


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів
УДК 615.837:615.47**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 **Наталія СТЕЛЬМАХ**
«08» серпня 2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи
та технології в приладобудуванні»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані
технології»**

на тему: «Автоматизований ультразвуковий терапевтичний апарат»,

Виконав:

студент IV курсу, групи ПБз-11

Гульнев Віталій Андрійович



Керівник:

доцент, к.т.н., доцент

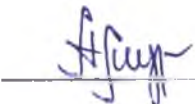
Терещенко Микола Федорович



Рецензент:

доцент, к.т.н.,

Муравйов Олександр Володимирович



Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент




Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультету

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Наталія СТЕЛЬМАХ

«01» Квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студента

Гульнева Віталія Андрійовича

1. Тема проєкту «Автоматизований ультразвуковий терапевтичний апарат», керівник проєкту Терещенко Микола Федорович, доцент, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «_28_» травня_2025 р. №1791-с____
2. Подання студентом проєкту 01 червня 2025 року.
3. Вихідні дані до проєкту: Частота ультразвукових коливань – 22 кГц± 0,05%, 44 кГц± 0,05%, 880 кГц± 0,03%. Площа випромінювачів 1 см² та 3 см². Інтенсивність: (0,01-2,0)Вт/см² ±20%. Режим: неперервний та імпульсний. Тривалість імпульсу (1,10, 20) мс. Потужність споживання 80В•А. Напруга живлення -220В±10% і 50Гц±2%.
4. Зміст пояснювальної записки
 1. **Конструкторська частина:** Параметри та характеристики ультразвукових коливань. Цільовий пошук джерел інтелектуальної власності. Класифікація апаратів та систем ультразвукової терапії. Узагальнена функціонально-структурна схема автоматизованого ультразвукового терапевтичного апарату (АУТА). Алгоритми роботи АУТА. Мікропроцесорні засоби автоматизації керування роботою апаратом. Розрахунок параметрів акустичного тракту ультразвукового випромінювача та електричної схеми блоку апарату.
Технологічна частина: Розрахунок на технологічність. Розробка структурної схеми складання АУТА. Розробка технологічної схеми складання автоматизованого ультразвукового терапевтичного апарату. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу: Порівняльна схема фізико-біологічного впливу ультразвуку на біологічні тканини. Узагальнена класифікація методів, діючих систем та апаратів ультразвукової терапії. Загальна функціонально-структурна схема апарату. Алгоритми керування роботою АУТА. Електрична схема. Складальне креслення датчика. Загальний вигляд апарату. Деталювання. Структурна схема складання. Технологічна схема складання.

6. Дата видачі завдання «_01_» __квітня_ 2025 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Загальний аналіз та оцінка впливу на біологічну тканину ультразвуку	01 квітня - 06 квітня 2025 р.	визначено
2	Цільовий пошук джерел інтелектуальної власності	07 квітня - 13 квітня 2025 р.	визначено
3	Системи, методи та апарати ультразвукової терапії	14 квітня - 30 квітня 2025 р.	визначено
4	Розробка конструкції ультразвукової терапевтичного апарату. Креслення	01 травня - 04 травня 2024 р.	визначено
5	Розрахунок параметрів та оцінка параметрів ультразвуку та акустичного тракту	06 травня - 11 травня 2025 р.	виконано
6	Розрахунок елементів та параметрів електричних схем	12 травня - 19 травня 2025 р.	визначено
7	Проведення технологічних розрахунків	19 травня - 23 травня 2025 р.	визначено
8	Розробка ТСС та ССС	24 травня - 26 травня 2025 р.	визначено
9	Розробка алгоритмів автоматизації роботи Впровадження.	27 травня - 31 травня 2025 р.	визначено
10	Оформлення та написання ПЗ та представлення диплому до захисту	01 червня 2025 р.	визначено

Студент

Керівник

Віталій ГУЛЬНЕВ

Микола ТЕРЕЩЕНКО

Анотація

Темою бакалаврського дипломного проєкту є «**Автоматизований ультразвуковий терапевтичний апарат**».

Загальний обсяг роботи складає 92 сторінки, містить 15 ілюстрацій, 12 таблиць, 35 формул та 68 опрацьованих джерел літератури.

Проєкт поділений на два основні розділи — конструкторський і технологічний. У кожному з них подано висновки, а також сформульовані загальні підсумки. Додатково подано список використаних джерел і графічну частину (додаток А).

Метою дипломного проєкту є створення автоматизованого ультразвукового терапевтичного апарата та удосконалення його складових. Зокрема, увагу зосереджено на автоматизації контролю температурного режиму під час роботи пристрою та його випромінювачів.

У межах проєкту проведено аналіз застосування ультразвуку в терапевтичних цілях, розглянуто існуючі апарати, виконано їх класифікацію, а також здійснено розрахунки акустичного тракту й електричної схеми. Окремо проаналізовано технологічність конструкції та точність складання.

Графічна частина включає складальний кресленик, специфікацію, структурну схему складання (ССС), технологічну схему складання (ТСС), структурно-функціональну схему, принципову електричну схему та алгоритм роботи розробленого апарата.

Ключові слова: ультразвук, терапія, автоматизований апарат, акустичний тракт, ультразвуковий датчик.

Annotation

The subject of this bachelor's diploma project is " Automated ultrasound therapeutic device". The project consists of 88 pages, containing 15 illustrations, 12 tables, 35 formulas, and 67 references to processed literature.

The project is divided into two main chapters: one focused on construction and the other on technology. A conclusion is provided at the end of each chapter, with a general conclusion included at the end of the diploma. Additionally, the list of literature sources used and the graphic chapter can be found in Annex A.

The primary objective of this diploma project is to create an automatic ultrasound therapy machine and to improve its components. Specifically, the project emphasizes the automation of temperature regulation during the operation of the machine and its oscillators, as well as enabling the machine to function wirelessly without a stationary power source.

Within the framework of the project, the therapeutic use of ultrasound is analyzed, existing devices are reviewed and classified, and calculations related to the acoustic pathway and electrical circuit are performed. The manufacturability of the design and the accuracy of the assembly are also examined in detail.

The graphic section includes an assembly drawing, a specification, a structural assembly diagram (SDS), a technological assembly diagram (TSD), a structural and functional diagram, a schematic electrical diagram, and the operating algorithm of the developed device.

Keywords: ultrasound, therapy, automated device, acoustic tract, ultrasound sensor.

Конструкторський розділ.....	10
1.1. Вступ	11
1.2. Ультразвукова терапія. Принципи та методи	12
1.3. Будова шкіри та її функції	14
1.4. Вплив ультразвуку на організм і його терапевтичне значення	17
1.5. Різновиди низькочастотного ультразвукового впливу.....	18
1.6. Класифікація апаратів та систем ультразвукової терапії.....	22
1.7. Методика застосування ультразвукової терапії.....	25
1.8. Терапевтична ефективність ультразвуку	27
1.9. Ультразвукова терапія: показання та протипоказання.....	31
1.10. Особливі методики ультразвукової терапії	32
1.11. Актуальність ультразвукової терапії в реабілітації військовослужбовців	35
1.12. Дослідження та аналіз патентів і винаходів у сфері ультразвукової терапії.....	36
1.13. Здійснення аналізу та огляду сучасних ультразвукових терапевтичних пристроїв	40
1.14. Базовий пристрій для розробки.....	53
1.14.1. Розробка структурно-функціональної схеми апарату УЗТ.....	54
1.14.2. Розроблення та конструювання електричної схеми апарата.....	56
1.14.3. Розробка алгоритм роботи блоку керування апарату	57
1.15. Обчислення параметрів електричної схеми АУТА	58
1.15.1. Визначення характеристик стабілізатора напруги в електричній схемі АУТА.....	58
1.16. Розрахунок характеристик акустичного тракту.....	59
1.16.1. Розрахунок імпедансу.....	63
1.16.2. Розрахунок коефіцієнту проходження по інтенсивності	64
1.16.3. Розрахунок геометричних розмірів п'єзоелемента.....	65
1.16.4. Розрахунок коефіцієнту послаблення акустичного тракту	67
Висновок до конструкторського розділу	75

Технологічний розділ	76
2.1. Аналіз технологічності спроектованого апарату.....	77
2.1.1. Опис конструкції автоматизованого апарату ультразвукової терапії.....	77
2.1.2. Розрахунок технологічності спроектованого апарату.....	78
2.2. Розробка технологічного процесу збірки АУТА.....	82
2.2.1. Розробка структурної схеми складання.....	82
2.2.2. Розробка технологічної схеми складання.....	83
2.2.3. Розрахунок точності складання.....	84
2.3. Розробка методики контролю та випробування апарату.....	87
2.4. Алгоритм технічного обслуговування АУТА.....	88
Висновок до технологічного розділу	90
Висновок по дипломному проєкті	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	93
Додаток А.....	103
Додаток Б.....	

Вступ

На сьогоднішній день ультразвукова терапія є одним із найбільш розповсюджених і дуже ефективним методом що використовуються в фізіотерапії, а також реабілітаційних відділеннях та косметологічних центрах. Метод базується на використанні високочастотних звукових хвиль для лікування широкого спектра захворювань. Завдяки своїм механічним, тепловим та фізико-хімічним ефектам, ультразвук сприяє активації мікроциркуляції, стимуляції регенеративних процесів, зменшенню запалення та полегшенню больового синдрому[1, 7].

Ефективність ультразвукової терапії значною мірою залежить від точного налаштування параметрів впливу, таких як інтенсивність, частота, тривалість, площа опромінення, а також режим проведення процедури (безперервний або імпульсний, контактний або через водне середовище). Неправильне встановлення цих параметрів може призвести до недостатнього терапевтичного ефекту або навіть до ушкодження тканин. [2, 4]

Мета цього дипломного проєкту - створення автоматизованого ультразвукового терапевтичного апарата, який забезпечує точне налаштування та контроль параметрів впливу, адаптацію до індивідуальних потреб пацієнта та інтеграцію з сучасними інформаційними системами для моніторингу та аналізу ефективності лікування. Запропонований апарат також передбачає можливість фонофорезу — введення лікарських препаратів за допомогою ультразвуку, що розширює спектр його застосування в клінічній практиці.[3, 17]

Конструкторський розділ

1.1. Вступ

Ультразвукова терапія є не лише важливим, але й відомим методом лікування, що широко застосовується у медичній практиці, косметології та реабілітації. Цей метод дозволяє лікувати різноманітні захворювання та становить важливу складову сучасної медицини. Його популярність зростає завдяки його ефективності та безпечності, а також можливості застосування в різних галузях медичної практики, від лікування захворювань шкіри та суглобів до розчинення каменів у жовчному міхурі та нирках.

Проте, для досягнення максимального ефекту терапії важливо забезпечити точність контролю параметрів ультразвукових хвиль. Саме тому виникає потреба у вдосконаленні та автоматизації цього процесу. Застосування сучасних технологій та розробка нових пристроїв дозволяє підвищити якість та ефективність ультразвукової терапії, знизити час проведення процедур та покращити комфорт пацієнтів.

Одним із напрямків розвитку ультразвукової терапії є розробка автоматизованих систем, які забезпечують точний контроль параметрів ультразвукових хвиль та оптимальні умови для проведення процедур. Це дозволяє максимально використовувати потенціал ультразвукової терапії і покращити результати лікування. [4, 9]

Паралельно з розвитком технологій у сфері медичного обладнання зростає інтерес до досліджень у галузі фізики, біології та медицини, що сприяє вдосконаленню методів ультразвукової терапії. Сучасні дослідження дають можливість краще зрозуміти механізми дії ультразвуку на організм людини та розробляти нові методи та пристрої, які дозволять забезпечити ще більш ефективно та безпечно лікування.

Таким чином, ультразвукова терапія залишається актуальним напрямком сучасної медицини, а його подальший розвиток та вдосконалення створюють нові передумови для покращення якості життя пацієнтів та поліпшення результатів лікування.

1.2. Ультразвукова терапія: принципи та методи

Ультразвук, як фізичне явище, відомий людству вже давно, проте його активне застосування у наукових та технічних сферах почалося відносно недавно. Сьогодні ультразвук є незамінним інструментом у медицині, промисловості, косметології та багатьох інших галузях. Ультразвукові хвилі з частотою від 20 до 3000 кГц, в залежності від їхньої інтенсивності та конкретного застосування, можуть проникати в тканини організму на глибину до 5 сантиметрів, надаючи терапевтичний вплив на клітинному рівні. Ці хвилі забезпечують мікромасаж тканин, що сприяє прискоренню біохімічних реакцій, поліпшенню мікроциркуляції і мають протинабряковий та знеболювальний ефект. [5]

У медичній практиці ультразвукова терапія застосовується для лікування широкого спектру захворювань, таких як артроз, остеохондроз, травми суглобів, радикуліт, виразкова хвороба, хронічний бронхіт, мастит, гайморит, синусит та багато інших. Завдяки мікровібраціям, створеним ультразвуковими хвилями на клітинному рівні, спостерігається посилення розчинення та зростання проникності клітинних мембран, що сприяє покращенню дифузії молекул та іонів у клітини, прискорюючи таким чином процеси регенерації та одужання. [6]

Високочастотний ультразвук, з частотою понад 80 кГц, активно використовується в медичній візуалізації для обстеження внутрішніх органів. Ця технологія дозволяє отримувати високоякісні зображення, що допомагають лікарям діагностувати різні захворювання на ранніх етапах, що є надзвичайно важливим для досягнення позитивного результату терапії. Низькочастотний ультразвук (від 16 до 80 кГц) застосовується для санації інфекційних вогнищ, обробки ран та деструкції нежиттєздатних тканин. Цей метод має виражену бактерицидну дію, руйнуючи бактеріальні плівки та підвищуючи чутливість мікроорганізмів до антибіотиків. Ефективність низькочастотного ультразвуку пояснюється явищем кавітації, при якому в рідинах утворюються мікроскопічні бульбашки газу або пару, що механічно впливають на бактерії, віруси і гриби [10].

Ультразвукова терапія також стала дуже популярною у сфері естетичної медицини. Вона використовується для корекції естетичних недоліків, таких як целюліт, розтяжки, рубці та інші проблеми шкіри. Найкращі результати досягаються при лікуванні на ранніх стадіях, у поєднанні з іншими методами, такими як озонотерапія, мезотерапія, обгортання та вакуумний масаж. Процедури з використанням ультразвуку створюють комфортні відчуття для пацієнтів, нагадуючи легкий масаж, і забезпечують ефективний терапевтичний вплив без значних побічних ефектів. [8]

Вплив ультразвуку не обмежується лише механічними коливаннями. Він також сприяє фізико-хімічним і нейрорефлекторним змінам в організмі, що призводить до значного протизапального ефекту. Ультразвук стимулює вироблення колагену, сприяє швидкому дозріванню сполучної тканини та утворенню еластичних рубців. Поєднана дія ультразвуку та лікарських речовин дозволяє досягти лікувального ефекту при значно менших дозах медикаментів та уникнути побічних реакцій, характерних для інших методів медикаментозного лікування.

Попри значний прогрес у дослідженні ультразвукової терапії, наукові дані про вплив ультразвукової кавітації на гнійні рани в акушерстві та гінекології залишаються обмеженими. Також необхідно подальше вивчення впливу низькочастотного ультразвуку на загоєння післяпологових ран та ран передньої черевної стінки. Однак сучасні дослідження підтверджують, що ультразвук стимулює вироблення колагену, сприяє швидкому дозріванню сполучної тканини та утворенню еластичних рубців. Поєднання ультразвуку з лікарськими речовинами дозволяє досягти терапевтичного ефекту при значно менших дозах ліків, уникаючи побічних реакцій, які характерні для інших методів медикаментозного лікування [11].

Крім того, ультразвукові методи обробки знаходять застосування в промисловості. Вони використовуються для контролю якості матеріалів, зварювання пластмас, очищення різних поверхонь, а також у виробництві електроніки. Ультразвукові хвилі здатні ефективно видаляти забруднення,

окси і навіть бактерії з поверхонь, що робить їх незамінними в процесах, де потрібна висока чистота [12].

Отже, ультразвук є багатофункціональним інструментом з широким спектром застосувань у різних галузях. Його унікальні властивості забезпечують високий рівень ефективності та безпеки у медичних, промислових та естетичних процедурах. Подальші дослідження та розробки в цій області обіцяють нові відкриття та вдосконалення існуючих методів, що зробить ультразвук ще більш важливим і корисним інструментом у нашому житті.

1.3. Будова шкіри та її функції

Шкіра — це зовнішня оболонка тіла тварин, що виконує численні важливі функції. Вона слугує бар'єром проти зовнішніх факторів, водночас беручи участь у процесах дихання, регуляції температури, обміну речовин та інших ключових функціях організму [13]. Крім того, шкіра є величезним рецепторним полем для різних видів чутливості, що робить її незамінною частиною організму.

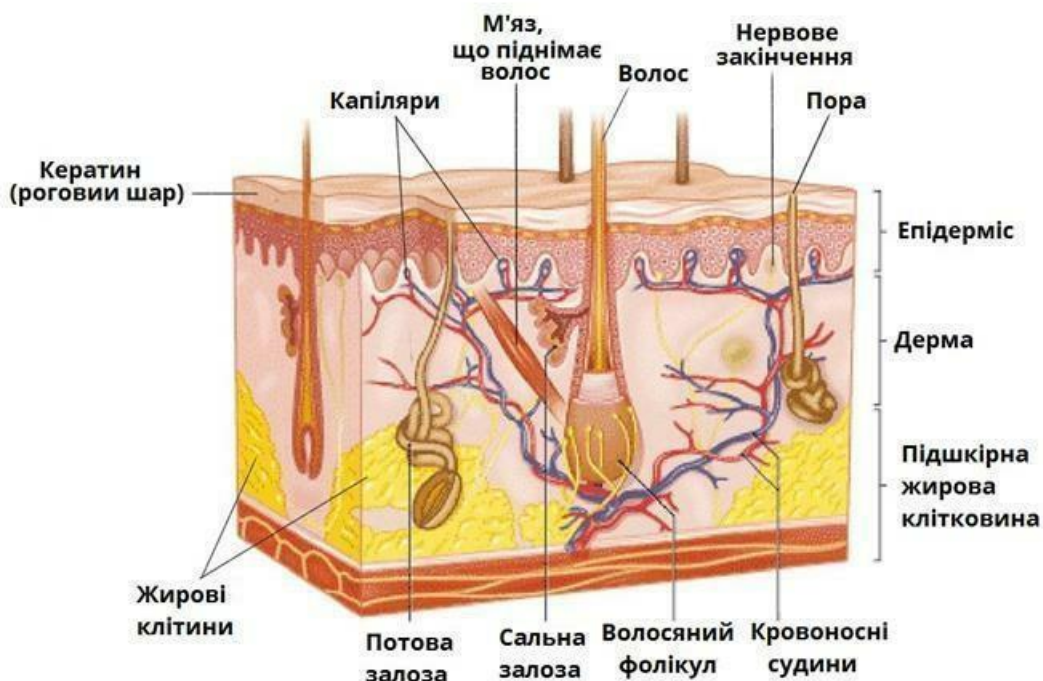


Рис. 1.1. Схематичний розріз шкіри.

Структура шкіри

У структурі шкіри виділяють три головні шари: епідерміс, дерму й гіподерму (підшкірно-жирову клітковину).

Епідерміс:

Базальний шар – це найглибший шар епідермісу, розташований безпосередньо на базальній мембрані. Він складається з одного ряду видовжених епітеліальних клітин і відповідає за постійне оновлення клітин шкіри. [17]

Шипуватий шар – знаходиться вище базального та утворений 3–8 рядами клітин із численними відростками, які з'єднуються між собою, створюючи характерну шипувату структуру.

Зернистий шар – складається з 1–5 рядів сплюснених клітин, у яких містяться гранули кератогіаліну. Ці структури беруть участь у формуванні рогового шару.

Блискучий шар – представлений 2–4 шарами клітин без ядер, переважно виражений на поверхнях долонь і підошов. Він виконує захисну функцію, підвищуючи стійкість шкіри до механічних навантажень.

Роговий шар – це зовнішній, повністю зроговілий епітеліальний шар, який утворює бар'єр проти зовнішніх впливів і запобігає втраті вологи.

У складі епідермісу також є **меланін** — пігмент, що визначає забарвлення шкіри та захищає її від дії ультрафіолетового випромінювання, забезпечуючи ефект засмаги.

Дерма:

Сосочковий шар – поверхнева частина дерми, яка утворює вирости (сосочки), що містять дрібні судини та нервові закінчення. Відповідає за живлення епідермісу та сприйняття подразнень.

Сітчастий шар – глибока частина дерми, що містить кровоносні та лімфатичні судини, нервові закінчення, волосяні цибулини, а також сальні й

потові залози. У цьому шарі також розташовані колагенові й еластичні волокна, які відповідають за еластичність і міцність шкірного покриву.

