи, які дозволяють глибше зрозуміти властивості інструмента. Так, спектральний аналіз записаного звуку (частотний аналіз обертонів та резонансів) дає можливість виділити основні частотні моди деки і корпусу. За допомогою спектрального аналізу було показано, що великі корпуси альтів зазвичай посилюють нижні частоти, надаючи звуку більш теплого, округленого забарвлення. Лазерні безконтактні методи (лазерна доплерівська віброметрія, голографічна інтерферометрія тощо) дозволяють візуалізувати коливання поверхні деки й корпусу в реальному часі без впливу на сам інструмент. Таким чином дослідники можуть фіксувати характер коливань та як звук поширюється у просторі, що дозволяє з'ясувати, як саме різні частини інструмента беруть участь у формуванні звуку. Також використовують методи тривимірного моделювання (метод скінченних елементів та подібні), що імітують геометрію корпусу, форму деки та властивості деревини. Така 3D-симуляція дозволяє обчислити резонуючі

властивості інструмента з урахуванням різних параметрів (товщини верхньої та нижньої деки, вигину деки, властивостей матеріалу). Відповідно, сучасні дослідники мають широкий арсенал експериментальних і чисельних інструментів для акустичного аналізу, що суттєво розширює можливості наукових досліджень. [9], [2, с.105-115]

Не лише майстри займаються питанням покращення акустичних властивостей альта. Зростає залученість виконавців, композиторів та академічних дослідників до удосконалення тембральних та інших якостей інструмента. Це зумовлено зростаючими вимогами до звучання і комфорту під час гри. Міждисциплінарні проекти, що об'єднують науковців, музикантів і майстрів (наприклад, проект Strad3D)[9], демонструють ефективність спільного підходу: із його допомогою досліджували три класичні інструменти, комбінуючи лазерне сканування, аналіз звучання й досвід виконавців. Зі свого боку, запити альтистів стимулюють майстрів до конструювання інноваційних форм. Зокрема, коли виконавці-початківці скаржилися на фізичний дискомфорт великих стандартних альтів, з'явилися нові конструкції з вирізами чи асиметричним корпусом – інакші за традиційні, що мали полегшити гру. Таким чином, інтерес виконавців до зручності самого інструмента призвів до розвитку незвичних, креативних форм і розмірів альтів в останні десятиліття.

2.6. Перспективні напрями досліджень

Вплив мікропрофілю деки та обичайок (також пружини) на резонансні характеристики. Уже встановлено, що невеликі зміни вигину деки (додання більшої опуклості склепінню) можуть помітно зміщувати резонанси інструмента. Аналогічно, пружина і душка значно змінюють жорсткість деки, тому детальне вивчення оптимальної форми й розташування цих елементів залишається актуальним. Завдання вимагає поєднання фізичних експериментів і моделювання для з'ясування, як незначні відмінності профілю деки впливають на звукові й резонансні характеристики альта.

Корпус альта може адаптуватися до індивідуальних особливостей гри: форма деки, висота обичайок і конструктивні відмінності (наприклад, вирізи, асиметрія) впливають на тембр та зручність гри. Перспективним є дослідження того, як різні архітектурні рішення корпусу пов'язані із динамікою, манерою та стилістичними вподобаннями музикантів. Зокрема, окремі майстри впроваджують ергономічні проекти (як-от асиметричний корпус Rivinus), враховуючи положення руки і плеча виконавця. Систематичне вивчення та категоризація таких впливів можуть допомогти створити інструмент, що враховує стиль гри.

Акустичні властивості деревини різного віку й обробки. Тривалість сушіння або старіння деревини, а також термічна обробка чи очищення, змінюють її пружні властивості. Деякі експерименти показали, що тривала та інтенсивна гра може зменшувати внутрішнє поглинання вібрацій деревиною (демпфування), і поліпшувати тембр інструмента, хоча результати дослідів суперечливі. Зокрема, було зафіксовано зменшення демпфування і суб'єктивне поліпшення звучання з часом, проте у деяких дослідях зміни не виявилися статистично значущими. Детальніші дослідження впливу фізичного старіння й обробки деревини необхідні для розуміння, як матеріал корпусу формує акустику інструмента.

