

SECTION: INFORMATION TECHNOLOGY AND CYBERSECURITY

DOI 10.70286/ISU-21.01.2026.008

ОГЛЯД ІСТОРИЧНОГО РОЗВИТКУ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО НАСТРОЮВАННЯ АКУСТИЧНИХ СТРУННИХ МУЗИЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Сичков Віталій Сергійович

аспірант, асистент

Кафедра інженерії програмного забезпечення
Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Вступ. Сучасне програмне забезпечення (ПЗ) відіграє важливу роль у підтримуванні належної якості звучання музичних інструментів. Настроювання акустичних струнних ударно-клавішних інструментів (піаніно і роялів) традиційно вимагає високої кваліфікації, значного практичного досвіду та суттєвих витрат часу. З поширенням смартфонів з'явилася велика кількість мобільних програм-тюнерів, які зробили цей процес простішим, швидшим і доступнішим. Водночас виникає потреба в ретельному аналізі їх функціоналу, особливо тих рішень, які позиціонують себе як професійні інструменти для настроювання. Разом із тим наявне ПЗ не можна розглядати ізольовано від історичних передумов його виникнення. Саме тому важливим є звернення до історії розвитку таких засобів, що дозволяє простежити еволюцію технологій, виокремити ключові етапи їх становлення та зрозуміти тенденції, які зумовили появу сучасних рішень.

Викладення основного матеріалу. Для розуміння певної термінології предметної області ПЗ та з метою уникнення повторного викладення відповідного матеріалу автор рекомендує спершу ознайомитися з роботою [1].

Історія автоматизованого настроювання інструментів розпочинається ще в 30-х роках минулого століття. Тоді компанія “Conn” винайшла перший електромеханічний тюнер, який дозволяв досить точно (до 0,1 ¢) настроювати частоти основних тонів завдяки принципу роботи індикації, що був заснований на стробоскопічному ефекті – звідси його назва “Conn Strobotuner”. Дисплей такого тюнера є напівпрозорим диском із двигуном, на один бік якого нанесено спеціальне зображення. За диском знаходиться джерело світла – зазвичай кілька ламп або світлодіодів, які блимають із частотою вхідного сигналу. Диск обертається з фіксованою швидкістю, що визначається нотою, яку настроюють. Коли частота обертання диска збігається з частотою спалахів світла, зображення на диску виглядає нерухомим. Якщо між цими частотами є розбіжність, воно

починає повільно дрейфувати по колу – за годинниковою стрілкою або проти годинникової стрілки. Швидкість цього руху вказує на те, наскільки частота вхідного сигналу відрізняється від частоти цільової ноти.

Лише за півстоліття з розвитком мікроелектроніки з'явилися компактні недорогі тюнери, які настроювач вже міг покласти у свою робочу валізку. Проте світлодіодні (LED) аналоги зі стрілковою індикацією були не такими точними, як стробоскопічні, через значне усереднення показників і надто великий допуск для «гарного» настроювання (до 3 ϵ), що насправді призводило до спотвореної температури.

Значний внесок у розвиток стробоскопічних тюнерів, які досі активно використовують музиканти у всьому світі, зробила компанія “Peterson”. Модель 150 (1952 р.) – перший хроматичний тюнер, який засновник компанії Річард Х. Петерсон розробив для власних потреб під час настроювання органів. У 1964 р. було представлено модель 70 – перший портативний тюнер, який працював на батарейках. Модель 400 (1967 р.) – перший твердотільний стробоскопічний тюнер, який дозволяв настроювати інструменти з точністю до 1 ϵ і водночас не потребував калібрування.