Підшкірно-жирова клітковина (гіподерма). Цей шар складається з жирової та сполучної тканини, що пронизані кровоносними судинами й нервами. Він виконує амортизувальну функцію, зберігає енергію у вигляді жиру, бере участь у терморегуляції та слугує додатковим захистом для внутрішніх органів.

До утворень, що походять від шкіри, належать:

Сальні залози – продукують шкірне сало, яке зволожує шкіру та волосся, зберігає їх еластичність і перешкоджає пересиханню та інфікуванню.

Потові залози – виводять піт, що складається з води та продуктів обміну. Його випаровування охолоджує тіло та сприяє терморегуляції. [18]

Молочні залози – спеціалізовані залози у жінок, що виробляють молоко для годування новонароджених.

Функції шкіри

Шкіра виконує багато важливих функцій, які забезпечують життєдіяльність організму:

- **Захисна (бар'єрна) функція.** Захищає організм від механічних ушкоджень, хімічних впливів, ультрафіолетового випромінювання, проникнення мікробів, а також від втрати та поглинання води.
- **Терморегуляторна функція.** Регулює температуру тіла за рахунок випромінювання тепла і випаровування поту.
- **Водно-сольовий обмін.** Підтримує баланс води і солей в організмі завдяки процесам потовиділення.
- **Екскреторна функція.** Виводить з потом продукти обміну речовин, солі і токсини.
- **Депонування крові.** В судинах шкіри може знаходитися до 1 літра крові, що забезпечує її збереження і використання в разі потреби.

- **Ендокринна і метаболічна функція.** Синтезує і накопичує вітамін D, а також гормони, які регулюють різні процеси в організмі.
- **Дихальна функція.** Через шкіру засвоюється близько 1-2 % кисню, що забезпечує додаткове дихання організму.
- **Рецепторна функція.** Завдяки наявності численних нервових закінчень, шкіра сприймає різні види стимулів — тактильні, больові, температурні. [19]
- **Імунна функція.** Шкіра захоплює, обробляє та транспортує антигени, що сприяє розвитку імунної відповіді на інфекції та інші зовнішні загрози.

Таким чином, шкіра є багатофункціональним органом, що забезпечує захист, регуляцію і підтримку гомеостазу організму. Її складна будова і різноманітні функції роблять її незамінною для життєдіяльності людини та тварин, а також для підтримання їх здоров'я і добробуту [14-16].

1.4. Вплив ультразвуку на організм і його терапевтичне значення

Ультразвук діє на організм завдяки механічному, фізико-хімічному впливу та незначному тепловому ефекту.

Механічна дія ультразвуку, зумовлена змінним звуковим тиском, спричиняє мікровібрації та своєрідний «мікромасаж» тканин. Це впливає на функціональний стан клітин: зростає проникність мембран, активізуються осмотичні й дифузійні процеси, змінюється кислотно-лужний баланс, а також положення внутрішньоклітинних структур на субмікроскопічному рівні [17-19].

Фізико-хімічні ефекти ультразвуку проявляються через структурні зміни в молекулярних комплексах клітин. Внаслідок цього посилюються окисно-відновні реакції, активуються ферменти, підвищується мітотична активність, а в тканинах утворюються біологічно активні речовини, такі як гепарин, гістамін і серотонін.

Тепловий ефект ультразвуку виникає через перетворення механічної енергії в тепло та прискорення біохімічних процесів. Утворене тепло

розподіляється нерівномірно, особливо в щільних тканинах і поверхневих

шарах. Підвищення температури сприяє розширенню судин, покращенню мікроциркуляції та активації обміну речовин, що забезпечує протизапальний і розсмоктувальний ефект. [21]

Терапевтична дія ультразвукових хвиль має комплексний характер і викликає як місцеві, так і загальні реакції організму, що розвиваються поступово та зберігаються протягом тривалого часу після процедури.

За умови правильного дозування ультразвук може чинити заспокійливу, протизапальну, спазмолітичну, розсмоктувальну та фібринолітичну дію. Він також сприяє прискоренню процесів загоєння та відновлення тканин, підвищує збудливість нервово-м'язового апарату, покращує провідність імпульсів у периферичних нервах, активізує передачу сигналів у симпатичних гангліях та покращує трофіку тканин. [22]

1.5. Різновиди низькочастотного ультразвукового впливу

Сучасна медицина активно застосовує ультразвукові технології, які охоплюють різноманітні методи діагностики й терапії. Залежно від використовуваного обладнання та обраних методик, ультразвуковий вплив може здійснюватися у двох основних формах: контактній та безконтактній.

Контактний ультразвуковий вплив (з передачею коливань). Цей метод передбачає прямий вплив ультразвукових коливань на тканини за допомогою спеціального інструмента або через проміжне середовище, наприклад, рідину. Його часто застосовують для очищення гнійних ран від некротичних тканин і фібринового нальоту, а також для промивання порожнин із лікувальними розчинами. Завдяки контактному способу можна ефективно видаляти пошкоджені тканини, що сприяє прискоренню загоєння та зменшенню ризику ускладнень. Інструмент при цьому безпосередньо передає ультразвук у зону обробки, що забезпечує високу результативність процедури [23].

Безконтактний ультразвуковий вплив (без прямої передачі коливань). У цьому методі дія на тканини здійснюється через струмінь рідини, насиченої кавітованими бульбашками, без безпосереднього контакту ультразвукових

хвиль з поверхнею тканин. Основу методу становить використання спеціального розчину, до складу якого входять активні речовини, зокрема перекис водню, а також іони водню й кисню. Під дією ультразвукових коливань у рідині формуються кавітовані бульбашки, що створюють мікрозони з високою енергією.

Такий підхід застосовується для локальної обробки запалених ділянок. Пристрої для безконтактної дії розміщують на відстані 2–10 см від тканини, через них подається тонкий струмінь рідини з великою кількістю кавітаційних бульбашок [24]. Активні компоненти в цьому струмені мають потужний антисептичний ефект, що забезпечує ефективну дезінфекцію уражених зон.

Механізми дії низькочастотного ультразвуку

Кавітаційне барботування — це спосіб перемішування рідини в порожнинах за рахунок дії швидкорухомих кавітованих бульбашок. Цей метод формує велику площу контакту між рідиною та стінками порожнини, що сприяє інтенсифікації фізико-хімічних реакцій і обмінних процесів. [25]

Розщеплення молекул води. Під впливом ультразвуку відбувається розщеплення молекул води з утворенням перекису водню та нестійких вільних радикалів, зокрема іонів водню й кисню. Ці активні сполуки мають виражені бактерицидні властивості, що сприяє знищенню хвороботворних мікроорганізмів у рановій поверхні.

Тепловий ефект. Ультразвукові коливання можуть створювати тепловий ефект, перетворюючи механічну енергію в тепло. [26] При низькій потужності ультразвукового генератора це призводить до розширення судин у мікроциркуляторному руслі, покращуючи кровообіг. На високих потужностях можливе коагулювання тканин, що застосовується для зупинки кровотечі.

Кавітація. Це основний процес у використанні ультразвуку. Вона включає утворення мікробульбашок у рідині, заповнених газом або парою. Коли ці бульбашки схлопуються на поверхні тканини, вони створюють мікроскопічні ударні хвилі, які руйнують бактерії, очищують рани та здійснюють мікромасаж прилеглих тканин.

Фрагментація. Передбачає дезінтеграцію тканин та зміну їх структури, що дозволяє переводити тканини в колоїдний стан. Це допомагає очистити рану від некротичних мас, фібринових накладень та кров'яних згустків.

Біологічні ефекти низькочастотного ультразвуку

Бактерицидний ефект. Основним механізмом бактерицидної дії ультразвуку є кавітація, яка викликає теплове і механічне пошкодження бактеріальних клітин. Додатково ультразвук активує вільно-радикальне окислення та змінює проникність клітинних мембран, що посилює його антибактеріальну дію. [27]

Фонофоретичний ефект. Фонофорез дозволяє вводити лікарські речовини глибоко в тканини за допомогою ультразвукових хвиль. Глибина проникнення залежить від стану тканини, виду ультразвукових хвиль, їх експозиції та потужності. Низькочастотний ультразвук може забезпечувати проникнення антибіотиків у тканини на глибину до 9 мм.

Протизапальний ефект. Пояснюється зменшенням росту мікрофлори, швидким очищенням рани та нормалізацією мікроциркуляції у вогнищі запалення. Ультразвук знижує набряк, біль і покращує загальний стан тканин [28].

Стимулюючий ефект. Низькочастотний ультразвук стимулює функціональну активність сполучних клітин, активуючи синтез протеїнів фібробластами і факторів росту макрофагами. Це сприяє відновленню тканин і покращує процеси регенерації.

Вплив на мікроциркуляцію. Ультразвук викликає розширення кровоносних судин, збільшуючи регіонарний кровоток у 2-3 рази. Це сприяє поліпшенню мікроциркуляції та розвитку колатерального кровотоку, що є важливим для загоєння ран та відновлення тканин.

Деструктивний ефект. Селективний деструктивний режим ультразвуку використовується для некректомії. Завдяки кавітації і механічному видаленню нежиттєздатних тканин ультразвуковий інструмент дозволяє провести щадну некректомію з мінімальною інвазивністю. [29]

Клінічні застосування

Завдяки різноманітним клінічним ефектам, низькочастотний ультразвук успішно використовується при лікуванні інфекцій, патологій ЛОР-органів, в урології, гінекології та абдомінальній хірургії. Його унікальні властивості дозволяють ефективно вирішувати широкий спектр медичних завдань.

Лікування інфекцій. Ультразвук сприяє ефективному знищенню патогенних мікроорганізмів, покращуючи результати лікування інфекційних захворювань. Він також дозволяє вводити антибіотики глибоко в тканини, що підвищує їх ефективність і зменшує ризик розвитку резистентності [30].

Патології ЛОР-органів. Ультразвук широко застосовується в оториноларингології для лікування запальних процесів і видалення гнійних утворень. Він сприяє покращенню мікроциркуляції і стимулює процеси регенерації, що дозволяє швидше відновити функціональність органів.

Урологія і гінекологія. У урології та гінекології ультразвук використовується для лікування запальних процесів, видалення каменів і інших утворень. Його здатність проникати глибоко в тканини і стимулювати процеси відновлення робить його незамінним інструментом у цих галузях медицини [31].

Абдомінальна хірургія. У абдомінальній хірургії ультразвук використовується для очищення ран і видалення некротичних тканин. Він сприяє швидкому загоєнню і зменшенню ризику ускладнень, що значно покращує результати хірургічного лікування.

Таким чином, низькочастотний ультразвук є потужним і універсальним інструментом у сучасній медицині, що дозволяє ефективно вирішувати широкий спектр клінічних завдань. Його використання значно покращує результати лікування і сприяє швидшому відновленню пацієнтів, роблячи його незамінним у багатьох галузях медицини [32].

1.6. Класифікація апаратів та систем ультразвукової терапії

Класифікація апаратів та систем ультразвукової терапії охоплює різноманітні пристрої, які використовуються для лікування захворювань та патологічних станів за допомогою ультразвукових хвиль. Ультразвукова терапія — це метод фізіотерапії, який базується на використанні механічних коливань високої частоти (понад 20 кГц), що спричиняють біологічні ефекти в тканинах, такі як мікромасаж, тепловий ефект, стимуляція регенерації [33].

Загальна класифікація ультразвукових терапевтичних апаратів:

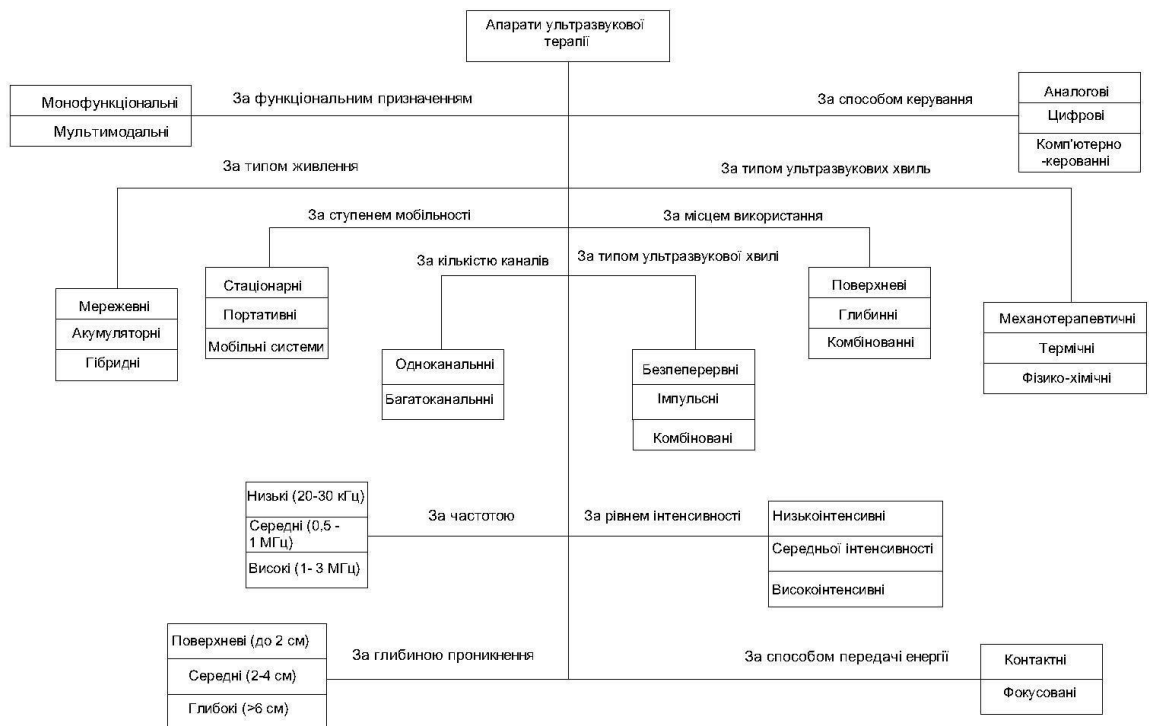


Рис. 1.2. Класифікація апаратів ультразвукової терапії

За типом ультразвукової хвилі:

1. Безперервні апарати. Генерують ультразвук постійно. Характерні значним тепловим ефектом.

2. Імпульсні апарати. Генерують серії імпульсів ультразвуку. Менш виражений тепловий ефект, переважає мікромасаж і стимуляція обмінних процесів.

3. Комбіновані апарати. Дозволяють перемикати режими між імпульсним та безперервним.

За частотою ультразвуку:

1. Низькочастотні (20–100 кГц). Використовуються рідше, мають велику глибину проникнення.

2. Середньочастотні (0,5–1,0 МГц). Переважно для лікування глибоко розташованих тканин.

3. Високочастотні (1–3 МГц). Використовуються для впливу на поверхневі тканини.

За способом передачі енергії:

1. Контактні. Передача ультразвуку через контактний гель або воду (класичний варіант).

2. Неконтактні (фокусовані). спеціальні технології для безконтактного проникнення хвиль.

За рівнем інтенсивності:

1. Низькоінтенсивні (до 1 Вт/см²). Для терапевтичного застосування.

2. Середньої інтенсивності (1–3 Вт/см²). Для терапії глибоких структур.

3. Високоінтенсивні (HIFU) (>3 Вт/см²). Використовуються для деструкції тканин, у тому числі в онкології.

За ступенем мобільності:

1. Стационарні апарати. Великі, багатофункціональні пристрої, встановлені в клініках.

2. Портативні апарати. Невеликі пристрої для клінічного або домашнього використання.

3. Мобільні системи. Проміжний варіант з транспортними кейсами для виїзних процедур.

За функціональним призначенням:

1. Монофункціональні апарати. Тільки ультразвукова терапія.

2. Мультиmodalьні системи. Поєднання ультразвуку з електростимуляцією, магнітотерапією, лазеротерапією тощо.

За способом керування:

1. Аналогові. Керування параметрами здійснюється вручну механічними регуляторами.

2. Цифрові. Налаштування параметрів відбувається за допомогою цифрових інтерфейсів.

3. Комп'ютерно-керовані. Контроль і керування виконуються через комп'ютер або мікропроцесорну систему.

За наявністю регулювання потужності УЗ:

1. Змінні. Мають можливість регулювання вихідної потужності.

2. Фіксовані. Потужність задається на заводі й не змінюється.

За типом живлення:

1. Мережевні. Працюють тільки від електромережі.

2. Акумуляторні. Автономні, працюють від акумуляторів.

3. Гібридні. Підтримують як мережеве, так і автономне живлення.

За місцем використання:

1. Поверхневі. Застосовуються для терапії тканин на невеликій глибині.

2. Глибинні. Здатні проникати у глибокі шари тканин.

3. Комбіновані. Мають можливість регулювати глибину впливу.

За типом ультразвукових хвиль:

1. Механотерапевтичні. Забезпечують мікромасаж тканин.

2. Термічні. Генерують тепло для місцевого прогрівання.

3. Фізико-Хімічні. Стимулюють біохімічні процеси в тканинах.

За кількістю каналів:

1. Одноканальні. Мають один вихід для підключення випромінювача.

2. Багатоканальні. Дозволяють одночасну терапію на кількох ділянках.

За глибиною проникнення:

1. Поверхневі. До 2 см.

2. Середні. 2–5 см.

3. Глибокі. Понад 5 см.

Спеціалізовані види апаратів ультразвукової терапії:

1. Апаратно-програмні комплекси з візуалізацією (HIFU).

Використовуються в онкології та хірургії для неінвазивної абляції тканин. Оснащені ультразвуковими або МРТ-навігаційними системами.

2. Системи для фонофорезу. Поєднують ультразвук із введенням лікарських препаратів через шкіру. Популярні в дерматології, косметології, спортивній медицині.

3. Системи для ударно-хвильової терапії (ESWT). Технічно близькі, але фізично відрізняються від класичного УЗ. Генерують ударні імпульси, застосовуються при хронічному болю, тендопатіях, урології.

Класифікація апаратів ультразвукової терапії охоплює широкий спектр характеристик: тип хвиль, режими роботи, частоти, рівні інтенсивності, призначення та мобільність. Завдяки розвитку технологій, сучасні УЗ-системи можуть поєднувати діагностику та лікування, бути надзвичайно точними та адаптивними. Вибір апарату залежить від клінічних завдань, необхідної глибини проникнення, характеру патології та умов застосування (клініка чи домашнє використання).

1.8. Методика застосування ультразвукової терапії

Ультразвукова терапія є ефективним методом лікування, який базується на специфічній взаємодії ультразвуку з біологічними тканинами. Перевагою цього методу є його безпечність та низький ризик ускладнень.



Рис. 1.3. Методика застосування ультразвукової терапії.[34].

У фізіотерапії ультразвукові коливання використовуються з частотою від 800 до 3000 кГц, тоді як у ультразвуковій хірургії застосовуються частоти в діапазоні від 20 до 100 кГц. Для досягнення найкращого результату враховують інтенсивність ультразвуку, тривалість процедури та режим генерації (безперервний або імпульсний). Ультразвукова інтенсивність до 0,4 Вт/см² вважається низькою, від 0,5 до 0,8 Вт/см² — середньою, а 0,9—1 Вт/см² і вище — високою. [35]

Ультразвукова терапія має різні застосування, зокрема вона ефективна при лікуванні захворювань опорно-рухового апарату, нервів та процесів рубцювання після хірургічних втручань і запальних захворювань. Вона також успішно використовується для зменшення болю та запалення.

Фонофорез — це метод, який комбінує ультразвук з введенням лікарських засобів в організм. Це дозволяє лікарським речовинам проникати в глибокі

шари шкіри та дифундувати в кров та лімфу. Цей метод застосовується при лікуванні різноманітних захворювань шкіри, суглобів та м'язів.

Для забезпечення ефективного контакту з ультразвуковою головкою використовують контактні речовини, такі як вазелінова або рослинна олія. Це дозволяє зменшити ризик пошкодження шкіри та підвищити ефективність процедури.

Процедури ультразвукової терапії проводять на певних ділянках тіла (полях), кожна з яких має площу 150—250 см². Тривалість дії на одне поле зазвичай становить від 2—3 до 5—10 хвилин, а загальна тривалість процедури не перевищує 12—15 хвилин. Курс лікування може включати від 6 до 12 процедур.

Протипоказання до застосування ультразвукової терапії включають хвороби крові, гострі запальні процеси, психічні розлади, серцево-судинні захворювання та інші. Важливо проводити обстеження та консультацію з лікарем перед початком лікування ультразвуком, щоб уникнути можливих ускладнень.