Лакове покриття збільшує масу і демпфування деки, змінюючи її жорсткість. Експерименти показали, що нанесення традиційного масляного лаку на ялину вздовж волокон зменшує її жорсткість і збільшує звукопоглинання. Це робить звучання «м'якшим» і «теплішим», але водночас знижує чіткість і яскравість високих частот (зменшується поширення звуку). Результати залежать від типу лаку, кількості слоїв та глибини його проникнення в деревину. Вивчення впливу різних композицій лаків і технік обробки на звучання та резонансні властивості деки допоможе оптимізувати баланс між захистом дерева і якістю звуку.

Через велике різноманіття статури тіла та техніки гри музикантів виникає ідея «універсального» дизайну альта. Уже розроблені певні

ергономічні моделі – наприклад, корпуси зі зрізами чи асиметричними розширеннями, що краще відповідають анатомії людського тіла. Водночас формалізованого рішення, яке підходило б широкому колу виконавців без компромісів у звучанні, ще не існує. Подальші дослідження можуть орієнтуватися на моделювання контакту тіла музиканта з інструментом і вимірювання навантажень при різних конструкціях. Мета – знайти форму корпусу, що враховує особливості плечового поясу і поставу гравця, одночасно підтримуючи бажані акустичні властивості.

Таким чином, перспектива досліджень акустики альта виглядає багатоплановою: вона охоплює і розробку нових технологічних підходів до аналізу звучання, і врахування потреб музикантів та композиторів. У подальшому очікується синтез методик (спектральних, вібраційних, комп'ютерних моделей) та інтеграція їх з ергономічними й матеріалознавчими дослідженнями. Це дозволить удосконалити конструкцію альта, оптимізуючи його тембр і зручність гри, а отже – розширити можливості інструмента як для виконавців, так і для творців музики.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи виконане дослідження, зазначимо, що еволюція альтя протягом століть відображає поступовий пошук оптимального балансу між акустичними можливостями та зручністю для виконавця. Історичний аналіз показав, що майстри від А. Страдіварі й А. Гварнері до сучасних коригували розміри, пропорції й форму корпусу альтя на користь збагачення та урізноманітнення його тембру. Зокрема, А. Страдіварі застосовував точно продумані розміри корпусу для більш виразного звучання, тоді як у XVIII–XIX століттях збільшення висоти обичайок та глибини дек дозволили збалансувати потужність низів із чистотою верхніх нот.

Технічні параметри — довжина та висота, площа деки та об'єм повітря в корпусі — безпосередньо впливають на частоти резонансів і характеристики звучання інструмента. Більші за розмірами альти (43–47 см) зазвичай дають глибоке темне звучання з насиченим басом (як, наприклад, у відомому «альті Тертіса»), але водночас вимагають від музиканта більше фізичних зусиль. Компактні моделі (38–42 см) легші для гри, однак ризикують втратити повноту нижніх нот. Порівняльний аналіз традиційних і сучасних моделей альтя засвідчив, що тут немає однозначного «переможця»: новітні конструкції спираються на класичні традиції, але містять інновації (вирізані плечі, асиметричні обриси, композитні матеріали тощо), які дозволяють збільшити внутрішній об'єм без зайвої довжини або ваги. Завдяки таким рішенням деякі сучасні альти отримують значно більший обсяг звучання, зберігаючи при цьому комфорт під час гри.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з широким застосуванням акустичного моделювання та нових технологій (комп'ютерного дизайну, 3D-друку, нетрадиційних матеріалів тощо) для створення «ідеального» інструмента. Проведене дослідження демонструє, що питання: «який альт можна вважати ідеальним?» залишається відкритим і

потребує комплексного поєднання наукової теорії з практичними експериментами.