У 1980 р. Петерсон представив модель 100 зі світлодіодною ковзною індикацією, що використовувала концепцію стробоскопа. У 90-х роках було розроблено “Strobe Center 5000” (“SC5000”) – 12-колісний поліфонічний стробоскопічний тюнер із точністю до 0,1 ϵ та можливістю змінювати тональність і температуру. До 2001 року компанія “Peterson” випустила лінійку тюнерів “Virtual Strobe”, які використовують рідкокристалічні дисплеї (LCD) для імітації механічних коліс стробоскопа та створення стробоскопічного ефекту. Ці тюнери гарантують точність до 0,1 ϵ або вище завдяки використанню запатентованої технології. Сучасні моделі, як-от “StroboPLUS HD”, “StroboStomp HD”, “StroboClip HD” тощо, є компактними педальними та кліп-тюнерами (тюнерами типу кліпси) з високоякісними дисплеями і точністю до 0,1 ϵ , доступні в офіційному магазині Peterson. Також можна придбати сучасне мобільне ПЗ: “Strobe” і “iStroboSoft” – відповідно для операційних систем (ОС) “Android” і “iOS”.

Зазначені вище пристрої можна вважати тюнерами першого покоління. Взагалі з появою перших тюнерів здавалося, що проблему температури та її настроювання загалом вже розв'язано. Проте незабаром було з'ясовано, що це зовсім не так. Незважаючи на зазначені переваги і недоліки, ці пристрої зовсім не підходять для настроювання струнних ударно-клавішних інструментів. Температури, побудовані за такими пристроями, не мають високої якості. Причиною цього є те, що вони враховували лише частоти основних тонів. Якщо настроювання багатьох інструментів за частотами перших гармонік може бути достатньо, то стрій фортепіано (рівномірно-темперований, або РТС, чи будь-який інший) визначають переважно співвідношенням частот не основних тонів його звуків, а саме обертонів, враховуючи негармонічність струн.

Великим проривом у світі електронних тюнерів став винахід Гарвардського професора фізики та електроніки, доктора Альберта Е. Сандерсона III – пристрій

“Sanderson Accu-Tuner”, призначений саме для настроювання фортепіано. У лінійці представлено чотири моделі: I (1981 р.), II (1987 р.), III (1997 р.) і IV (2008 р.), кожна з них пропонувала нові або покращені функції – від точності до 0,005 ϕ , обчислення кривої розтягнення інтервалів для компенсації негармонічності і наявності слотів пам’яті для збереження настроювань до інтеграції MIDI і оновлень через USB.

З розвитком інформаційних технологій почали розробляти спеціалізоване ПЗ для настроювання музичних інструментів, як-от “Tuner - gStrings” (2010 р.), “CarlTune” (2011 р.), “TuneLab” (2012 р.), “Pano Tuner” (2013 р.), “Tuner - Pitched” (2015 р.), “PianoMeter”, “Airyware Tuner” (2017 р.) тощо [2-14]. Особливо зручними для цього завдання виявляються портативні пристрої, якими зараз люди користуються щодня, – мобільні і планшетні персональні комп’ютери, які вже мають необхідні вбудовані пристрої введення/виведення та легко перетворюються в такі ж сучасні електронні тюнери, а також еквівалентні їм за розміром.

Наразі є чимало різноманітних застосунків, орієнтованих саме на мобільні пристрої. Для аналізу було взято такі найпоширеніші тюнери для різних інструментів:

а) хроматичні тюнери зі стрілковою індикацією, що мають оцінку користувачів найбільших магазинів мобільних застосунків “Google Play Store” (ОС “Android”) і “App Store” (ОС “iOS”) відповідно 4,5/5 і вище, як-от:

1) “Tuner - gStrings”. Заявлена точність вимірювань відсутня, проте з використання застосунку можна зрозуміти, що вона складає до 0,1 Гц для частот до 999,9 Гц і до 1 Гц для 1000 Гц і більше (перша шкала) та до 5 ϕ (друга шкала). Як і більшість аналогів, він містить чималу базу різноманітних інструментів та відкритих строїв. Величина припустимої похибки настроювання фіксована і становить щонайменше $\pm 5 \phi$. Має платну версію вартістю \$10 або 100 грн для користувачів в Україні;