1.9. Терапевтична ефективність ультразвуку

Терапевтична дія ультразвуку базується на складному та багатосторонньому механізмі, який охоплює як місцеві, так і загальні реакції організму, зокрема нейрорефлекторні та нейрогуморальні. Ці реакції мають фазовий характер і можуть зберігатися протягом певного часу після процедури. При правильно підібраних параметрах ультразвук чинить знеболювальний, протизапальний ефект, сприяє розсмоктуванню інфільтратів, стимулює регенерацію тканин, покращує крово- та лімфообіг, нормалізує обмінні процеси, а також позитивно впливає на функціонування нервової та ендокринної систем. Такий широкий спектр дії робить ультразвук ефективним методом лікування різних патологій.

Ефективність процедури залежить від точного підбору параметрів: сили впливу, зони застосування, площі обробки, тривалості сеансу, методу

проведення (рухомий або нерухомий, контактний чи через воду), а також режиму (безперервний або імпульсний).

У сучасній практиці прийнято розрізняти три рівні інтенсивності ультразвукового впливу: низьку (0,05–0,4 Вт/см²), середню (0,6–0,8 Вт/см²) і високу (1,0–1,2 Вт/см²). Потужність апарата пов'язана з загальним енергетичним виходом, що є особливо актуальним для пристроїв із великим розміром випромінювальної поверхні (наприклад, 10 см²). [36]

Вибір інтенсивності залежить від ділянки тіла. Найнижчі значення застосовуються для обробки чутливих зон, таких як голова або області скупчення симпатичних структур (наприклад, шийний симпатичний вузол). На інтенсивність також впливають вік пацієнта та товщина підшкірного жиру. Для дітей (від 2 років) і людей похилого віку рекомендується використовувати найменші дози.

Коли потрібно досягти розсмоктуючого ефекту, особливо при локалізації патологічного процесу у кінцівках, можна застосовувати більші інтенсивності — до 0,8–1,0 Вт/см². [37]

Ультразвук діє на чітко окреслені зони, які називають полями. Це можуть бути місцеві вогнища, наприклад, суглоби (переважно не більше двох-трьох), ділянки біля них, фурункули, або рефлексогенні зони, зони проекції болю (наприклад, при радикуліті, невралгії), точки болю при міозиті, а також ділянки шкіри, які відповідають проекції внутрішніх органів (наприклад, при гастриті). Типова площа впливу — 150–250 см². [38]

Якщо зона досить велика (наприклад, спина або ділянка болю при радикуліті), її поділяють на декілька частин. Паравертебральна зона обробляється смугами шириною 8–10 см, які охоплюють шийний, грудний і поперековий відділи. При лікуванні сідничного нерва вплив розподіляється на такі зони: сідниця, поперек, задня поверхня стегна, гомілка і стопа. Аналогічно розмежовуються зони при шийно-грудному радикуліті. За одну процедуру обробляють від 4 до 6 зон.

Не рекомендується застосовувати ультразвук на ділянках серця, виступаючих кісток або в місцях з порушеним кровообігом (наприклад, при сильних набряках).

Тривалість впливу на одну зону — 3–10 хвилин, залежно від її розміру та розташування. Загальна тривалість одного сеансу не має перевищувати 15 хвилин.

Процедури проводяться щодня або через день. Курс лікування зазвичай включає 6–12 процедур, іноді до 20. Повторний курс можливий не раніше ніж через три місяці. [39]

Методи проведення ультразвукової терапії змінюються залежно від локалізації ураження та особливостей перебігу захворювання. Наприклад, для обробки великих рівних ділянок, таких як спина, кінцівки або дрібні суглоби пальців і при контрактурах пальців рук та ніг, зазвичай використовується контактний метод із застосуванням рухомої (лабільної) техніки. При цьому ультразвуковий аплікатор щільно притискають до шкіри, змазаною вазеліновою олією, і повільно переміщають круговими рухами зі швидкістю приблизно 1 см на секунду. Якщо виникає потреба змінити зону впливу, відривати аплікатор від шкіри слід лише при вимкненій інтенсивності. Не рекомендується проводити аплікатором по ділянках з близьким розташуванням кісткових структур.

У випадках, коли контактне застосування неможливе (наприклад, при ураженнях верхніх або нижніх кінцівок), вдаються до дистанційної водної методики. Для цього у спеціальну ємність (зазвичай фаянсову або порцелянову) наливають воду температурою 30–32 °С, у яку занурюють уражену кінцівку разом з ультразвуковим аплікатором. Прилад можна зафіксувати на стінці ємності — тоді пацієнт обертає кінцівку у воді, або ж медичний персонал переміщує випромінювач навколо нерухомо розташованої кінцівки. Відстань між аплікатором і шкірою має становити 1–2 см. [42]

Також у практиці застосовуються спеціалізовані пристрої, які забезпечують зручне середовище для впливу (вода чи масло), зокрема очні ванночки або пластикові тубуси, що використовуються в ультрафонофорезі.

Ультразвук може подаватися безперервно або імпульсно. Імпульсний режим є більш делікатним, оскільки знижує нагрів тканин, і тому рекомендований для гострих запальних станів, при вираженій вегетативно-судинній симптоматиці, хронічних інфекціях або атрофіях м'язів. Він також особливо підходить для лікування дітей, зокрема молодшого віку (тривалість імпульсу — 2 або 4 мс).

Лікувальний ефект від ультразвуку досягається двома основними шляхами. [41] Перший полягає у прямому впливі звукової хвилі на біологічну тканину, що спричиняє не тільки тепловий ефект, а й стимулює клітинний обмін, покращуючи проникність мембран і прискорюючи біохімічні реакції. Другий механізм реалізується у вигляді ультразвукової хіміотерапії — лікарські речовини в рідкій формі перетворюються на аерозоль, який легко засвоюється організмом. Це дозволяє цілеспрямовано впливати на біологічні системи, змінюючи їх функціональний стан.

Перший метод втілюється за допомогою апаратів типу УЗТ, другий — через ультразвукові інгалятори. Найчастіше вплив здійснюється у вигляді контактного масажу з використанням вазелінової олії. Зона впливу може охоплювати місце патології, відповідні зони рефлекторного реагування або проходження больового імпульсу. Безперервний режим частіше застосовується при хронічному болю, імпульсний — при гострих процесах.

Однією з важливих характеристик ультразвуку є його неіонізуючий характер: він не має достатньої енергії для вибивання електронів з атомів, що робить його безпечним у лікувальних цілях.

У медичній практиці застосовується ультразвук низької інтенсивності, але з високою частотою — у межах 800–30 000 Гц. Його утворення ґрунтується на зворотному п'єзоелектричному ефекті, коли деякі кристалічні матеріали змінюють свої розміри під впливом змінного електричного струму. Це

викликає коливання, які чергують зони стискання і розрідження середовища — тобто створюють ультразвук.

1.10. Ультразвукова терапія: показання та протипоказання

Коли рекомендовано використовувати ультразвукову терапію:

- **Кардіологія.** Використовується для терапії ішемічної хвороби серця, підвищеного артеріального тиску, різноманітних порушень серцевого ритму та підвищеного рівня ліпідів у крові. Допомагає при венозних захворюваннях, таких як флебіт і тромбози, покращуючи кровообіг та зменшуючи запалення.

- **Гастроентерологія.** Ефективна при хронічних захворюваннях шлунково-кишкового тракту, включаючи гастрит, виразкову хворобу шлунка та дванадцятипалої кишки. Успішно застосовується при хронічному коліті, холециститі, панкреатиті та функціональних розладах кишечника, таких як дискінезія.

- **Ендокринологія.** Використовується при циститі, аденомах, дифузному зобі, гіпотиреозі, гіпертрофії та гіперпаратиреозі паращитоподібних залоз. Також допомагає при діабетичній полінейропатії та гіпогонадізмі.

- **Онкологія.** Застосовується для полегшення стану при різних новоутвореннях, включаючи рак молочної залози, товстої кишки та шлунка, а також пухлини печінки. Допомагає зменшити побічні ефекти лікування онкологічних захворювань.

- **Інфекційні захворювання.** Допомагає при грипі, простудних захворюваннях, гепатиті, туберкульозі, інфекційному мононуклеозі, а також при ревматоїдному артриті.

- **Ортопедія та травматологія.** Показана при порушеннях кровообігу, зниженні еластичності зв'язок і сухожилів, запальних процесах у суглобах, а також при травмах кісток і м'язів. [13]

- **Педіатрія.** Використовується для корекції порушень зростання та розвитку у дітей, лікування церебрального паралічу, перинатальних

ушкоджень центральної нервової системи, бронхолегеневої патології та дисплазії суглобів.

Коли ультразвукова терапія протипоказана:

- **Шкірні захворювання.** Не рекомендується при відкритих ранах, виразках, опіках або інших серйозних пошкодженнях шкіри, щоб уникнути погіршення стану.

- **Розриви тканин і кровотечі.** Не можна застосовувати ультразвук в зонах, де є розриви тканин або активні кровотечі, оскільки це може призвести до подальшого пошкодження.

- **Злоякісні пухлини.** Протипоказано використовувати ультразвукову терапію безпосередньо на ділянці злоякісних новоутворень через ризик сприяння поширенню ракових клітин.

- **Високочутливі органи.** Не рекомендується застосовувати на області серця, очей, сечового міхура, яєчників або молочних залоз через високу чутливість цих органів до ультразвукових хвиль.

- **Вагітність.** Ультразвукова терапія не рекомендована під час вагітності через можливий негативний вплив на розвиток плоду. [43]

Додаткові рекомендації:

Перед початком ультразвукової терапії важливо пройти повне медичне обстеження та отримати консультацію спеціаліста. Це дозволить уникнути можливих ускладнень та забезпечить максимальну ефективність лікування. Ультразвукова терапія є потужним інструментом у сучасній медицині, але вимагає уважного та відповідального підходу до її використання.

1.11. Особливі методики ультразвукової терапії

Ультразвукова терапія включає два основних підходи: контактний та підводний. При контактній методиці ультразвуковий апарат безпосередньо стикається з шкірою пацієнта. Підводна методика передбачає передачу ультразвукових хвиль через воду або спеціальний гель, що забезпечує рівномірний розподіл енергії.

Кожен із цих методів може бути реалізований двома способами: лабільним (рухомим) або стабільним (нерухомим). Лабільний метод передбачає переміщення апарата по області лікування, що забезпечує масажні та терапевтичні ефекти. У стабільному методі апарат залишається в одному положенні, концентруючи вплив на конкретній ділянці, що дозволяє досягти більш інтенсивного лікувального ефекту.

Для ефективного проникнення ультразвукових хвиль у тканини під час контактної методики важливо усунути повітряний прошарок між датчиком і шкірою. Для цього використовуються різні засоби для змащування, такі як гліцерин з водою, вазелінова або парафінова олія. Це забезпечує оптимальне передавання ультразвукової енергії в тканини. [44]



Рис. 1.4. Контактна дія ультразвуку.

Спеціалізовані методи ультразвукової терапії:

Ультразвуковий фонофорез. Цей метод використовує ультразвукові хвилі для підвищення проникності шкіри і тканин для лікарських препаратів. Під час фонофорезу на оброблювану ділянку наноситься гель або крем, який містить медикаменти. Потім застосовуються ультразвукові хвилі, що сприяють глибшому проникненню лікарських речовин у тканини, підвищуючи ефективність лікування. [47]



Рис. 1.5. Ультразвуковий фонофорез.

Ультразвукова діатермія. Ця методика полягає у використанні ультразвукових хвиль для глибокого зігрівання тканин. Вона допомагає зняти біль, покращити кровообіг, зменшити запалення і підвищити рухливість суглобів. Тепловий ефект стимулює приплив крові до оброблюваної зони, що покращує постачання кисню і поживних речовин. [45]

Акупунктурна ультразвукова терапія. Поєднує традиційну акупунктуру з ультразвуковою терапією. Ультразвукові хвилі підсилюють ефект акупунктури, стимулюючи активні точки і покращуючи кровообіг у тканинах. Це поєднання може бути особливо корисним для зняття болю і підвищення загальної ефективності лікування. [46]

Додаткова інформація:

Ультразвукова терапія може бути використана для лікування широкого спектра захворювань і ушкоджень органів і тканин. Вона часто є ефективною альтернативою фізіотерапії або медикаментозному лікуванню, забезпечуючи неінвазивний і безболісний підхід до лікування. Завдяки різним методикам і можливості їх комбінації ультразвукова терапія може бути адаптована до індивідуальних потреб пацієнта, забезпечуючи високі результати і сприяючи швидкому відновленню.

1.12. Актуальність ультразвукової терапії в реабілітації військовослужбовців

Актуальність ультразвукової терапії в реабілітації військовослужбовців зростає у зв'язку зі збільшенням кількості поранених та травмованих на фоні активних бойових дій [48]. Цей метод фізіотерапії є важливою складовою сучасної системи медичної реабілітації завдяки своїм багатопрофільним ефектам, серед яких:

- **Протизапальна та знеболювальна дія.** Ультразвукова терапія сприяє зменшенню набряку, болю та запалення в м'яких тканинах, суглобах і зв'язках. Це особливо актуально при лікуванні травм опорно-рухового апарату (вивихи, розтягнення, забої, посттравматичні контрактури).

- **Покращення мікроциркуляції та обміну речовин.** Ультразвук стимулює кровообіг і метаболічні процеси в зоні впливу, що сприяє пришвидшенню регенерації тканин — важливий чинник при загоєнні ран, рубців, опіків та трофічних порушень.

- **Фізична та психоемоційна реабілітація.** Військовослужбовці часто мають поєднані травми з порушеннями чутливості, рухової активності, а також психологічними розладами. Ультразвукова терапія як частина комплексного підходу (разом з ЛФК, масажем, медикаментозним лікуванням) допомагає відновити функції та покращити загальний стан пацієнта.

- **Застосування в реабілітації після ампутацій.** Ультразвук може бути корисним у підготовці кукси до протезування: зменшення болю, запалення, покращення еластичності тканин сприяє кращому пристосуванню до протезів.

- **Безпечність і доступність.** Метод є неінвазивним, досить безпечним (при правильному застосуванні) та може бути використаний як у стаціонарних, так і в амбулаторних умовах, що дозволяє масштабувати його для великої кількості пацієнтів.

1.13. Дослідження та аналіз патентів і винаходів у сфері ультразвукової терапії

Патент № [US6960173B2](#). Метод та пристрій для лікування ран ультразвуком з використанням стоячих хвиль.

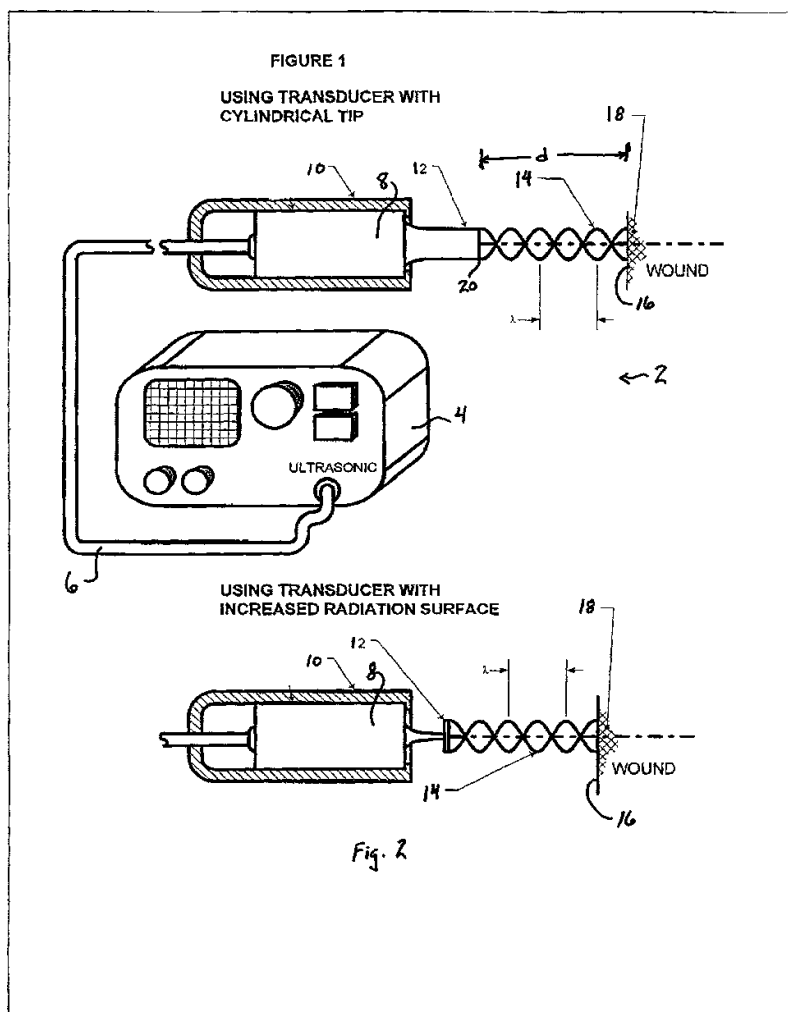


Рис. 1.6. Схематичне зображення з бічним поперечним розрізом.

4 – генератор сигналів, 10 – навіс, 12 – ультразвуковий випромінювач-наконечник, 16 – поверхня рани, 18 – рана.

Винахід стосується лікування ран ультразвуковими стоячими хвилями, що передаються через повітря. Вони створюють тиск, який збільшує кровотік, знищує бактерії та стимулює ріст здорових клітин. Метод не потребує контакту або лікарських засобів, може працювати в імпульсному або безперервному режимі та має потенціал для немедичних застосувань, як-от стерилізація чи очищення. На рис. показано ультразвуковий пристрій із розпилувачем: рідина

з резервуара через клапан подається до кінця перетворювача, який під'єднаний до джерела ультразвуку. Утворений туман спрямовується до рани або поверхні для зволоження.

Патент № [US6569099B1](#). Ультразвуковий метод та пристрій для лікування ран.

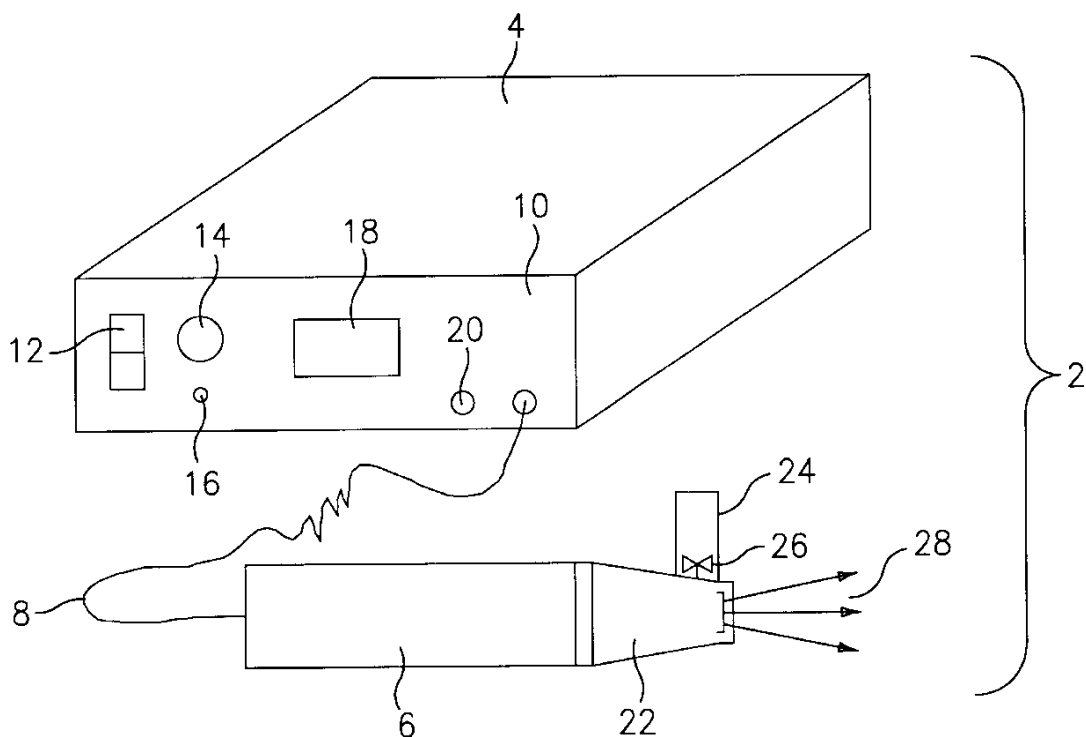


Рис. 1.7. Спрощене зображення ультразвукового пристрою та розпилювача згідно з винаходом.

2 – система ультразвукової обробки, 4 – генератор ультразвукових коливань, 6 – перетворювач, 8 - кабель, 10 – передня панель, 12 – кнопка живлення, 16 – кнопка керування, 19 – дисплей, 20 – домкрат, 22 – сопло, 24 – резервуар для рідини, 26 – клапан, 28 – стрілки.