Особисто для мене, як для виконавця, ця тема надзвичайно значуща та цікава: розуміння того, як кожна конструктивна деталь впливає на звучання, не лише поглиблює моє усвідомлення можливостей власного інструмента, а й підкреслює важливість вибору альту, що ідеально відповідає задумам музиканта. Працюючи над цим дослідженням, я вкотре переконався, що справжній інструмент — це не просто зручність чи якість звуку, а щось більше: він має «говорити» разом із тобою, надихати, ставати продовженням твоєї індивідуальності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hutchins C. M. Acoustics of the viola // Journal of the Catgut Acoustical Society. 1981.
2. Woodhouse J. The acoustics of the violin: a review // Acta Acustica united with Acustica. 2014.
3. Rivinus D. Pellegrina Model – Official Site. URL: <https://rivinus-instruments.com/violas/pellegrina/> (дата звернення: 02.05.2025).
4. Erdesz O. The cutaway viola of Otto Erdesz // The Strad. URL: <https://www.thestrad.com/lutherie/the-cutaway-viola-of-otto-erdesz/6059.article> (дата звернення: 20.04.2025).
5. Tarísio Cozio Archive. Instruments by Stradivari, Guarneri, Amati. URL: <https://tarisio.com/cozio-archive/instruments/> (дата звернення: 08.05.2025).
6. Primrose W.: Yesterday and Today. Oxford : Oxford University Press, 1978.
7. Gough C. Violin acoustics: physics and design // Reports on Progress in Physics. 2013.
8. Fritz C. et al. Player preferences among new and old violins // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012.
9. Strad3D Project. 3D analysis of classical instruments. URL: <https://strad3d.org/> (дата звернення: 10.05.2025).
10. Iizuka H. Official site of Hiroshi Iizuka Violas. URL: <https://www.iizukaviolas.com/designs> (дата звернення: 12.05.2025).
11. Riley M. W. The history of the viola. Michigan : Vol. 1. BraunBrymfield, Ann Arbor, 1993. 396 p.
12. Zeyringer F. The problem of viola size. American Viola Society. 19 p.
13. Barrett H. The Viola: Complete Guide for Teachers and Students. 2nd edition. Birmingham : University of Alabama Press, 1996.
14. Clarke R. The History of the viola in quartet writing // Music and Letters. Vol. 4, 1923. P. 6–17.

15. Ondras L. Hindemith's Der Schwanendreher // The Journal of the American Viola Society. Provo : Brigham Young University. Spring 2003. P. 28–35.
16. Potter T. Hindemith and the Viola // The Journal of the American Viola Society. Vol. 11 (2), 1995. P. 5–13.
17. Hill W. H., Hill A. F., Hill A. E. Antonio Stradivari: His Life and Work (1644–1737). London : Dover Publications, 1963.
18. Hill W. H., Hill A. F., Hill A. E. The Violin-Makers of the Guarneri Family (1626–1762). London : William E. Hill & Sons, 1931.
19. Tarisio Cozio Archive. Instruments by Stradivari, Guarneri, Amati. URL: <https://tarisio.com/cozio-archive/instruments/> (дата звернення: 22.05.2025).
20. Zeyringer F. The Problem of Viola Size // Journal of the American Viola Society. – [S.l.]: American Viola Society, 1979. – 19 с.
21. Tertis L. My Viola and I: A Complete Autobiography. London: Kahn & Averill, 1974. 208 p.
22. Jeong S. C. Viola Design: Some Problems with Standardization. Doctoral dissertation. Tuscaloosa, AL: University of Alabama, 2012. – 81 с.
23. Jeong S. C. Viola Design: Some Problems with Standardization. Doctoral dissertation. University of Alabama, 2012. 110 p.
24. Jeong S. C. Viola Design: Some Problems, Experiments and Solutions. D.M.A. dissertation. University of Wisconsin-Madison, 2012. 169 p.
25. MyLuthier. Gasparo da Salò: The First Great Viola Maker. URL: <https://www.myluthier.co/post/gasparo-da-salo-the-first-great-viola-maker> (дата звернення: 23.05.2025).