2) “CarlTune”. Точність вимірювань складає до 0,01 Гц і 1 ϕ (дві окремі шкали). На відміну від попереднього засобу, дозволяє встановити відхилення з мінімальним нульовим припуском. Підтримує тільки РТС. Також містить гнучко налаштовуваний метроном;

3) “Tuner & Metronome”. Точність вимірювань – до 1 ϕ . На противагу решті аналогів, не дозволяє вибрати ту чи іншу модель інструмента та настроювати конкретно визначені тони. Як і попередній, працює лише з РТС і має метроном. Пропонує найбільший мінімальний припуск у $\pm 10 \phi$;

4) “Pano Tuner”. Точність вимірювань – до 0,1 Гц і 1 ϕ . Єдиний застосунок у цій категорії, що дозволяє задати основний тон будь-якої з доступних температур. Як і в “CarlTune”, можна вибрати величину похибки настроювання, щонайменше в межах 4 ϕ . Версія для ОС “Android” є безкоштовною, версія для ОС “iOS” коштує \$1.99;

5) “Tuner - Pitched” (“Pitched Tuner”). Точність вимірювань – як у “Pano Tuner”. Має однаковий із першим застосунком мінімальний припуск відхилення частоти основного тону, який так само не можна змінити. Також обидва

дозволяють перемикаати настроювані тони не лише автоматично, а й у ручному режимі;

б) хроматичні тюнери зі стробоскопічною або фазовою індикацією:

1) “Airyware Tuner”. Пропонує точність до 0,1 Гц і 0,1 ϵ , стробоскопічну, водоспадну, обертональну та лінійну стрілкову індикацію, перегляд форми хвилі (осцилограф), фільтрацію навколишнього шуму, тон-генератор, вибір нотації, калібрування частоти камертона (ЧК, 300–600 Гц), калібрування під живий звук, підтримку зовнішнього мікрофона, підтримку понад 400 інструментів і понад 900 строїв, попередньо встановлені і налаштовувані температури, «підсолоджувачі» та розтягнені строї, відтворення темперованих нот (C0–B7), список обраного та систему запитів на функції. Щоб отримати повну версію, потрібно одноразово сплатити 124,99 грн;

2) “Strobe”/“iStroboSoft”. Перший мобільний тюнер зі стробоскопічною індикацією. Колір стробоскопа можна налаштувати. Тюнер забезпечує точність до 0,1 ϵ , підтримку багатьох інструментів, зовнішнього мікрофона, калібрування ЧК (340–540 Гц), а також 11 історичних температур і 76 «підсолоджувачів». Застосунок є платним – \$9.99 або 414,99 грн;

3) “Precise Strobe Tuner-StroboPro”. Пропонує реальну стробоскопічну індикацію, яка, за словами розробника, не є симуляцією, заснованою на швидкому перетворенні Фур’є, а також автоматичне виявлення висоти тону, інтелектуальну фільтрацію шуму і точне низькочастотне настроювання. Підтримує дев’ять інструментів із різними строями і дозволяє зберігати власні настроювання на хмарне сховище через преміум-акаунт (повний доступ за 84,99 грн/місяць, 469,99 грн/рік або одноразовий платіж 959,99 грн);

в) мобільні тюнери, як-от “Verituner”, “CyberTuner”, “Tunelab”, “PianoMeter” і “pianoscope”, позиціонуються як професійні рішення для настроювання фортепіано, які пропонують схожий між собою функціонал. Вони базуються на вимірюванні негармонічності струн для розрахунку настроювання під кожний окремий інструмент (індивідуальних кривих Рейлсбека), підтримують різні стилі настроювання (задання вагових коефіцієнтів інтервалів і збіжних обертонів та додаткового розтягнення), користувацькі зміщення частот, калібрування ЧК, пропонують перемикаання нот як без використання рук, так і в ручному режимі, відображення частини або повного спектра сигналу і зміщення його фази, тон-генератор та багато історичних температур. Окрім того, вони мають режим підвищення/пониження висоти тону з розрахунком перетягування струн. Також деякі з них дають змогу зберігати файли настроювань для повторного використання. Мінімальна заявлена точність вимірювань складає до 0,1 ϵ .