Винахід стосується безконтактного лікування ран за допомогою ультразвукових хвиль, що утворюють спрямований аерозольний туман. Цей туман доставляє ліки, знищує бактерії, очищує поверхню та стимулює загоєння, уникаючи прямого контакту з раною, що особливо важливо для відкритих або болючих ушкоджень. Метод використовує низькочастотний ультразвук для покращеного проникнення препаратів у тканини.

Винахід зображено на рис. 1.6.: система ультразвукової обробки складається з генератора хвиль, підключеного кабелем до ультразвукового датчика з соплом і резервуаром для рідини. Рідина подається через клапан, а розпилення спрямоване вказаними стрілками.

Патент № [US7878991B2](#). Портативний ультразвуковий апарат для лікування ран

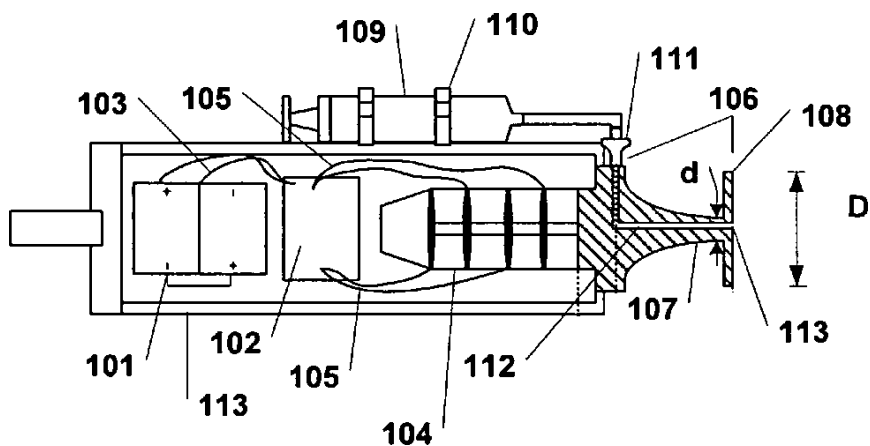


Рис. 1.8. Поперечний розріз варіанту реалізації портативного ультразвукового пристрою для лікування ран.

101 – джерело живлення, 102 – генератор, 103 – електричні дроти, 104 – перетворювач, 105 – електричні дроти, 106 – ультразвуковий наконечник, 107 – концентраторна частина, 108 – радіаційна частина, 109 – постачання рідини, 110 – кріплення, 111 – порт подачі рідини, 112 – просвіт, 113 – отвір.

Винахід стосується портативного ультразвукового пристрою для лікування ран у клінічних і польових умовах. Пристрій містить ультразвуковий наконечник зі спеціальною формою, генератор, перетворювач, джерело живлення і рідину. Він забезпечує доставку ультразвукової енергії до рани через рідинне середовище або безпосередній контакт, сприяючи очищенню та загоєнню ран, з можливістю видалення некротичної тканини завдяки абразивним елементам.

Описано портативний ультразвуковий пристрій для лікування ран, який містить джерело живлення, генератор, перетворювач, ультразвуковий

наконечник і подачу рідини. Ультразвуковий наконечник складається з концентраторної та радіаційної частин, остання має більший діаметр для ефективної передачі енергії. Рідина може подаватись безпосередньо або через внутрішній канал до дистального отвору наконечника. Компоненти розміщені в корпусі, де також може бути вимикач живлення.

Патент [№US11383106B2](#). Система ультразвукової терапії.

Fig. 1

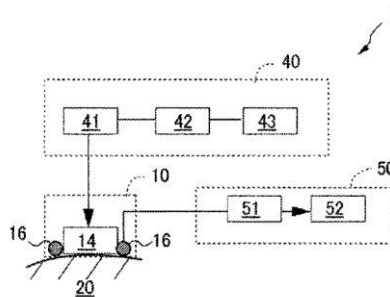


Fig. 2

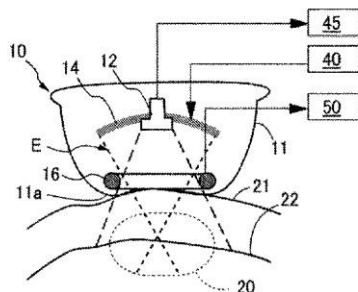


Рис 1.9. Схема, що ілюструє аплікатор, який використовується у винаході.

10 – аплікатор, 11а – опукла частина, 12 - діагностичний ультразвуковий зонд, 14 – перетворювач, 16 – котушка датчика, 20 – уражена частина, 21 – шкіра, 22 – поверхня кістки, 40 – блок керування введенням, 41 – схема керування, 42 -схема керування, 43 – вхідний блок, 50 – блок вимірювання температури, 51 – блок схеми перетворення, 52 – блок визначення обробки.

У зв'язку зі зростанням числа пацієнтів з артрозом, зокрема колінним, актуальним стає малотравматичне лікування болю за допомогою сфокусованого ультразвуку (HIFU). Пристрій, описаний у винаході, дозволяє проводити припікання поверхні кістки через шкіру для знеболення, руйнуючи нервові закінчення між окістям і кортикальною кісткою.

Запропонована система ультразвукової терапії містить блок подачі ультразвукової хвилі та блок вимірювання температури, який працює шляхом аналізу змін електромагнітної хвилі, що виникає внаслідок денатурації кісткової тканини. Таким чином, вона дозволяє точно контролювати температуру в ураженій зоні без потреби в дорогих МРТ-системах.

Система може працювати як в імпульсному, так і в безперервному режимі, а контроль температури здійснюється за допомогою котушки, що приймає електромагнітні сигнали. Завдяки цьому можливо точно визначати момент завершення денатурації тканини (приблизно при 50–60 °С), що дозволяє ефективно та безпечно керувати інтенсивністю ультразвукового опромінення.

1.14. Аналіз та огляд сучасних ультразвукових терапевтичних пристроїв

На основі результатів патентного пошуку можна зробити висновок, що галузь медичного приладобудування, зокрема ультразвукове обладнання, активно розвивається та має значний ринковий потенціал. Це свідчить про високий рівень зацікавленості у створенні нових технологій і модернізації вже існуючих ультразвукових медичних систем.

У роботі таких приладів використовується зворотний п'єзоелектричний ефект, суть якого полягає в деформації матеріалу під впливом змінного електричного поля. Коли від генератора подається змінна напруга на електрод, що з'єднаний із кварцовою пластиною (або іншими матеріалами, такими як залізовмісні солі чи кераміка на основі титанату барію), відбувається її вібрація. У результаті утворюються механічні коливання певної частоти, які і формують ультразвукові хвилі.

1) **BTL-4710 Smart 1-канальна ультразвукова терапія.**



Рис. 1.10. Апарат BTL-4710 Smart 1-канальна ультразвукова терапія.

BTL-4710 Smart — це сучасний одноканальний апарат для ультразвукової терапії, розроблений британською компанією BTL Industries. Він поєднує в собі передові технології, зручність у використанні та високу ефективність лікування.

Основні характеристики:

Кольоровий сенсорний екран 4.3": інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для легкого налаштування параметрів та вибору терапевтичних протоколів.

Мультичастотні аплікатори: працюють на частотах 1 МГц і 3 МГц, що дозволяє адаптувати терапію до різних глибини впливу.

Підтримка двох аплікаторів одночасно: можливість підключення двох аплікаторів для обробки різних зон.

Технологія HandsFree Sono®: унікальний безоператорний аплікатор з технологією обертового поля забезпечує рівномірне ультразвукове випромінювання без необхідності ручного утримання.

Портативність: компактні розміри (380 × 190 × 260 мм) та вага до 3 кг; можливість роботи від акумулятора (опціонально) забезпечує мобільність пристрою.

Вбудовані протоколи та терапевтична енциклопедія: спрощують вибір та налаштування процедур, економлячи час лікаря.

Технічні параметри:

- Кількість каналів: 1 незалежний канал.
- Максимальна інтенсивність:
у безперервному режимі: 2 Вт/см²;
в імпульсному режимі: 3 Вт/см².
- Модуляція частоти: від 10 до 150 Гц.
- Коефіцієнт заповнення: від 5% до 100%.
- Живлення: 100–240 В, 50–60 Гц.

Переваги використання:

Ергономічні ультразвукові головки: оснащені візуальною індикацією контакту з пацієнтом, що підвищує безпеку та ефективність процедур. Підтримка комбінованої терапії: можливість поєднання ультразвукової та електротерапії для досягнення кращих результатів лікування. Зручність у використанні: простий у налаштуванні та експлуатації, що робить його ідеальним вибором для клінік, реабілітаційних центрів та приватних кабінетів.

Комплектація:

- Блок управління BTL-4710 Smart.
- Ультразвукова головка (5 см²).
- Кабель живлення.
- Адаптер.
- Стилус для сенсорного екрану.
- Посібник користувача.
- Ультразвуковий гель (300 мл).

BTL-4710 Smart — це надійне рішення для ефективної ультразвукової терапії, яке поєднує в собі передові технології та зручність у використанні. Його функціональність та портативність роблять його ідеальним вибором для широкого спектру медичних закладів.

2) Intelect Mobile 2 Stim.

Intelect® Mobile 2 STIM — це сучасний електротерапевтичний пристрій, призначений для проведення фізіотерапевтичного лікування як у клінічних умовах, так і вдома. Він може використовуватись як окремо, так і з додатковим візком, до якого за потреби під'єднується вакуумний модуль. Завдяки ергономічному дизайну, легкій вазі та зручній ручці пристрій зручно транспортувати, а для додаткового захисту доступний спеціальний футляр. Також можна оснастити пристрій візком із висувними шухлядами та великими колесами для комфортного переміщення.

Intelect® Mobile 2 STIM має повнокольоровий 7-дюймовий сенсорний екран з високою роздільною здатністю, що забезпечує зручне управління. Інтелектуальний інтерфейс із сенсорними кнопками та світловими індикаторами дозволяє легко обирати форми електричних імпульсів, серед яких представлено найпоширеніші типи хвиль, що забезпечують різноманітні варіанти лікування. До кожного режиму додаються рекомендації щодо правильного розміщення електродів для обраної ділянки тіла.

Пристрій також має вбудовану анатомічну бібліотеку з якісними зображеннями для демонстрації пацієнтам, що полегшує пояснення процедури. Передбачена можливість збереження історії лікувань, створення та зберігання індивідуальних протоколів. Підтримується імпорту та експорту даних через Bluetooth, а також оновлення програмного забезпечення, що робить пристрій адаптованим до майбутніх потреб.

Intelect® Mobile 2 STIM відповідає вимогам стандарту IEC 60601-1-11, тому може безпечно використовуватись у домашніх умовах під наглядом ліцензованого лікаря. Його застосування дозволено виключно за призначенням медичного спеціаліста.



Рис. 1.11. Апарат Intellect® Mobile 2 STIM.

Основні характеристики:

- Сенсорний екран 7": високої роздільної здатності, кольоровий, забезпечує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс з підсвічуванням портів та кнопок.
- Інтелектуальний інтерфейс: включає вбудовані протоколи лікування (SPS), які базуються на сучасних клінічних дослідженнях, та анатомічну
- Можливість збереження індивідуальних протоколів: користувач може створювати та зберігати власні налаштування процедур.
- Портативність: компактний розмір (340 × 355 × 150 мм) та вага 2,9–3,1 кг (без батареї) дозволяють легко транспортувати пристрій.
- Опціональна батарея: забезпечує автономну роботу, що особливо корисно для виїзних процедур.
- Відповідність стандартам: пристрій відповідає міжнародним стандартам безпеки EN/IEC 60601-1 та 60601-1-11.

Доступні форми хвиль:

Апарат підтримує широкий спектр електротерапевтичних форм хвиль, включаючи:

- Інтерференційний струм (IFC, 4-полюсний)
- Премодульований IFC (2-полюсний)
- Біфазний асиметричний та симетричний струм — TENS
- VMS, VMS Burst, VMS FR
- Пульсуючий струм високої напруги (HVPC)
- Монопольний трикутний та прямокутний пульсуючий струм
- Гальванічний струм (перервний, низькорівневий)
- Мікроструми
- Діадинамічні струми (LP, MF, DF, CPID/CPISO)
- Ізопланарні та дипольні хвилі

Переваги

Мобільність. Легкий та компактний дизайн з ергономічною ручкою для зручного транспортування.

Гнучкість у використанні. Можливість роботи як у клінічних умовах, так і вдома у пацієнта.

Можливість оновлення програмного забезпечення. Через Bluetooth або USB, що забезпечує актуальність функціоналу.

Зберігання даних лікування. Для подальшого аналізу та відстеження прогресу пацієнта.

Intellect® Mobile 2 STIM — це універсальний та ефективний інструмент для фізіотерапевтів, який поєднує в собі передові технології, зручність у використанні та високу ефективність лікування. Його функціональність та портативність роблять його ідеальним вибором для широкого спектру медичних закладів та домашнього використання.

3) Апарат комбінованої терапії для ультразвукової, електротерапії, вакуум терапії Zimmer Soleo Sonostim.



Рис. 1.12. Апарат Zimmer Soleo Sonostim.

Табл. 1. Характеристики Zimmer Soleo Sonostim

Великий сенсорний екран	110 мм x 90 мм.
Довжина ширина висота	330/130/220
Вага	2 кг. (3 кг з вакуумним модулем Vaco S)
Клас захисту	IEC 601-1: Класс I, Тип BF

Сучасний медичний апарат поєднує в собі широкий спектр функціональних можливостей для проведення електро- та ультразвукової терапії, забезпечуючи високу ефективність та зручність у використанні. Його головною особливістю є кольоровий сенсорний екран, який дозволяє не лише переглядати всю необхідну інформацію, а й оперативно змінювати параметри впливу та вибрати режим терапії.

Завдяки вбудованій пам'яті на основі SD-карти обсягом 1 ГБ, апарат надає можливість зберігати до 120 індивідуально налаштованих програм лікування. Для зручності користувача також передбачено опціональне дистанційне

керування та візуальна анатомічна схема тіла людини з точним зазначенням зон впливу, що полегшує орієнтацію під час проведення процедур.

Пристрій має два незалежні вихідні канали, що дозволяють одночасно або по черзі працювати з різними м'язовими групами. Підтримуються кілька режимів синхронізації: паралельний, чергований (для роботи з антагоністами/агоністами) та індивідуальний. Залежно від потреб, користувач може обрати один з трьох режимів: MonoStim (одна програма на один канал), TwinStim (одна програма на два канали) або DuoStim (дві окремі програми на два канали).

У розділі електротерапії апарат забезпечує надзвичайно широкий вибір видів струмів, серед яких: TENS (асиметричні, симетричні, змінні), ампліпульсна терапія (СМТ), класична чотириполосна інтерференція, «російська стимуляція», діадинамічні струми (DF, MF, CP, LP, RC, CPISO), струми Траберта, фарадичні, прямокутні та трикутні імпульси, гальванічний струм (включаючи іонофорез), мікроструми, високовольтні імпульси, змінні струми з базовою частотою 8000 Гц, а також комбіновані струми середньої та низької частоти (MF/LF).

Параметри струмів можуть бути налаштовані як у режимі постійного струму (CC), так і у режимі постійної напруги (CV). Також можна додати гальванічну складову (20% або 50%) до основних імпульсів. Полярність вибирається вручну або автоматично. Імпульси можуть мати регульовану послідовність, що дозволяє максимально точно адаптувати терапію під конкретного пацієнта.

Для діагностики та підбору ефективного лікування передбачена електродіагностика – визначення реобазиса, хронаксії, оцінка стану нервових і м'язових волокон, а також можливість стимуляції денервованих м'язів. Як електроди можуть використовуватися гнучкі гумові пластини, самоклеючі або точкові електроди різних розмірів.

Ультразвукова терапія реалізована за допомогою мультичастотного випромінювача з можливістю вибору частоти від 0,8 МГц (для глибокого

проникнення) до 2,4 МГц (для поверхневого впливу). У комплекті передбачені дві водонепроникні УЗ-головки площею 6 см² та 1 см². Наявний сенсор контролю УЗ-контакту дозволяє слідкувати за якістю проведення процедури. Ультразвук може подаватися як у безперервному, так і в імпульсному режимі. В апараті вже закладено 50 готових програм лікування.

Технологія Zimmer дозволяє обрати бажаний ефект впливу – тепловий, механічний або їх комбінацію. Також передбачена функція мікромасажу та можливість налаштування глибини проникнення хвиль. Як і у випадку з електротерапією, використовується анатомічна схема тіла для точного вибору зон впливу.

Комбінована терапія дає змогу апарату автоматично запропонувати найбільш ефективну комбінацію програм. Передбачено 5 попередньо встановлених протоколів для комбінованого застосування ультразвукової та електротерапії.

Додатково доступна вакуумна терапія (модуль Soleo Vaco), яка включає два незалежні канали з можливістю вибору безперервного або пульсуючого режиму (тривалість пульсу від 1 до 8 секунд). Потужність вакууму регулюється плавно в діапазоні від 1 до 60 кПа, а всі налаштування здійснюються через зручний сенсорний інтерфейс.

4) [Апарат для електротерапії, ультразвукової, комбінованої, лазеротерапії та магнітотерапії PhysioGo 701I ASTAR.](#)



[Рис. 1.13. Апарат PhysioGo 701I.](#)

PhysioGo 701I від компанії ASTAR — це універсальний багатофункціональний фізіотерапевтичний апарат, призначений для проведення електротерапії, ультразвукової терапії, лазеротерапії, магнітотерапії та комбінованого лікування. Завдяки сучасному дизайну, компактним розмірам та широкому функціоналу, апарат ідеально підходить як для використання в медичних установах, так і для домашньої реабілітації.

Пристрій оснащений кольоровим 7-дюймовим сенсорним дисплеєм, що забезпечує інтуїтивне керування, та має три незалежні терапевтичні канали з повною гальванічною розв'язкою. PhysioGo 701I працює як від мережі, так і від вбудованого акумулятора (2250 мА·год), що дозволяє використовувати його автономно до 8 годин. Його габарити складають 34×28×11–16 см, а вага — близько 6 кг, що забезпечує портативність.

У режимі електротерапії апарат підтримує широкий спектр струмів: TENS, інтерференційні, гальванічні, імпульсні, діадинамічні, струм Котца, мікроструми та інші. Максимальна сила струму досягає 140 мА в режимі TENS, а також передбачена можливість роботи в режимах стабілізації струму (CC) та стабілізації напруги (CV). Крім того, PhysioGo 701I підтримує електродіагностику з автоматичним розрахунком реобазиса, хронаксії та коефіцієнта акомодатії.

Функція ультразвукової терапії реалізована за допомогою аплікаторів з робочими частотами 1 МГц та 3,5 МГц, ефективною площею випромінювання 1 см² або 4 см² та максимальною інтенсивністю до 3 Вт/см². Апарат підтримує як безперервний (тепловий ефект), так і імпульсний режим (мікромасаж), а також має функцію автоматичного контролю якості контакту аплікатора з тілом пацієнта.

Лазеротерапія здійснюється лазерами класу 3В з довжиною хвилі 660 нм (червоне випромінювання) та 808 нм (інфрачервоне). У кластерному аплікаторі передбачено до 4×400 мВт лазерів 808 нм та 5×40 мВт для 660 нм. Доступна робота як у безперервному, так і в імпульсному режимах з частотою до 5000 Гц.

У режимі магнітотерапії апарат генерує імпульсне низькочастотне магнітне поле з індукцією до 10 мТл, частотою 2–120 Гц та можливістю програмування тривалості імпульсів і пауз.

Серед переваг PhysioGo 701I варто відзначити високу універсальність, компактність, тривалу автономну роботу, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, можливість збереження до 400 користувацьких програм, вбудовану медичну енциклопедію та багатофункціональність, що дозволяє проводити повноцінне фізіотерапевтичне лікування в одному пристрої. Також забезпечується висока безпека завдяки гальванічній розв'язці каналів та функціям самодіагностики.

До недоліків можна віднести високу вартість, що може бути бар'єром для деяких користувачів, а також потребу в початковому навчанні через складний функціонал і велику кількість налаштувань. Крім того, не всі користувачі використовуватимуть увесь потенціал пристрою, особливо в умовах домашнього використання.

5) Enraf Nonius Sonopuls 492.



Рис. 1.14. Апарат Enraf Nonius Sonopuls 492.

Enraf Nonius Sonopuls 492 — це сучасний портативний апарат для комбінованої фізіотерапії, що поєднує в собі функції ультразвукової терапії, електротерапії та комбінованого впливу. Розроблений нідерландською компанією Enraf-Nonius, він призначений для ефективного лікування

широкого спектра захворювань опорно-рухового апарату, нервової системи та м'язких тканин.

Апарат оснащений кольоровим сенсорним TFT-дисплеєм з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, що забезпечує легке налаштування параметрів терапії. Ультразвукова терапія здійснюється за допомогою багаточастотних випромінювачів з частотами 1 та 3 МГц, що дозволяє вибирати глибину проникнення ультразвукових хвиль залежно від клінічної ситуації.

Інтенсивність ультразвуку регулюється в межах від 0 до 3 Вт/см², з можливістю вибору безперервного або імпульсного режиму роботи. Випромінювачі обладнані датчиками контакту, які забезпечують безпечне та ефективно проведення процедур, автоматично припиняючи подачу енергії при недостатньому контакті з шкірою пацієнта.

Електротерапевтичний модуль має два незалежні канали, що дозволяє одночасно проводити терапію на двох зонах або пацієнтах. Sonopuls 492 підтримує 36 форм електричних струмів, включаючи TENS, СМТ, інтерференційні струми, діадинамічні струми, гальванічний струм, мікроструми, високовольтні імпульси та інші. Це забезпечує широкий спектр терапевтичних можливостей для знеболення, стимуляції м'язів, покращення кровообігу та регенерації тканин.

Комбінований режим терапії дозволяє одночасно застосовувати ультразвук та електроструми, що підвищує ефективність лікування, особливо при проведенні електрофонофорезу. Апарат має вбудовану бібліотеку з 69 попередньо встановлених протоколів лікування: 25 для ультразвукової терапії, 42 для електротерапії та 2 для комбінованої терапії. Кожен протокол супроводжується детальними інструкціями та ілюстраціями розташування електродів, що полегшує роботу медичного персоналу. Крім того, користувачі можуть створювати та зберігати понад 1000 індивідуальних програм терапії, а також експортувати їх на USB-накопичувач для використання на інших пристроях цієї серії.

Sonopuls 492 має компактні розміри (240 × 320 × 120 мм) та легку вагу (2 кг без акумулятора), що робить його зручним для транспортування та використання в різних умовах, включаючи виїзні процедури. Опціонально апарат може бути оснащений акумулятором для автономної роботи та сумкою для перенесення. Також передбачена можливість підключення модуля Vacotron 460 для вакуумного накладення електродів, що розширює функціональні можливості пристрою.

1.15. Базовий пристрій для розробки.

Sonic-Stimu Pro UT1041 є автоматизованим універсальним ультразвуковим апаратом, призначеним для лікування широкого спектру захворювань за допомогою ультразвукової терапії.



Рис. 1.15. Апарат Sonic-Stimu Pro UT1041 [44]

Sonic-Stimu Pro UT1041 є універсальним ультразвуковим апаратом, що може застосовуватися у багатьох медичних напрямках [45]:

- **В ортопедії та спортивній медицині** — для лікування травм опорно-рухового апарату, включно з переломами, розтягненнями, остеоартрозом, ревматичними захворюваннями тощо.

- **У неврологічній практиці** — при лікуванні захворювань нервової системи, таких як неврити, тунельний синдром, ревматоїдний артрит, невралгії.

- **У гінекології** — для терапії патологій жіночої репродуктивної сфери, таких як вагініти, ендометрит, аднексит, мастопатія.

- **У косметології** — з метою покращення зовнішнього вигляду шкіри, зменшення пігментації, зморшок, запальних проявів та стимуляції кровообігу.

- **У фізіотерапії** — для покращення рухливості та зняття м'язового напруження при фіброміалгії, спазмах, дистрофічних змінах м'язів, остеохондрозі тощо.

- **У отоларингології** — для терапії патологій носа, вуха та горла (риніт, фарингіт, синусит). Завдяки змінним насадкам апарат дозволяє точно налаштувати зону впливу, що покращує мікроциркуляцію та терапевтичний ефект. Може також використовуватися для легкого масажу слизової, що сприяє зменшенню набряків та покращенню відтоку слизу.

Пристрій відповідає сучасним стандартам ультразвукової терапії. Укомплектований двома ергономічними випромінювачами з площами 1 см² і 5 см², він формує стабільне ультразвукове поле та забезпечує точне дозування. Завдяки водонепроникному трансдюсеру можливе застосування у водних процедурах. Пристрій також має вбудовані лікувальні протоколи, великий інформативний дисплей і систему контролю якості контакту, що підвищує безпеку та зручність у використанні.

1.15.1. Розробка структурно-функціональної схеми апарату УЗТ

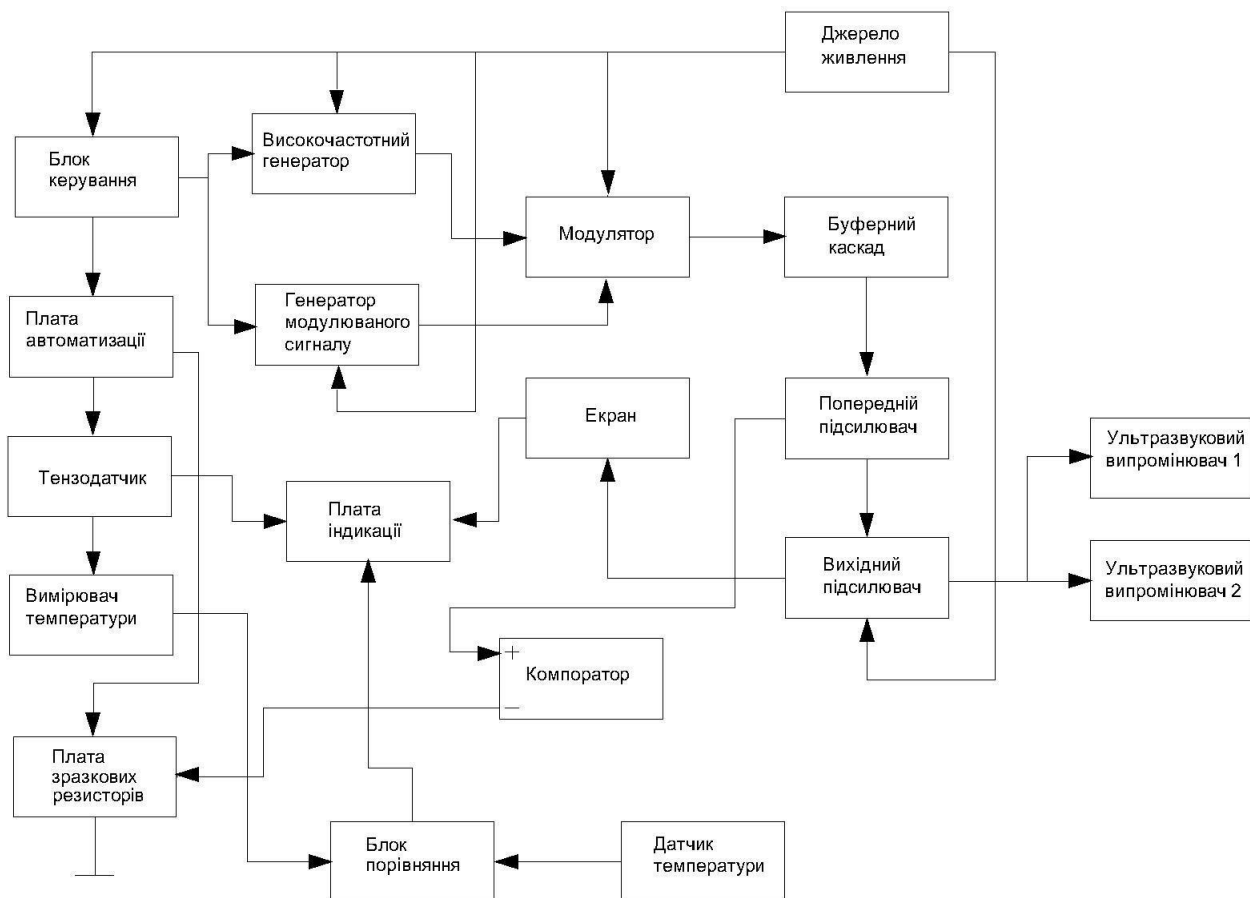


Рис. 1.16. Структурно-функціональна схема.

У процесі аналізу базової моделі пристрою, обраної для подальшої модернізації, було виявлено дві важливі недоліки: відсутність температурного контролю під час роботи та відсутність резервного джерела живлення. Через це апарат не здатен функціонувати без підключення до електромережі, а відсутність температурного захисту створює ризик перегріву внутрішніх компонентів, що може знизити продуктивність або взагалі призвести до виходу пристрою з ладу. Крім того, без автономного живлення використання пристрою в умовах відсутності доступу до мережі є неможливим.

З метою підвищення надійності та автономності функціонування апарату ультразвукової терапії запропоновано низку технічних удосконалень, спрямованих на усунення виявлених недоліків.

Перш за все, передбачається встановлення температурного сенсора, який контролюватиме нагрівання під час роботи пристрою. Датчик під'єднується до керуючої плати, яка, своєю чергою, передає сигнали до основного блоку управління. У випадку перевищення допустимого температурного порогу система зможе автоматично зменшити потужність або повністю вимкнути прилад для запобігання перегріву.

Як альтернативне джерело живлення пропонується використовувати чотири акумулятори Sony Murata VTC6 типу 18650, які забезпечать автономну роботу пристрою до приблизно 2 годин. Для збільшення часу автономної дії рекомендовано використовувати імпульсний режим генерації ультразвуку замість безперервного — це дозволить подовжити роботу на батареї ще приблизно на 30%.

Для реалізації даного функціоналу оптимальним рішенням є застосування мікроконтролера, який забезпечуватиме керування всіма ключовими параметрами: подачею живлення, частотою, інтенсивністю, тривалістю й режимом ультразвукового сигналу. Крім того, мікроконтролер відповідатиме за моніторинг температури, управління часом сеансу, збереження налаштувань і виявлення несправностей у роботі пристрою.

У ролі основного керуючого елемента пропонується використовувати мікроконтролер ATmega328P-AU. Він є економічним, достатньо продуктивним для поставлених задач і дозволяє знизити загальну вартість проєкту.

Для зручності користувача також передбачається встановлення світлодіодної індикації: біля кнопки перемикання режимів буде розміщено два світлодіоди, які сигналізуватимуть про перегрів або розряд батареї, що забезпечить своєчасне реагування на критичні ситуації, а також заряд пристрою та роботу від батареї.

1.15.2. Розроблення та конструювання електричної схеми апарата

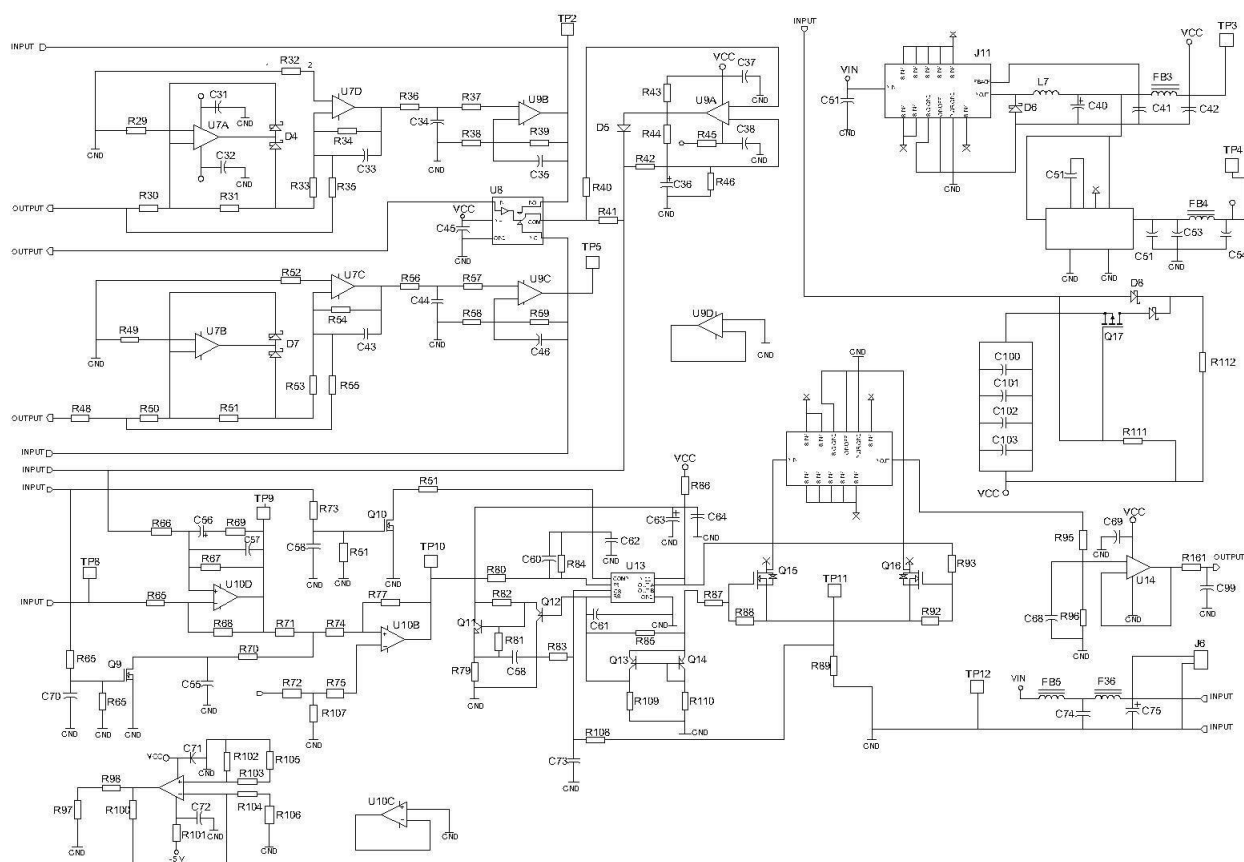


Рис. 1.17. Електрична принципова схема

Електрична схема оновленого апарата для ультразвукової терапії наведена в додатках на кресленні з кодом ДПБ.ПБ-311.01.1720.03.006.СхЕ. Джерелом живлення в системі виступає або постійне джерело струму що подає напругу 220 В, або вбудований акумулятор. Напруга надходить на захисні елементи – запобіжники F36, FB5, FB4, які убезпечують схему від перенапруги. Далі енергія потрапляє на плату акумуляторів, де відбувається їх заряджання і живлення схеми у випадку відсутності зовнішнього енергоживлення.

У схемі використано понад 30 конденсаторів (наприклад, C69, C70, C71, C72 тощо), що відповідають за фільтрацію, накопичення енергії та стабілізацію напруги в колі. Компоненти J6, J11, J10 виконують функцію імпульсних стабілізаторів, регулюючи постійну напругу на рівні 35 В.

Котушки індуктивності L7 та L8 накопичують енергію у вигляді магнітного поля, необхідного для роботи стабілізаторів.

Ключові елементи керування Q10, Q11, Q12 виконують функції електронних перемикачів, які керують потоками енергії у схемі. Значна кількість резисторів (зокрема R51, R52, R53, R54 тощо) слугує для розподілу напруги і струму, зокрема до операційних підсилювачів (U7B, U10D, U10B, U9D тощо), що здійснюють посилення та обробку сигналів. Компаратори (U13, U14) приймають аналогові сигнали від датчиків (TP2, TP3, TP5 тощо) і виконують їх порівняння. У разі виявлення перевищення встановлених порогових значень сигнал надходить на світлодіод D5, який сповіщає про перегрів апарата під час його функціонування або ж нестачу енергоживлення, а про живлення приладу від вбудованого акумулятора свідчить світлодіод D8.

1.15.3. Розробка алгоритму роботи блоку керування апарату

З метою забезпечення надійного функціонування блоку керування автоматизованого апарату ультразвукової терапії, було розроблено відповідний алгоритм його роботи, представлений на рисунку.

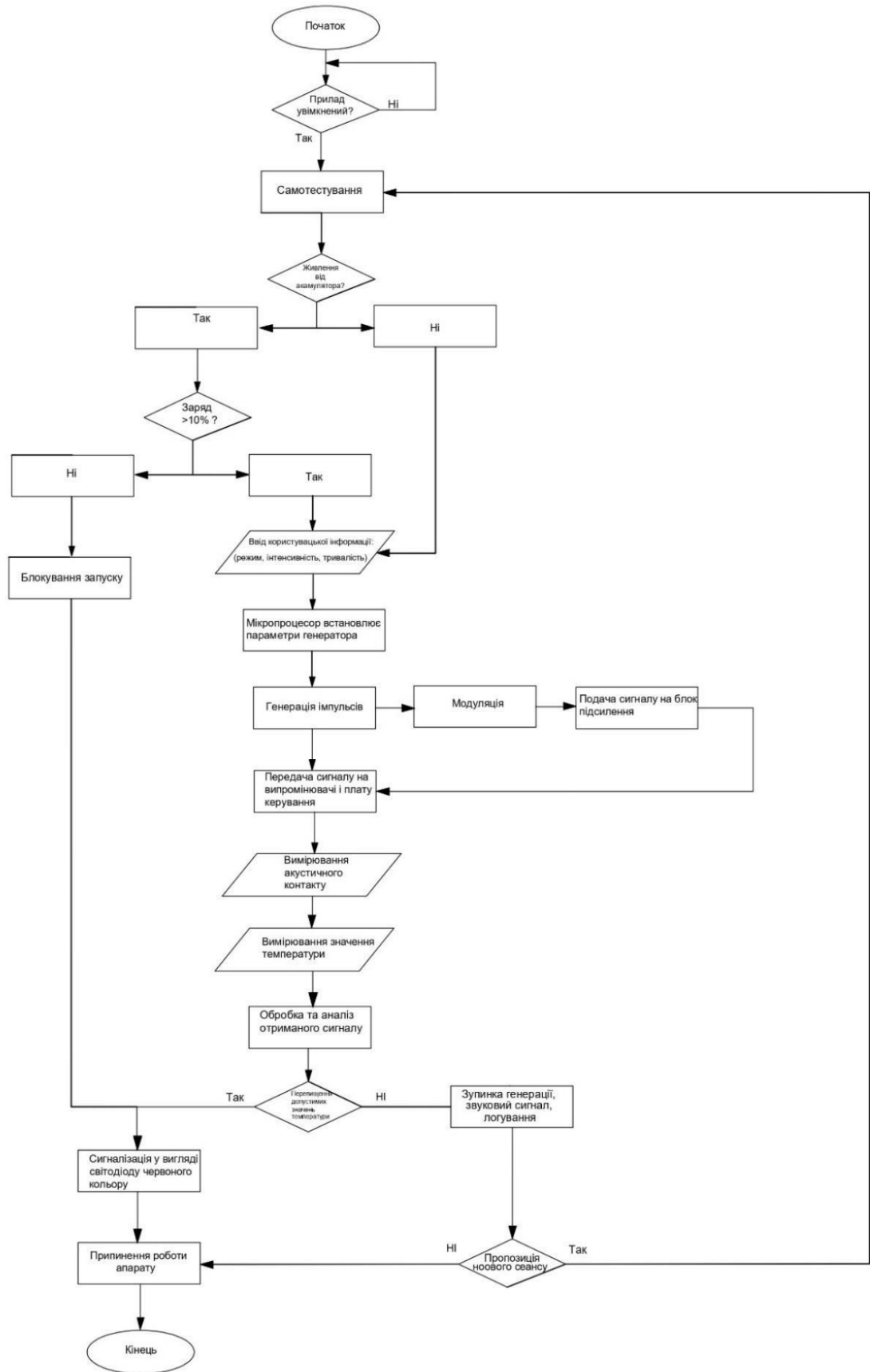


Рис. 1.18. Алгоритм роботи блоку керування

1.16. Розрахунок параметрів електричної схеми АУТА

1.16.1. Визначення характеристик стабілізатора напруги в електричній схемі АУТА

Щоб провести розрахунок стабілізатора напруги, необхідно врахувати його вхідні характеристики:

- Вихідна напруга $U_{\text{вих}} = 35 \text{ В}$;
- Макс. вхідна напруга $U_{\text{мах}} = 40 \text{ В}$;
- Мін. вхідна напруга $U_{\text{мін}} = 38 \text{ В}$;
- Потужність навантаження $P_N = U_{\text{вих}} 10 \text{ А} = 35 \text{ В} 10 \text{ А} = 1,5 \text{ Вт}$;

Перш ніж почати розраховувати стабілізатор напруги на основі регулятора LM2574, необхідно забезпечити умови застосування напруги і не перевищення допустимого значення потужності.