У табл. 1 наведено порівняльні характеристики розглянутого ПЗ, де літерні стовпці відповідають розглянутим тюнерам: А – “Tuner - gStrings”, Б – “CarlTune”, В – “Tuner & Metronome”, Г – “Pano Tuner”, Д – “Tuner - Pitched” (“Pitched Tuner”), Е – “Airyware Tuner”, Ж – “Strobe” (“iStroboSoft”), И – “Precise Strobe Tuner-StroboPro”, К – “Verituner”, Л – “CyberTuner”, М – “Tunelab”, Н – “PianoMeter”, П – “pianoscope”.

Таблиця 1. Порівняння програмних тюнерів

Характеристика	Програмний тюнер												
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И	К	Л	М	Н	П
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Настроювання виключно за основним тоном вхідного сигналу	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
Вимірювання негармонічності коливань струн інструмента	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+
Вибір музичних інструментів та відкритих строїв	+	+	–	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
Вибір різних типів темперації або «підсолоджувачів»	+	–	–	+	–	+	+	–	+	+	+	+	+
Вибір опорного тону темперації	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	+	+	–
Задання стилів настроювання	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+
Калібрування частоти камертона	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Транспонування строю	–	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
Калібрування пристрою до зовнішнього джерела тону певної частоти	–	–	–	–	–	–	+	–	+	+	+	+	+
Стрілкова індикація частоти основного тону вхідного сигналу	+	+	+	+	+	+	–	–	+	–	–	–	+
Стробоскопічна/фазова індикація частоти основного тону/обертонів	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+
Відтворення настроюваних нот/обертонів (електронний камертон)	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	+	–	+
Вибір нотації (позначення нот і знаків альтерації – дієзи/бемолі)	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	+	+
Автоматичне перемикування нот під час настроювання інструмента	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ручне перемикування нот під час настроювання інструмента	+	–	–	–	+	–	+	–	+	+	+	+	+
Зберігання файлів настроювань	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Метроном і його налаштування	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Величина припустимої похибки настроювання (толерантність), ¢	±5	±0	±10	±2	±5	±0	±0	±8	±0	±0	±0	±0	±0
Точність вимірювань частоти основного тону (шкала 1), ¢	5	1	1	1	1	0,1..1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,01
Точність вимірювань частоти основного тону (шкала 2), Гц	0,1..1	0,01	н/д	0,1	0,1	0,01..1	н/д	0,1	н/д	н/д	н/д	н/д	0,01
ОС: 1 – “Android”, 2 – “iOS”	1	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	2	1, 2	1, 2	2
Безкоштовна (пробна) версія	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–	+	+	+
Вартість повної версії застосунку (одноразова сплата), \$	10	–	–	2	–	5	10	19	800	1К	300	350	600

Висновки. Таким чином, можна спостерігати значний прогрес у розвитку засобів автоматизованого настроювання музичних інструментів. Рішення, призначені безпосередньо для настроювання фортепіано, з'явилися не одразу, а лише тоді, коли гостро постала потреба у засобах, що могли б полегшити працю майстрів-настроювачів та зробити процес настроювання більш ефективним і доступним.

Як бачимо, перша категорія тюнерів дійсно обмежується можливістю визначати висоту лише за основним тоном вхідного акустичного сигналу і забезпечує просту стрілкову індикацію, що не дозволяє отримати дуже високої точності. Тюнери зі стробоскопічною індикацією демонструють значно кращі результати завдяки більш чутливому відображенню відхилень частоти, однак вони, як і попередні, залишаються хроматичними та не враховують негармонічності струн (окрім “Airyware Tuner” і “Precise Strobe Tuner-StroboPro”, але вони надають лише усереднені криві Рейлсбека), що робить їх малопридатними для професійного настроювання струнних ударно-клавішних інструментів.