Для напруги потрібно забезпечити такі умови:

$$U_{\text{мах}} < U_{\text{мах.доп}} \quad (1.16.1.)$$

$$40 \text{ В} < 45 \text{ В}$$

$U_{\text{мах.доп}}$ – Максимальна допустима напруга на стабілізаторі LM2574;

$$U_{\text{мін}} - U_{\text{вих}} > U_{\text{Ст.мін}} \quad (1.16.2.)$$

$$38 \text{ В} - 35 \text{ В} > 2 \text{ В} \gg 3 \text{ В} > 2 \text{ В}$$

Можна зробити висновок, що напруга відповідає умовам.

Щоб перевірити стабілізатор на потужність, потрібно розрахувати струм навантаження і максимальне падіння напруги:

$$I_N = \frac{P_N}{U_{\text{вих}}} = \frac{1,5}{35} = 0,043 \text{ А}$$

$$U_{\text{пад}} = 40 - 35 = 5 \text{ В} ,$$

Тоді,

$$P_N = U_{\text{пад}} \cdot I_N = 0,043 \cdot 5 = 0,215 \text{ Вт.}$$

Так як, $PN < 1$ Вт,

то тепловідвод для LM2574 непотрібен.

1.17. Розрахунок характеристик акустичного тракту.

Акустичний тракт ультразвукового приладу — це маршрут, яким проходить ультразвукова хвиля від джерела випромінювання до приймального елемента. Він також включає конструктивні елементи перетворювачів, що здійснюють перетворення електричних сигналів у механічні коливання та навпаки.

Для розуміння принципу роботи акустичного тракту необхідно проаналізувати, яким чином ультразвук передається від перетворювача до об'єкта контролю.

Для визначення параметрів цього тракту слід встановити, які саме шари середовищ впливають на заломлення ультразвукових хвиль:

- **Шкіра;**
- **підшкірний жир**
- **м'язи;**
- **стінки судин;**
- **кров;**
- **сухожилля**
- **кісткова тканина.**

Під час дослідження акустичного тракту не враховували можливе заломлення ультразвукових хвиль, що може виникати при їх проходженні через електрод, протектор, нижню частину корпусу та контактну поверхню. Це пояснюється тим, що ці елементи мають малу товщину, тож їхній вплив на заломлення вважається незначним і може бути проігнорований.

Для визначення кутів θ , під якими ультразвукові хвилі переходять у кожне з середовищ, що складають еквівалентну модель акустичного тракту, скористаємося законом Снеліуса.

Розрахунки базуються на табличних довідкових даних.

Табл. 1.2.

Середовище	Значення швидкості ультразвуку, м/с
Шкіра	1650
Підшкірний жир	1750
М'язи	1700
Стінки судин	1570
Кров	1660
Сухожилля	1800
Кісткова тканина	4000

Так, з введених даних видно, що кут падіння на межі перетворювача - шкіра становить: $\theta_1 = 50^\circ$.

Кут заломлення на межі визначається за формулою:

$$\frac{c_n}{c_m} = \frac{\sin\theta_n}{\sin\theta_m} \quad (1.17.1)$$

1. Межа перетворювача – шкіра

Кут падіння: $\theta_1 = 50^\circ$.

Заломлення ультразвукових коливань під час їх передачі від перетворювача до шару шкіри не виникає, оскільки між ними немає меж з відмінними акустичними характеристиками.

Тоді: $\theta_{\text{перетв-шкіра}} = 50^\circ$

2. Межа шкіра – підшкірний жир

Кут падіння : $\theta_{\text{перетв-шкіра}} = 50^\circ$. $c_{\text{цтбк-з}} = 3600$ м/с

$$\frac{c_{\text{шкіра}}}{c_{\text{жир}}} = \frac{\sin\theta_{\text{шкіра}}}{\sin\theta_{\text{жир}}}; \quad (1.17.2.)$$

де $c_{\text{шкіра}}$ — швидкість ультразвукової хвилі в середовищі шкіри, $c_{\text{жир}}$ — швидкість ультразвукової хвилі в жировій тканині, а $\theta_{\text{шкіра}}$ і $\theta_{\text{жир}}$ — кути поширення ультразвукової хвилі до та після заломлення відповідно.

$$\theta_{\text{жир}} = \arcsin \left[\frac{c_{\text{жир}}}{c_{\text{шкіра}}} \sin\theta_{\text{шкіра}} \right] = \arcsin \left[\frac{1750}{1650} \sin 50^\circ \right] \approx 54,34^\circ$$

$$\theta_2 = 54,34^\circ$$

3. Межа підшкірний жир – м'язи

Кут падіння: $\theta_{\text{жир}} = 54,34^\circ$.

Аналогічно до попередніх розрахунків, визначаємо кут θ_3 (або $\theta_{\text{м'язи}}$) — це кут, під яким хвиля виходить із м'язового шару і, відповідно, падає на наступну межу розділу середовищ.

$$\frac{C_{\text{жир}}}{C_{\text{м'язи}}} = \frac{\sin\theta_{\text{жир}}}{\sin\theta_{\text{м'язи}}}; \quad (1.17.3.)$$

$$\theta_{\text{м'язи}} = \arcsin \left[\frac{C_{\text{м'язи}}}{C_{\text{жир}}} \sin\theta_{\text{жир}} \right] = \arcsin \left[\frac{1700}{1750} \sin 54,34^\circ \right] \approx 52,12^\circ$$

$$\theta_3 = 52,12^\circ$$

4. Межа м'язи – стінка судин

Кут падіння : $\theta_{\text{м'язи}} = 52,12^\circ$.

Подібно до попередніх розрахунків, кут θ_4 або $\theta_{\text{кров}}$ визначає напрям, під яким ультразвукова хвиля виходить із шару кровоносних судин і, відповідно, переходить до наступної межі.

$$\frac{C_{\text{судини}}}{C_{\text{кров}}} = \frac{\sin\theta_{\text{м'язи}}}{\sin\theta_{\text{судини}}} \quad (1.17.4.)$$

$$\theta_{\text{судини}} = \arcsin \left[\frac{C_{\text{судини}}}{C_{\text{м'язи}}} \sin\theta_{\text{м'язи}} \right] = \arcsin \left[\frac{1570}{1700} \sin 52,12^\circ \right] \approx 46,8^\circ$$

$$\theta_4 = 46,8^\circ$$

5. Межа стінка судин – кров

Кут падіння: $\theta_{\text{судини}} = 46,8^\circ$.

Аналогічно до попередніх обчислень, кут θ_5 або $\theta_{\text{кров}}$ — це кут, під яким ультразвукова хвиля виходить із шару кровоносних судин і прямує до наступної межі розділу середовищ.

$$\frac{C_{\text{судини}}}{C_{\text{кров}}} = \frac{\sin\theta_{\text{судини}}}{\sin\theta_{\text{кров}}} \quad (1.17.5.)$$

$$\theta_{\text{кістка}} = \arcsin \left[\frac{C_{\text{кров}}}{C_{\text{судини}}} \sin \theta_{\text{судини}} \right] = \arcsin \left[\frac{1660}{1570} \sin 46,8^\circ \right] \approx 50,42^\circ$$

1570

$$\theta_5 = 50,42^\circ$$

6. Межа кров – сухожилля

Кут падіння: $\theta_{\text{судини}} = 50,42^\circ$.

Розраховуємо кут θ_6 або $\theta_{\text{кров}}$, під яким хвиля залишає шар кровоносних судин і, відповідно, потрапляє на наступну межу.

$$\frac{C_{\text{кров}}}{C_{\text{сухожилля}}} = \frac{\sin\theta_{\text{кров}}}{\sin\theta_{\text{сухожилля}}} \quad (1.17.6.)$$

$$\theta_{\text{кістка}} = \arcsin \left[\frac{C_{\text{сухожилля}}}{C_{\text{кров}}} \sin\theta_{\text{кров}} \right] = \arcsin \left[\frac{1800}{1660} \sin 50,42^\circ \right] \approx 56,69^\circ$$

$$\theta_6 = 56,69^\circ$$

7. Межа сухожилля – кісткова тканина

Кут падіння: $\theta_{\text{судини}} = 56,69^\circ$.

Визначаємо кут θ_7 (або $\theta_{\text{кістка}}$), під яким ультразвукова хвиля виходить із шару кровоносних судин і переходить до наступної межі.

$$\frac{C_{\text{сухожилля}}}{C_{\text{кістка}}} = \frac{\sin\theta_{\text{сухожилля}}}{\sin\theta_{\text{кістка}}} \quad (1.17.7.)$$

$$\theta_{\text{кістка}} = \arcsin \left[\frac{C_{\text{кістка}}}{C_{\text{сухожилля}}} \sin\theta_{\text{сухожилля}} \right] = \arcsin \left[\frac{7000}{1800} \sin 56,69^\circ \right] \approx 33,22^\circ$$

$$\theta_7 = 33,22^\circ$$

Отримані дані про кути падіння на границі розподілу, вносимо до таблиці.

Таблиця 1.3.

Границя	Кут падіння УЗ
Вимірювальний перетворювач » шкіра	$\theta_1 = 50^\circ$
Шкіра » підшкірний жир	$\theta_2 = 54,34^\circ$
Підшкірний жир » м'язи	$\theta_3 = 52,12^\circ$
М'язи » судини	$\theta_4 = 46,8^\circ$
Судини » кров	$\theta_5 = 50,42^\circ$
Кров » сухожилля	$\theta_6 = 56,69^\circ$

Сухожилля >> кістка

$$\theta_7 = 33,22^\circ$$

Як можна помітити, коли ультразвук спрямовується на поверхню відбивної структури під кутом 50° , відбиті коливання мають кут $33,22^\circ$.

1.17.2. Розрахунок імпедансу

$$Z_{\text{ЦТБС-3}} = \rho \cdot c = 7,21 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 25,235 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{розчину}} = \rho \cdot c = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 10^3 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{шкіри}} = \rho \cdot c = 1,11 \cdot 10^3 \cdot 1,61 \cdot 10^3 = 1,78 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{жир}} = \rho \cdot c = 0,9 \cdot 10^3 \cdot 1,61 \cdot 10^3 = 1,45 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{м'язов. прошар.}} = \rho \cdot c = 1,2 \cdot 10^3 \cdot 1,575 \cdot 10^3 = 1,89 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{судини}} = \rho \cdot c = 1,7 \cdot 10^3 \cdot 1,62 \cdot 10^3 = 2,75 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{кров}} = \rho \cdot c = 1,05 \cdot 10^3 \cdot 1,54 \cdot 10^3 = 1,62 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{сухожилля}} = \rho \cdot c = 1,12 \cdot 10^3 \cdot 1,61 \cdot 10^3 = 1,8 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$Z_{\text{кістка}} = \rho \cdot c = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 1,9 \cdot 10^3 = 2,85 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

Таблиця 1.4.

Межа	Значення імпедансу
$Z_{\text{ЦТБС-3}}$	$25,24 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$
$Z_{\text{розчину}}$	$1,5 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$
$Z_{\text{шкіри}}$	$1,78 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$
$Z_{\text{жир}}$	$1,45 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$
$Z_{\text{м'язов. прошар.}}$	$1,89 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$
$Z_{\text{судини}}$	$2,75 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$
$Z_{\text{кров}}$	$1,62 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$
$Z_{\text{сухожилля}}$	$1,8 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$
$Z_{\text{кістка}}$	$2,85 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2\text{с};$

1.17.3. Розрахунок коефіцієнту проходження по інтенсивності

$$T_{\text{ЦТБС-3-протектор}} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} = \frac{4 \cdot 25.24 \cdot 6.25}{(25.24 + 6.25)^2} = 0.636;$$

$$T_{\text{протектор-шкіра}} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} = \frac{4 \cdot 6.25 \cdot 1.78}{(6.25 + 1.78)^2} = 0.246;$$

$$T_{\text{шкіра-жир}} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2}{(Z_1 \cdot \cos\theta_2 + Z_2 \cdot \cos\theta_1)^2} = \frac{4 \cdot 1.78 \cdot 1.45 \cdot \cos 50^\circ \cdot \cos 54.34^\circ}{(1.78 \cdot \cos 50^\circ + 1.45 \cdot \cos 54.34^\circ)^2} = 0.977;$$

$$T_{\text{жир-м'язи}} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2}{(Z_1 \cdot \cos\theta_2 + Z_2 \cdot \cos\theta_1)^2} = \frac{4 \cdot 1.45 \cdot 1.89 \cdot \cos 54.32^\circ \cdot \cos 52.12^\circ}{(1.45 \cdot \cos 54.34^\circ + 1.89 \cdot \cos 52.12^\circ)^2} = 0.975;$$

$$T_{\text{м'язи-судини}} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2}{(Z_1 \cdot \cos\theta_2 + Z_2 \cdot \cos\theta_1)^2} = \frac{4 \cdot 1.89 \cdot 2.75 \cdot \cos 52.12^\circ \cdot \cos 46.8^\circ}{(1.89 \cdot \cos 52.12^\circ + 2.75 \cdot \cos 46.8^\circ)^2} = 0.944;$$

$$T_{\text{судини-кров}} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2}{(Z_1 \cdot \cos\theta_2 + Z_2 \cdot \cos\theta_1)^2} = \frac{4 \cdot 2.75 \cdot 1.62 \cdot \cos 46.8^\circ \cdot \cos 50.42^\circ}{(2.75 \cdot \cos 46.8^\circ + 1.62 \cdot \cos 50.42^\circ)^2} = 0.915;$$

$$T_{\text{кров-сухожилля}} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2}{(Z_1 \cdot \cos\theta_2 + Z_2 \cdot \cos\theta_1)^2} = \frac{4 \cdot 1.62 \cdot 1.8 \cdot \cos 50.42^\circ \cdot \cos 56.69^\circ}{(1.62 \cdot \cos 50.42^\circ + 1.8 \cdot \cos 56.69^\circ)^2} = 0.999;$$

$$T_{\text{сухожилля-кістка}} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2}{(Z_1 \cdot \cos\theta_2 + Z_2 \cdot \cos\theta_1)^2} = \frac{4 \cdot 1.8 \cdot 2.85 \cdot \cos 56.69^\circ \cdot \cos 33.22^\circ}{(1.8 \cdot \cos 56.69^\circ + 2.85 \cdot \cos 33.22^\circ)^2} =$$

0.816;

Таблиця 1.5.

Межа розподілу	Знаходження коефіцієнту проходження
T _{ЦТБС-3-протектор}	0,636
T _{протектор-шкіра}	0,246
T _{шкіра-жир}	0,977
T _{жир-м'язи}	0,975
T _{м'язи-судини}	0,944
T _{судини-кров}	0,915

$T_{\text{кров-сухожилля}}$	0,999
$T_{\text{сухожилля-кістка}}$	0,816

1.17.4. Розрахунок геометричних розмірів п'єзоелемента

П'єзоелемент схожий на прямокутну пластину.

Швидкість розповсюдження УЗ хвиль: $C_{\text{ЦТК-3}} = 3600 \text{ м/с}$;

Тоді товщина шарів становить:

$$h_{\text{шкіри}} = 0,01 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{жир}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{м'язи}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{судини}} = 0,02 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{кров}} = 0,05 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{сухожилля}} = 0,06 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{кістка}} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

Таблиця 1.6.

Біологічна тканина	Товщина шарів
Шкіра	$0,01 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
Жир	$2 \cdot 10^{-2} \text{ м};$
М'язовий прошарок	$2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
Судини	$0,02 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
Кров	$0,05 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
Сухожилля	$0,06 \cdot 10^{-2} \text{ м};$
Кістка	$3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$

Розрахунок товщини п'єзоелемента: Висота елементів решітки визначається з формули робочої частоти:

$$h = \frac{\lambda_{\text{ПЕ}}}{2} = \frac{C_{\text{ПЕ}}}{2f} \quad (1.17.8.)$$

$$h = \frac{3600 \text{ м/с}}{2 \cdot 3 \cdot 10^6 \text{ Гц}} = 0,6 \text{ мм};$$

де $\lambda_{\text{сер}}$ - середнє значення довжини хвилі у шкірі ($\lambda_{\text{шкіра}}$), жиру ($\lambda_{\text{жир}}$), м'язовий прошарок ($\lambda_{\text{м'язов.прош.}}$), судинах ($\lambda_{\text{судини}}$), крові ($\lambda_{\text{крові}}$), сухожилля ($\lambda_{\text{сухожилля}}$), кістки ($\lambda_{\text{кістка}}$).

$$\lambda_{\text{сер}} = \frac{\lambda_{\text{шкіра}} + \lambda_{\text{жир}} + \lambda_{\text{м'язов.прош.}} + \lambda_{\text{судини}} + \lambda_{\text{крові}} + \lambda_{\text{сухожилля}} + \lambda_{\text{кістка}}}{7} \quad (1.17.9.)$$

Щоб обчислити $\lambda_{\text{сер}}$, потрібно скористатися таким співвідношенням:

$$h = \frac{c_i}{f} \quad (1.17.10)$$

де c_i – швидкість ультразвуку в i -тому середовищі;

f – робоча частота.

$$\lambda_{\text{шкіра}} = \frac{1650}{9,5 \cdot 10^6} \approx 174 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\lambda_{\text{жир}} = \frac{1750}{9,5 \cdot 10^6} \approx 184 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\lambda_{\text{м'язи}} = \frac{1700}{9,5 \cdot 10^6} \approx 179 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\lambda_{\text{судини}} = \frac{1570}{9,5 \cdot 10^6} \approx 165 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\lambda_{\text{кров}} = \frac{1660}{9,5 \cdot 10^6} \approx 175 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\lambda_{\text{сухожилля}} = \frac{1800}{9,5 \cdot 10^6} \approx 189 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$\lambda_{\text{кістка}} = \frac{4000}{9,5 \cdot 10^6} \approx 421 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

Тоді $\lambda_{\text{сер}} =$

$$\frac{174 \cdot 10^{-6} + 184 \cdot 10^{-6} + 179 \cdot 10^{-6} + 165 \cdot 10^{-6} + 175 \cdot 10^{-6} + 189 \cdot 10^{-6} + 421 \cdot 10^{-6}}{7} = 212,43 \cdot$$

$10^{-6} \text{ м};$

Для обчислення максимальної глибини сканування потрібно врахувати параметри ультразвукової системи, зокрема частоту хвиль, швидкість поширення звуку в тканинах і бажану глибину проникнення.

Розрахунок максимальної глибини сканування:

$$h_{\text{сер}} = h_{\text{шкіри}} + h_{\text{жиру}} + h_{\text{мязов.прошар}} + h_{\text{судини}} + h_{\text{кров}} + h_{\text{сухожилля}} + h_{\text{кістка}} = (0.01+2+2+0.02+0.05+0.06+3) \cdot 10^{-2} = 7.14 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

Період решітки розраховується за формулою:

$$d_n = \frac{\lambda_{\text{ш}}}{2} = \frac{c_{\text{ш}}}{2 f_p} = \frac{0.208 \text{ мм}}{2} = 0,104(\text{мм})$$

Розрахунок площі пластини п'єзоперетворювача:

$$S = L \cdot a = 26,4 \text{ мм} \cdot 2 \cdot 5 \text{ мм} = 264 (\text{мм}^2)$$

1.17.5. Розрахунок коефіцієнту послаблення акустичного тракту

$$\frac{S_{\text{кістка}} \cdot S_{\text{перетвор}} \cdot T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot T_{I3} \cdot T \cdot R_p}{\lambda_{\text{сер}} \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7)} \cdot e^w \quad (1.17.11)$$

$$e^w = e^{-2 \cdot (\alpha_{p1} \cdot h_1 + \alpha_{p2} \cdot h_2 + \alpha_{p3} \cdot h_3 + \alpha_{p4} \cdot h_4 + \alpha_{p5} \cdot h_5 + \alpha_{p6} \cdot h_6 + \alpha_{p7} \cdot h_7)} \quad (1.17.12)$$

h_i - товщина прошарків; α_i - коефіцієнт згасання;

$$z = \rho_i \cdot c_i \quad (1.17.13)$$

Розрахунок коефіцієнта відбиття:

$$R_{R_{\text{кістки-сухожилля}}} = \frac{|z_2 - z_1|}{|z_2 + z_1|} = \frac{|1.8 - 2.85|}{|1.8 + 2.85|} = 0,226$$

$$R_{R_{\text{сухожилля-кров}}} = \frac{|z_2 - z_1|}{|z_2 + z_1|} = \frac{|1.62 - 1.8|}{|1.62 + 1.8|} = 0,053$$

$$R_{R_{\text{кров-судин}}} = \frac{|z_2 - z_1|}{|z_2 + z_1|} = \frac{|2.75 - 1.62|}{|2.75 + 1.62|} = 0,259$$

$$R_{R_{\text{судини-м'язи}}} = \frac{|z_2 - z_1|}{|z_2 + z_1|} = \frac{|1.89 - 2.75|}{|1.89 + 2.75|} = 0,185$$

$$R_{R_{\text{м'язи-жир}}} = \frac{|z_2 - z_1|}{|z_2 + z_1|} = \frac{|1.45 - 1.89|}{|1.45 + 1.89|} = 0,132$$

$$R_{R_{\text{жир-шкіра}}} = \frac{|z_2 - z_1|}{|z_2 + z_1|} = \frac{|1.78 - 1.45|}{|1.78 + 1.45|} = 0,102$$

$$R_{R_{\text{шкіра-розчин}}} = \frac{|1.5 - 1.78|}{|1.5 + 1.78|} = 0,085$$

R_R – коефіцієнт відбиття по тиску;

Розрахунок товщини шарів:

$$h_i = \frac{h'_i}{\cos \alpha_i} \quad (1.17.14)$$

де h_i - значення товщини i -го прошарку;

α_i - кут падіння ультразвуку в прошарках;

$$h_1 = \frac{h'_1}{\cos \alpha_1} \approx \frac{0.01}{\cos 50^\circ} = 0,016 - \text{шкіра};$$

$$h_2 = \frac{2}{\cos \alpha_2} \approx \frac{2}{\cos 54.34^\circ} = 3,43 - \text{підшкірний жир};$$

$$h_3 = \frac{h'_3}{\cos \alpha_3} \approx \frac{2}{\cos 52.12^\circ} = 3,257 - \text{м'язи};$$

$$h_4 = \frac{4}{\cos \alpha_4} \approx \frac{4}{\cos 46.8^\circ} = 0,029 - \text{судини};$$

$$h_5 = \frac{h'_5}{\cos \alpha_5} \approx \frac{0.05}{\cos 50.42^\circ} = 0,078 - \text{кров};$$

$$h_6 = \frac{h'_6}{\cos \alpha_6} \approx \frac{0.06}{\cos 56.69^\circ} = 0,109 - \text{сухожилля};$$

$$h_7 = \frac{h'_7}{\cos \alpha_7} \approx \frac{3}{\cos 33.22^\circ} = 3,586 - \text{кістка};$$

$$h_{\text{сум}} = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7) \cdot 10^{-2} = 10,505 \cdot 10^{-2} \text{ см}$$

Розрахунок загасання акустичного променя в біологічних шарах.

Для проведення розрахунків щодо загасання акустичного променя необхідно використовувати середні значення коефіцієнта загасання ультразвуку, які характеризують його зменшення в біологічних середовищах, тому приведемо деякі із них у таблицю.

Таблиця 1.7.

Біологічна тканина	$K_{\text{заг}}$, дБ/см
Серум	0.03
Кров	0.09
Жирова тканина	0.6
Мозок	0.9
Печінка	0.6
Стінки прямої кишки	1.2
Мязи	1.3
Серцевий м'яз	2
Нирка	1
Шкіра	0.9
Кістки	30
Судини	0.8
Хрящ	2
Сухожилля	6

Значення коефіцієнтів загасання по тиску:

$$\alpha_{p1} = 0,9 \text{ (Дб/см);}$$

$$\alpha_{p2} = 0,6 \text{ (Дб/см);}$$

$$\alpha_{p3} = 1,3 \text{ (Дб/см);}$$

$$\alpha_{p4} = 0,8 \text{ (Дб/см);}$$

$$\alpha_{p5} = 0,09 \text{ (Дб/см);}$$

$$\alpha_{p6} = 6 \text{ (Дб/см);}$$

$$\alpha_{p7} = 30 \text{ (Дб/см);}$$

Розрахунок коефіцієнту загасання в залежності від групи об'єкту дослідження:

$$\alpha p1 = \frac{0,9 \cdot 100}{8,68} = 10,369 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha p2 = \frac{0,6 \cdot 100}{8,68} = 6,912 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha p3 = \frac{1,3 \cdot 100}{8,68} = 14,976 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha p4 = \frac{0,8 \cdot 100}{8,68} = 9,217 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha p5 = \frac{0,09 \cdot 100}{8,68} = 1,037 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha p6 = \frac{6 \cdot 100}{8,68} = 69,124 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha p7 = \frac{30 \cdot 100}{8,68} = 345,622 \text{ (нП/м)};$$

Визначення коефіцієнту проходження по інтенсивності

$$T_1 = T_{11} \cdot T_{12} \cdot T_{13} \cdot T_{14} \cdot T_{15} \cdot T_{16} \cdot T_{17} \quad (1.17.15)$$

$$T_1 = 0,636 \cdot 0,246 \cdot 0,977 \cdot 0,975 \cdot 0,944 \cdot 0,915 \cdot 0,999 \cdot 0,816 = 0,105;$$

Розрахунок коефіцієнту ослаблення акустичного тракту:

$$K_{A.T} = \frac{S'}{h \cdot \lambda} T_{I1} R_p e^{-2h\alpha p} \quad (1.17.16)$$

Розрахунок коефіцієнту акустичного тракту на першому прошарку:

$$K_{A.T} = \frac{S_{шкіри}}{h_1 \cdot \lambda} T_{I1} R_p e^{-2h_1 \alpha_{p1}} = \frac{0,01}{0,016 \cdot 174} \cdot 0,246 \cdot 0,085 \cdot e^{-2 \cdot 0,016 \cdot 10369} = 1,79 \cdot$$

10^{-2}

Розрахунок коефіцієнту акустичного тракту на другому прошарку:

$$K_{A.T2} = \frac{S_{шкіри}}{(h_1+h_2) \cdot \lambda} T_{I1} T_{I2} R_p e^{-2(h_1 \alpha_{p1} + h_2 \alpha_{p2})} =$$

$$\frac{0,01}{(0,016+3,43) \cdot 184} \cdot 0,246 \cdot 0,085 \cdot e^{-2 \cdot (0,016 \cdot 10369 + 3,43 \cdot 69,12)} = 3,086 \cdot 10^{-3}$$

$$K_{A.T3} = \frac{S_{шкіри}}{(h_1+h_2+h_3) \cdot \lambda} T_{I1} T_{I2} T_{I3} R_p e^{-2(h_1 \alpha_{p1} + h_2 \alpha_{p2} + h_3 \alpha_{p3})} =$$

$$\frac{0,01}{(0,016+3,43+3,257) \cdot 179} \cdot 0,246 \cdot 0,977 \cdot 0,085 \cdot$$

$$e^{-2 \cdot (0.016 \cdot 10369 + 3.43 \cdot 69.12 + 3.257 \cdot 14976)} = 1.529 \cdot 10^{-4}$$

$$K_{A.T4} = \frac{S_{\text{шкіри}}}{(h_1+h_2+h_3+h_4) \cdot \lambda} T_{I1} T_{I2} T_{I3} T_{I4} R_p e^{-2(h_1\alpha_{p1}+h_2\alpha_{p2}+h_3\alpha_{p3}+h_4\alpha_{p4})} =$$

$$\frac{0.01}{(0.016+3.43+3.257+0.029) \cdot 165} \cdot 0.246 \cdot 0.977 \cdot 0.975 \cdot 0.944 \cdot 0.085 \cdot$$

$$e^{-2 \cdot (0.016 \cdot 10369 + 3.43 \cdot 69.12 + 3.257 \cdot 14976 + 0.029 \cdot 9217)} = 1.033 \cdot 10^{-5}$$

$$K_{A.T5} = \frac{S_{\text{шкіри}}}{(h_1+h_2+h_3+h_4+h_5) \cdot \lambda}$$

$$T_{I1} T_{I2} T_{I3} T_{I4} T_{I5} R_p e^{-2(h_1\alpha_{p1}+h_2\alpha_{p2}+h_3\alpha_{p3}+h_4\alpha_{p4}+h_5\alpha_{p5})} =$$

$$\frac{0.01}{(0.016+3.43+3.257+0.029+0.078) \cdot 175} \cdot 0.246 \cdot 0.977 \cdot 0.975 \cdot 0.944 \cdot 0.915 \cdot 0.085 \cdot$$

$$e^{-2 \cdot (0.016 \cdot 10369 + 3.43 \cdot 69.12 + 3.257 \cdot 14976 + 0.029 \cdot 9217 + 0.078 \cdot 1037)} = 4.878 \cdot 10^{-6}$$

$$K_{A.T6} = \frac{S_{\text{шкіри}}}{(h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+h_6) \cdot \lambda}$$

$$T_{I1} T_{I2} T_{I3} T_{I4} T_{I5} T_{I6} R_p e^{-2(h_1\alpha_{p1}+h_2\alpha_{p2}+h_3\alpha_{p3}+h_4\alpha_{p4}+h_5\alpha_{p5}+h_6\alpha_{p6})} =$$

$$\frac{0.01}{(0.016+3.43+3.257+0.029+0.078+0.109) \cdot 189} \cdot 0.246 \cdot 0.977 \cdot 0.975 \cdot 0.944 \cdot 0.915 \cdot$$

$$0.999 \cdot 0.085 \cdot$$

$$e^{-2 \cdot (0.016 \cdot 10369 + 3.43 \cdot 69.12 + 3.257 \cdot 14976 + 0.029 \cdot 9217 + 0.078 \cdot 1037 + 0.109 \cdot 69124)} = 1.778 \cdot$$

$$10^{-7}$$

$$K_{A.T7} = \frac{S_{\text{шкіри}}}{(h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+h_6+h_7) \cdot \lambda}$$

$$T_{I1} T_{I2} T_{I3} T_{I4} T_{I5} T_{I6} T_{I7} R_p e^{-2(h_1\alpha_{p1}+h_2\alpha_{p2}+h_3\alpha_{p3}+h_4\alpha_{p4}+h_5\alpha_{p5}+h_6\alpha_{p6}+h_7\alpha_{p7})} =$$

$$\frac{0.01}{(0.016+3.43+3.257+0.029+0.078+0.109+3.586) \cdot 421} \cdot 0.246 \cdot 0.977 \cdot 0.975 \cdot 0.944 \cdot$$

$$0.915 \cdot 0.999 \cdot 0.816 \cdot 0.085 \cdot$$

$$e^{-2 \cdot (0.016 \cdot 10369 + 3.43 \cdot 69.12 + 3.257 \cdot 14976 + 0.029 \cdot 9217 + 0.078 \cdot 1037 + 0.109 \cdot 69124 + 3.586 \cdot 345622)} =$$

$$1.105 \cdot 10^{-8}$$

На рис представлено графік, що демонструє залежність $KA.T$ від hi .

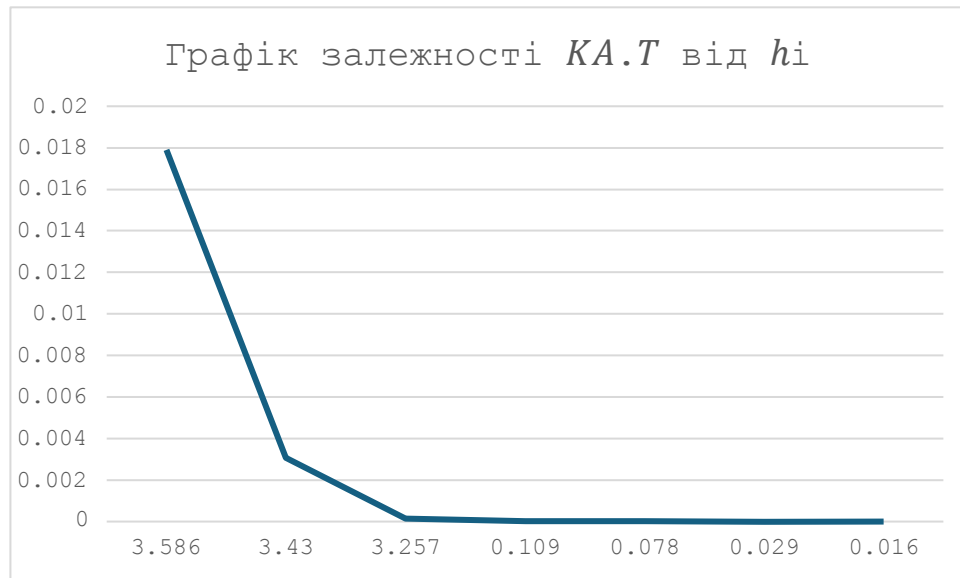


Рис 1.19. Графік залежності коефіцієнта ослаблення $КА.Т$ від h_i .

Електроакустичний розрахунок напруги випромінювача

Напруга випромінювача, розраховується за формулою:

$$U_{П.Н} = U_B \cdot K_{АТ} \cdot КП_{ПВ} \quad (1.17.17)$$

де $U_{П.Н}$ - приймальна напруга сигналу;

$U_{Ш}$ - напруга шумової частини відбитого сигналу; U_B

– напруга під час випромінювання;

$K_{АТ}$ – коефіцієнт акуст. тракту;

$КП_{ПВ}$ - коефіцієнт перетворення;

$$\frac{U_{П.Н}}{U_{Ш}} > 5; \quad (1.17.18)$$

$$U_{П.Н} = 400 \cdot 10^{-6} \text{ В};$$

$$U_{Ш} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ В};$$

$$K_{АТ} = 2,357 \cdot 10^{-5} \text{ В};$$

$$U_B = \frac{400 \cdot 10^{-6}}{2,357 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3} = 56,5 \text{ В}.$$

Після проведення розрахунку, можна зробити висновок, що нормальне значення напруги яке можна використовувати буде $U_B = 56,5 \text{ В}$.

Розрахунок енергетичних характеристик п'єзоперетворювача

Відповідно до ДСТУ 9161:2021, в діагностичних процедурах інтенсивність ультразвукових коливань не повинна перевищувати 3 мВт/см².

Розрахунок потужності випромінювача:

$$W_{\text{акуст}} = W_{\text{питом}} \cdot S_n = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 0.012 \text{ Вт},$$

де $W_{\text{питом}}$ - акустична потужність випромінювання, S_n - площа п'єзоблока.

Розрахунок коефіцієнта електромеханічної трансформації:

$$N = d_{31} \cdot E_{\text{ЕЮ1}} \cdot w = 1 \cdot 10^{-10} \cdot 6.4 \cdot 10^8 \cdot 0.026 = 1.7 \cdot 10^{-3}$$

де d_{31} - п'єзомодуль, $E_{\text{ЕЮ1}}$ - модуль Юнга, w - питома акустична потужність випромінювання.

Розрахунок еквівалентної маси:

$$M_a = \frac{\rho \cdot S_{nc} \cdot l}{2} = \frac{6000 \cdot 0.1 \cdot 10^{-4} \cdot 0.034}{2} = 1.02 \cdot 10^{-3} \text{ кг},$$

де ρ - густина п'єзокераміки, S_{nc} площа поперекового перерізу п'єзопластини, l - довжина п'єзоблока.

Опір випромінювання:

$$Z_n = \rho \cdot v \cdot S = 6000 \cdot 3120 \cdot 8.84 \cdot 10^{-4} = 1.65 \cdot 10^4 \text{ Ом},$$

де v - швидкість розповсюдження хвилі, S - площа випромінювання.

Розрахунок опору механічних втрат:

$$r_{\text{МВ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot M}{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 0.2 \cdot 10^{-2}}{50} = 502.4 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

де f_p - робоча частота перетворювача, M - маса перетворювача, Q - добротність п'єзокераміки.

Розрахунок смуги пропускання:

$$2\Delta f = \frac{f_p}{Q_n} = \frac{2 \cdot 10^6}{0.4} = 5 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$

Електрична напруга збудження:

$$U = S_{nc} \cdot \frac{a_p(\rho c)_в \cdot P_{a \text{ пит}}}{2 \cdot N \cdot \eta} = 0.1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{1.02 \cdot 1050 \cdot 1540 \cdot 250}{2 \cdot 1.7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5}} = 4.92 \text{ В}$$

де a_p - радіус, c - швидкість звука, $P_{a \text{ пит}}$ – питома акустична потужність, η – коефіцієнт корисної дії.

Отже, проаналізувавши енергетичні характеристики п'єзоперетворювача, ми дійшли висновку, що рівень ультразвукових коливань, які він створює, не перевищує допустиме значення в 1.3 мВт/см².

Таким чином були розраховано параметри акустичного тракту: кути заломлення ультразвукової хвилі, їх довжини, коефіцієнти відбиття, товщини шарів, коефіцієнти проходження та ослаблення акустичного сигналу, електроакустичний розрахунок та енергетичні параметри п'єзоперетворювача.

Висновок до конструкторського розділу

У цьому розділі дипломного проєкту проаналізовано різні аспекти ультразвукової терапії на основі наукових праць та літературних джерел. Розглянуто актуальні світові тенденції розвитку медичних технологій, зокрема у сфері систем і приладів для ультразвукової терапії. Здійснено класифікацію та детальний огляд існуючих апаратів, що дозволило виявити їх особливості, недоліки та визначити шляхи для подальшого вдосконалення обладнання, зокрема ультразвукових апаратів і перетворювачів.

На основі проведеного аналізу була розроблена структура автоматизованого ультразвукової терапевтичного апарату (АУТА), який відповідає розробленій класифікації та здатен задовольнити потреби кінцевого користувача. В процесі роботи : розроблено структурно-функціональну схему автоматизованого ультразвукового апарату; проведено проєктування, створено конструкцію АУТА та виконано комплект креслень; виконано розрахунок параметрів акустичного тракту; розроблено електричну принципову схему пристрою; проведено розрахунок основних параметрів цієї схеми; запропонований алгоритм роботи блоку керування.

У результаті створений АУТА здатний здійснювати автоматичний контроль температури нагрівання під час експлуатації, що підвищує безпеку використання апарату фахівцем або лікарем у роботі з пацієнтом.

Технологічний

Розділ

2.1. Оцінка технологічності розробленого пристрою

2.1.1. Характеристика конструкції автоматизованого апарату для ультразвукової терапії

Конструкція автоматизованого ультразвукового терапевтичного апарату зображена на кресленні з шифром ДПБ.ПБ-з11.01.1720.01.СК, що міститься в додатках.

Послідовність складання апарата

Збирання пристрою відбувається за визначеним порядком. Основним елементом, на якому побудована вся конструкція, є корпус (деталь 3). Першим етапом є складання плати керування — першого вузла. Її встановлюють всередину корпусу та закріплюють за допомогою гвинтів (позиція 10). Далі до плати припаюють три дроти (деталь 11) з використанням припою ПОС-60: два з них з'єднують з роз'ємами (позиції 17 і 18), а третій — із світлодіодом (деталь 12).

Наступний крок — монтаж елементів управління та індикації:

- кнопка запуску (деталь 14) — призначена для активації пристрою;
- кнопка регулювання (позиція 20) — для зміни сили вихідного сигналу;
- рідкокристалічний дисплей (15) — виводить параметри терапії;
- кнопки управління (16),
- роз'єми (17 і 18),
- світлодіоди (12), що сигналізують про перевищення допустимої температури та роботу від акумулятора.
- перемикач режиму живлення (деталь 19).

Після встановлення цих компонентів корпус (3) закривається кришкою (4), які з'єднуються шляхом склеювання клеєм марки 88-СА.

Далі формується другий вузол — випромінювач. Його основою є терапевтична головка (деталь 2), яка складається з таких частин:

- водонепроникна муфта (5), до якої припаюють високочастотний провід (13) знову ж таки припоями типу ПОС-60;

- контактна пружина (6), що з'єднується з провідником (13) і припаюється до кварцового перетворювача (також 6);
- сам перетворювач кріпиться до металевого торця (деталь 7) з використанням клею 88-СА.

Усі ці елементи збираються в єдину конструкцію — терапевтичну головку, яку поміщають у корпус випромінювача (позиція 9). Після завершення цих етапів випромінювач встановлюється на основний корпус пристрою (деталь 3), що завершує процес збирання апарата.

2.1.2. Розрахунок технологічності спроектованого апарату

Технологічна конструкція приладу — це така конструкція, яка повністю відповідає вимогам експлуатації та може бути виготовлена за допомогою ефективних і економічних технологічних процесів. Основна мета підвищення технологічності полягає в зменшенні трудозатрат і вартості виробництва приладу.

Розрахунок критерію трудомісткості:

$$KTP = \frac{T_{д.тр}}{T_{б.тр}} < 1; \quad (2.1)$$

де $T_{д.тр}$ – досягнута трудомісткість виробу;

$T_{б.тр}$ – базовий показник трудомісткості.

Розрахунок технологічної собівартості:

$$C_T = C_{в.м} + C_3 + C_{ц.в}; \quad (2.1.1)$$

де $C_{в.м}$ – вартість матеріалу, що витрачається на виготовлення.

C_3 – заробітна плата робітників;

$C_{ц.в}$ – цехові витрати (обслуговування, ремонт, закупівля, тощо).

Розрахунок критерію собівартості:

$$K_C = \frac{C_{д.в}}{C_{б.в}} < 1; \quad (2.1.2)$$

де $C_{д.в}$ – показник досягнутої собівартості виробу;

$C_{Б.В}$ – показник технологічної собівартості.