Сучасні фортепіанні тюнери істотно відрізняються від хроматичних, оскільки враховують специфіку конструкції і звучання цих інструментів. Загалом такі тюнери справляють враження достатньо розвинених та функціонально досконалих засобів, які, на перший погляд, вже здатні стабільно забезпечувати високий рівень настроювання інструментів різної якості за будь-яких умов. Водночас аналіз практичного досвіду настроювачів показав, що на практиці можливості таких тюнерів не завжди відповідають цим очікуванням [15].

Список використаних джерел

1. Сичков В. С. Аналіз предметної області програмного забезпечення для автоматизованого професійного настроювання акустичних струнних музичних інструментів. Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень : матеріали X Міжнарод. наук. конф., м. Луцьк, 26 груд. 2025 р. / Міжнарод. центр наук. досліджень. Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2025. С. 302–312. DOI: 10.62731/mcnd-26.12.2025.005.
2. Tuner - gStrings (by Cohortor.org). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.cohortor.gstrings> (date of access: 20.01.2026).
3. CarlTune - Chromatic Tuner (by Brainting). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.brainting.carltune> (date of access: 20.01.2026).
4. Tuner & Metronome (by Soundcorset tuner). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.soundcorset.client.android> (date of access: 20.01.2026).
5. Pano Tuner - Chromatic Tuner (by Kaleloft LLC). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.soundlim.panotuner> (date of access: 20.01.2026).
6. Tuner - Pitched (by Stonekick). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.stonekick.tuner> (date of access: 20.01.2026).
7. Airyware Tuner - strobe & more (by Airyware). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=airyware.tuner> (date of access: 20.01.2026).
8. Strobe (by Peterson Strobe Tuners). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.petersonstuners.strobe> (date of access: 20.01.2026).
9. Precise Strobe Tuner-StroboPro (by Applicaudia AB). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=se.applicaudia.strobopro> (date of access: 20.01.2026).

10. Verituner. Verituner | Professional Piano Tuning Technology. URL: <https://www.veritune.com/index.html> (date of access: 20.01.2026).
11. CyberTuner (by Reyburn Piano Service, Inc.). App Store. URL: <https://apps.apple.com/us/app/cybertuner/id490451741> (date of access: 20.01.2026).
12. TuneLab for Android, v3.1. TuneLab World. URL: <https://www.tunelab-world.com/at1.html> (date of access: 20.01.2026).
13. PianoMeter – Piano Tuner (by Willey Piano). Google Play. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.willeypianotuning.toneanalyzer> (date of access: 20.01.2026).
14. pianoscope – Piano Tuner (by Frank Illenberger). App Store. URL: <https://apps.apple.com/us/app/pianoscope-piano-tuner/id1529249459> (date of access: 20.01.2026).
15. Сичков В. С. Програмне забезпечення для автоматизованого професійного настроювання акустичних струнних музичних інструментів: експертний погляд. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2025. Том 36 (75) № 4. С. 273–278. DOI: 10.32782/2663-5941/2025.4.2/36.

ІННОВАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ТА КІБЕРБЕЗПЕЦІ

Юрченко Юрій

старший викладач

Чорнокнижний Ростислав

здобувач

Факультет інформаційних технологій

Державний торговельно-економічний університет, Україна

Анотація. У тезах розглянуто сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій та кібербезпеки в умовах цифрової трансформації суспільства.

Сучасний світ перебуває у стані постійного технологічного розвитку, де інформаційні технології відіграють ключову роль у формуванні економіки, науки та безпеки. Цифровізація процесів зумовлює зростання залежності від інформаційних систем, що, у свою чергу, підвищує актуальність питань кібербезпеки.

Одним із провідних напрямів розвитку є використання хмарних технологій, штучного інтелекту та великих даних. Дані технології забезпечують ефективну обробку інформації, проте створюють нові вектори кібератак.

Кібербезпека стає невід'ємною складовою державної та корпоративної політики. Захист інформаційних ресурсів, розробка безпечних архітектур та навчання фахівців є пріоритетними завданнями сучасної науки.