Розрахунок відносних показників технологічності:

Визначення показника відносної складності виробу: $K_{С.В} = \frac{N_k}{n_k}$;

(2.1.3)

Де N_k – загальна кількість вузлів виробу;

n_k – загальна кількість деталей присутніх у виробі.

Критерій оцінки показника відносної складності:

$K_{С.В} < 0.1$ – низький, $K_{С.В} = 0.1 \dots 0.2$ – задовільний, $K_{С.В} > 0.2$ – добрий.

$$K_{С.В} = \frac{N_k}{n_k} = \frac{3}{36} = 0,083$$

Висновок: Показник відносної складності $K_{С.В}$ низький.

Визначення показника уніфікації виробу:

Для визначення показника уніфікації потрібно розібратися які вузли та деталі є уніфікованими. Для цього потрібно привести таблиці уніфікації вузлів

й деталей базового виробу.

Для визначення показника уніфікації потрібно розібратися які вузли та деталі є уніфікованими. Для цього потрібно привести таблиці уніфікації вузлів й деталей.

Таблиця 2.1. Список вузлів

№	Список вузлів	Кількість	Примітка
1	Плата СК	1	не уніфікований
2	Випромінювач СК	1	не уніфікований
3	Корпус СК	1	не уніфікований

Таблиця 2.2. Список деталей

Позиція	Список деталей	Кількість	Примітка
1	Плата керування	1	не уніфікована
2	Терапевтична головка	1	не уніфікована
3	Корпус	1	не уніфікована
4	Кришка	1	не уніфікована
5	Водопроникаюча муфта	1	не уніфікована
6	Кварцевий перетворювач	1	не уніфікована
7	Металічний торець	1	не уніфікована
8	Контактна пружина	1	не уніфікована
9	Корпус випромінювача	1	не уніфікована
10	Гвинт	4	уніфікована
11	Провід	3	уніфікована
12	Світлодіод	2	уніфікована
13	Високочастотний провід	1	уніфікована
14	Кнопка пуску	1	уніфікована
15	Рідкокристалічний екран	1	уніфікована
16	Кнопка керування	8	уніфікована
17	Роз'єм (5 см ²)	1	уніфікована
18	Роз'єм (1 см ²)	1	уніфікована
19	Перемикач	1	уніфікована
20	Кнопка регулювання	1	уніфікована
21	Батарея	4	уніфікована

$$K_{y.v} = \frac{N_{y.v} + n_{y.d}}{N_k + n_k}; \quad (2.1.4)$$

Рівень уніфікації оцінюється за таким еталоном:

$K_{y.v} < 0.25$ – низький, $K_{y.v} = 0.25 \dots 0.5$ – задовільний, $K_{y.v} > 0.5$ – добрий.

де $N_{y.v}$ — кількість уніфікованих вузлів виробу, $n_{y.d}$ — загальна кількість уніфікованих деталей, N_k — загальна кількість вузлів виробу, n_k — повна

кількість деталей, що входять до складу виробу.

$$K_{\text{у.в}} = \frac{N_{\text{у.в}} + n_{\text{у.д}}}{N_k + n_k} = \frac{0+23}{3+36} = 0,59$$

Висновок: Значення показника уніфікації є $K_{\text{у.в}} > 0.5$ – добрий.

Визначення показника уніфікації по вузлам:

$$K_N = \frac{N_{\text{у.в}}}{N_k}; \quad (2.1.5)$$

Еталон рангу показника уніфікації по вузлам:

$K_N < 0.2$ – низький, $K_N = 0.2 \dots 0.4$ – задовільний, $K_N > 0.4$ – добрий.

Де $N_{\text{у.в}}$ - кількість уніфікованих вузлів виробу, N_k – загальна кількість вузлів виробу.

$$K_N = \frac{N_{\text{у.в}}}{N_k} = \frac{0}{3} = 0;$$

Висновок: Значення показник уніфікації по вузлам $K_N < 0.2$ – низький.

Визначення показника уніфікації по деталям:

$$K_n = \frac{n_{\text{у.д}}}{n_k}; \quad (2.1.6)$$

Еталон значення показника уніфікації по деталям:

$K_n < 0.3$ – низький, $K_n = 0.3 \dots 0.6$ – задовільний, $K_n > 0.6$ – добрий.

Де $n_{\text{у.д}}$ - кількість уніфікованих деталей виробу, n_k – загальна кількість деталей присутніх у виробі.

$$K_n = \frac{n_{\text{у.д}}}{n_k} = \frac{23}{36} = 0,639;$$

Висновок: Значення показника уніфікації деталей, що перевищує 0,6, вважається хорошим.

Оцінка технологічності за уніфікованими операціями:

Щоб розрахувати показник технологічності на основі уніфікованих операцій, необхідно визначити, які з них є уніфікованими. Для цього слід скласти таблицю з розподілом виконуваних операцій.

Таблиця 2.3 Список складальних операцій

	Список операцій	Примітка
1	Встановлення	не уніфікована
2	Загвинчування	уніфікована
3	Паяння	уніфікована
4	Клеєння	уніфікована
5	Випробування	не уніфікована
6	Регулювання	не уніфікована
7	Контроль	не уніфікована

$$K_{y.o} = \frac{Q_{y.o}}{Q_{\Sigma o}} ; \quad (2.1.7)$$

де $Q_{y.o}$ - кількість уніфікованих операцій.

$Q_{\Sigma o}$ - кількість всіх операцій.

Критерій оцінки показника технологічності по операціях:

$K_{y.o} < 0.5$ – низький, $K_{y.o} < 0.5 \dots 0.75$ – задовільний, $K_{y.o} > 0.75$ – добрий.

$$K_{y.o} = \frac{Q_{y.o}}{Q_{\Sigma o}} = \frac{3}{7} = 0.429;$$

Визначення сумарного показника технологічності:

$$K_{\text{сум.}} = \frac{\sum K_i}{n} ; \quad (2.1.8)$$

Критерій оцінки сумарного показника технологічності:

$K_{\text{сум.}} < 0.25$ – низький, $K_{\text{сум.}} < 0.25 \dots 0.5$ – задовільний, $K_{\text{сум.}} > 0.5$ – добрий.

$$K_{\text{сум.}} = \frac{\sum K_i}{n} = \frac{0,083+0,59+0+0,639+0,429}{5} = 0,3482;$$

Висновок: Загальний показник технологічності $K_{\text{сум.}}$ є прийнятним. На основі проведеного аналізу та розрахунків можна дійти висновку, що рівень технологічності автоматизованого апарату УЗТ є достатнім, що дозволяє рекомендувати його для використання на виробництві середнього рівня.

2.2. Розроблення технологічного процесу складання ААУЗТ

2.2.1. Створення структурної схеми складання

Структурна схема складання представлена в повному розмірі додатках на кресленні ДПБ.ПБ-311.01.1720.03.003.ССС.

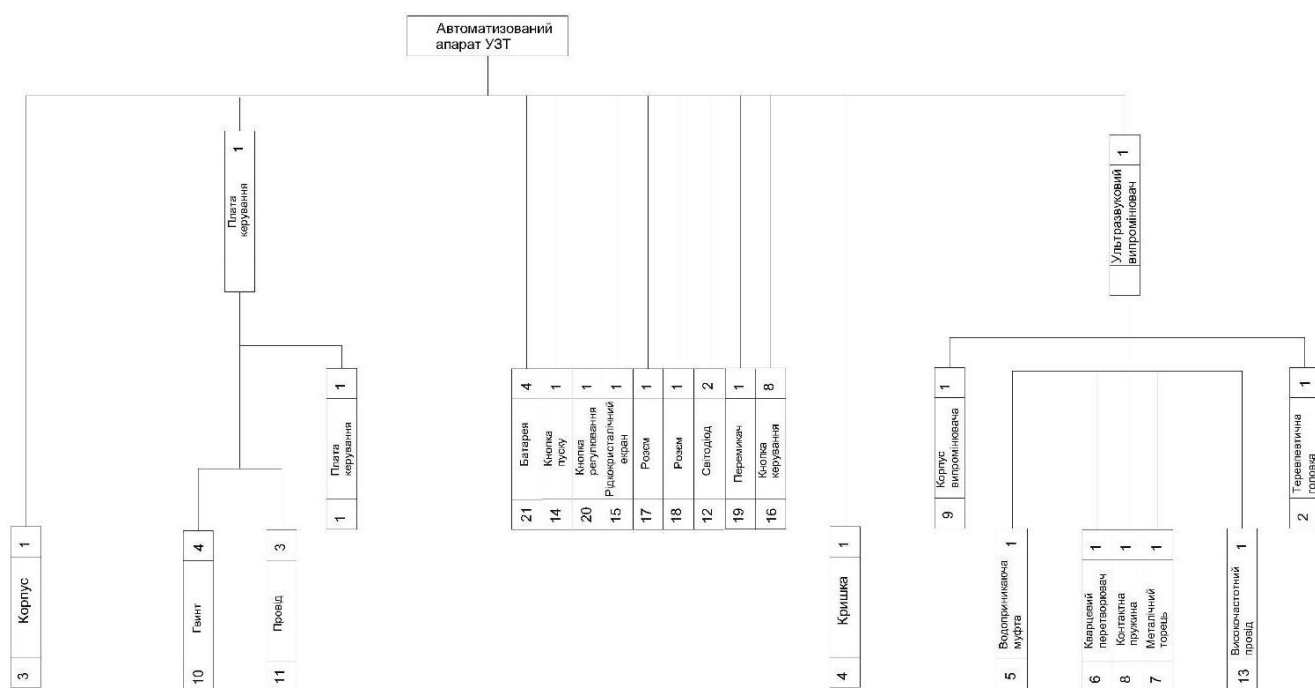


Рис. 2.1. Структурна схема складання

Ця схема побудована на основі виділених складальних вузлів, одиниць та окремих деталей, на які поділено конструкцію виробу.

До складу автоматизованого апарату ультразвукової терапії входять такі основні елементи:

1. Плата керування (позиції: плата керування — поз.1, провід — поз.11, гвинт — поз.10);

2. Корпус керування (кнопка запуску — поз.14, кнопка регулювання — поз.20, рідкокристалічний дисплей — поз.15, кнопка керування — поз.16, роз'єми — поз.17 та поз.18, світлодіод — поз.12, перемикач — поз.19, кришка — поз.4);

3. Випромінювач (терапевтична головка — поз.2, високочастотний провід — поз.13, водопроникна муфта — поз.5, контактна пружина — поз.8, кварцевий перетворювач — поз.6, металевий торець — поз.7, корпус випромінювача — поз.9).

2.2.2. Розробка технологічної схеми складання

Структурна схема складання надає загальне уявлення про процес збирання виробу. Однак для детального розуміння конструкції апарата та послідовності операцій, необхідно розробити технологічну схему складання (ТСС). ТСС представлена в додатку на кресленні ДПБ.ПБ-311.01.1720.03.004.ТСС.

Вона описується наступним чином:

Базовим елементом конструкції є корпус (поз.3), в який інтегрується вузол "Плата в СКЛ", що включає плату керування (поз.1). До неї припаюються три проводи (поз.11) за допомогою припою ПОС-60 згідно ДСТУ 21930-96. Після пайки плата встановлюється, налаштовується і фіксується чотирма гвинтами (поз.10).

Далі монтуються наступні компоненти:

- Кнопка пуску (поз.14),
- Кнопка регулювання (поз.20),
- Рідкокристалічний дисплей (поз.15),
- Кнопка керування (поз.8),
- Роз'єми (поз.17 та поз.18),
- Світлодіод (поз.12),
- Перемикач (поз.19).

Наступним етапом є склеювання корпусу з кришкою (поз.4) за допомогою клею 88-СА згідно ТУ 38.1051760-89. Після цього виконується контроль якості виконаної операції.

Для складання вузла "Випромінювач у СКЛ" застосовуються наступні деталі:

- Терапевтична головка (поз.2),
- Високочастотний провід (поз.13), який припаюється до водонепроникної муфти (поз.5) тим же припоєм ПОС-60,
- Контактна пружина (поз.8), що припаюється до кварцового перетворювача (поз.6) та приклеюється до металевого торця (поз.7) клеєм 88-СА.

Усі зазначені компоненти збираються у вузол "Терапевтична головка в СКЛ", який монтується в корпус випромінювача (поз.9). Після встановлення проводиться налаштування та перевірка правильності складання.

Готовий випромінювач встановлюється на основний корпус (поз.3).

На завершальному етапі виконується остаточне регулювання основних вузлів та тестування апарата відповідно до затвердженої програми випробувань.

2.2.3. Розрахунок точності складання

Щоб визначити точність складання створеного виробу, необхідно дотриматися допустимих меж відхилень розмірів, що входять до складу розмірного ланцюга [47].

$$L1 = 34_{-0,025} \text{ мм} , L2 = 19_{-0,021} \text{ мм} , L3 = 7_{-0,015} \text{ мм} , L4 = 5_{-0,012} \text{ мм}$$

1. Координатний метод

Для розрахунку даного методу потрібно зобразити таблицю величин ланок.

Таблиця 2.4.

Ланки збільшення			Ланки зменшення		
L_i	δ_i	K_i	L_i	δ_i	K_i
34	-0,025	-0,0125	19	-0,021	-0,0105
			7	-0,015	-0,0075
			5	-0,012	-0,006

Значення допуску замикаючої ланки:

$$\delta_{\text{зам}} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4; \quad (2.3.1)$$

$$\delta_{\text{зам}} = 0,025 + 0,021 + 0,015 + 0,012 = 0,073 \text{ мм};$$

Далі потрібно визначити номінальний розмір замикаючої ланки відносно нульової лінії, він визначається за формулою:

$$L_{\text{зам}} = 34 - (19 + 7 + 5) = 3 \text{ мм};$$

Даний розмір від координат його верхнього (ВВ) і нижнього (НВ) відхилення. Тому для їх визначення потрібно знайти середини меж допусків ланок.

$$K_{\text{зам}} = \sum_1^n K_{\text{ізб}} - \sum_1^n K_{\text{ізм}} \quad (2.3.2)$$

де $K_{\text{ізб}}$ – значення середини меж допусків ланок збільшення. $K_{\text{ізм}}$ – значення середини меж допусків ланок зменшення.

$$K_{\text{зам}} = -0,0125 - (-0,0105 - 0,0075 - 0,006) = 0,0115;$$

Розрахунок значення верхнього і нижнього відхилення замикаючої ланки:

$$(\text{ВВ})_{\text{зам}} = K_{\text{зам}} + 0,5 \cdot \delta_{\text{зам}} \quad (2.3.3)$$

$$(\text{НВ})_{\text{зам}} = K_{\text{зам}} - 0,5 \cdot \delta_{\text{зам}} \quad (2.3.4)$$

де $K_{\text{зам}}$ - значення середини замикаючої ланки.

$$(\text{ВВ})_{\text{зам}} = 0,0115 + 0,5 \cdot 0,073 = +0,048 \text{ мм};$$

$$(НВ)_{зам} = 0,0115 - 0,5 \cdot 0,073 = -0,025 \text{ мм};$$

$$\text{Отже } L_{зам} = 3_{-0,025}^{+0,048}$$

Екстремальний метод з використанням номіналів

Для початку розрахунку даного методу потрібно визначити максимальне і мінімальне відхилення замикаючої ланки.

$$L_{зам}^{max} = \sum_{ізб} L^{max} - \sum_{ізм} L^{min}; \quad (2.3.5)$$

$$L_{зам}^{min} = \sum_{ізм} L^{min} - \sum_{ізб} L^{max}; \quad (2.3.6)$$

де $\sum L_{ізб}^{max}$ – сума найбільших значень для ланок, що збільшують;

$\sum L_{ізм}^{min}$ – сума найменших значень для ланок, що зменшують;

$\sum L_{ізб}^{min}$ – сума найменших значень для ланок, що збільшують;

$\sum L_{ізм}^{max}$ – сума найбільших значень для ланок, що зменшують;

$\sum L^{min}$ – сума мінімальних значень ланок збільшення;

$\sum L^{max}$ – сума максимальних значень ланок зменшення.

$$L_{зам}^{max} = 34 - (18,979 + 6,985 + 4,988) = 3,048$$

$$L_{зам}^{min} = 33,975 - (19 + 7 + 5) = 2,975$$

Визначення границі нижнього і верхнього відхилення ланки

$$(НВ)_{зам} = L_{зам}^{min} - L_{зам} = 2,975 - 3 = -0,025$$

$$(ВВ)_{зам} = L_{зам}^{max} - L_{зам} = 3,048 - 3 = +0,048$$

$$\text{Отже, } L_{зам} = 3_{-0,025}^{+0,048}$$

Екстремальний метод без врахування номіналів

$$(ВВ)_{зам} = \sum (ВВі)_{зб} - \sum (НВі)_{зм} \quad (2.3.7)$$

$$(НВ)_{зам} = \sum (НВі)_{зб} - \sum (ВВі)_{зм} \quad (2.3.8)$$

Де (ВВ) і (НВ) – верхнє і нижнє відхилення складових ланок, розмірного ланцюга.

$$(BB)_{\text{зам}} = (0 + 0 + 0) - (-0.021 - 0.015 - 0.012) = -0,048;$$

$$(HB)_{\text{зам}} = -0,025 - 0 = -0.025;$$

$$\text{Отже, } L_{\text{зам}} = 3_{-0.025}^{+0.048}$$

У процесі розв'язання прямої задачі для розмірного ланцюга трьома різними способами було отримано однаковий результат. Це свідчить про те, що замикаюча ланка відповідає встановленим вимогам: $\gg L_{\text{зам}} = 3_{-0.025}^{+0.048}$.

2.3. Методика контролю та випробувань пристрою

Для проведення контролю та тестування апарата необхідно правильно підібрати обладнання, яке буде використане під час перевірки. Це дозволяє забезпечити об'єктивну оцінку якості складання пристрою. До засобів контролю, що використовуються для перевірки апарата ААУЗТ, належать: ультразвуковий ватметр поглинаючого типу (наприклад, еталонний прилад ІМУ-3 для вимірювання ультразвукової потужності), а також різноманітні вимірювальні пристрої — мультиметр, осцилограф, термометр, амперметр, вольтметр, омметр, частотомір і секундомір. За необхідності цей перелік може бути доповнений додатковим обладнанням.

Алгоритм виконання перевірки апарата за допомогою вказаних засобів включає такі етапи:

- Контроль наявності та коректності підключення всіх вимірювальних приладів, зокрема мультиметра, осцилографа, термометра, амперметра, вольтметра, омметра, частотоміра, секундоміра та ультразвукового ватметра.
- Переконавання у тому, що прилад відключений від зовнішнього джерела живлення.
- Під'єднання ультразвукового ватметра до апарата та перевірка надійності з'єднання.
- Увімкнення апарата та вимірювача ультразвукової потужності.
- Запуск секундоміра для фіксації тривалості роботи пристрою.
- Проведення вимірювань за допомогою контрольних датчиків.
- Використання частотоміра для визначення робочої частоти пристрою.
- Завершення роботи апарата та вимірювального обладнання.

- Аналіз отриманих результатів та порівняння їх з нормативними параметрами експлуатації приладу.
- Проведення візуального огляду на наявність зовнішніх дефектів.

Такий підхід забезпечує всебічну перевірку технічного стану апарата, дозволяє виявити можливі помилки у складанні, перевірити відповідність його параметрів технічним вимогам і оперативно виявити несправності або відхилення, що потребують корекції.

Під час використання апарата слід дотримуватися обережності у поводженні з ним. Пристрій необхідно захищати від механічних пошкоджень, таких як удари чи поштовхи. Як і будь-яке інше обладнання, його слід берегти від впливу вологи та регулярно очищати від пилу. Зберігати апарат слід у приміщенні з дотриманням допустимих температурних умов, що забезпечують його стабільну й безпечну роботу.

Висновок до технологічної частини

У межах технологічного розділу дипломного проєкту були розглянуті аспекти технологічності як самої конструкції, так і процесу збирання апарата.

Об'єктом аналізу виступив автоматизований апарат ультразвукової терапії, для якого проведено конструкційний аналіз, вивчено ключові вузли й елементи, способи їх з'єднання та вимоги до конструктивних характеристик.

Проведені розрахунки технологічних характеристик підтвердили достатній рівень технологічної ефективності апарата. Також здійснено розрахунок геометричної точності, що дозволяє визначити оптимальний спосіб складання та забезпечити відповідний рівень точності.

Для перевірки якості складання була розроблена методика контролю та випробувань, що включає набір засобів, необхідних для надійного оцінювання відповідності зібраного апарата технічним вимогам.

Результати розробки технологічного процесу оформлено у вигляді графічних матеріалів, що подані в додатках до пояснювальної записки.

Висновок по дипломному проєкті

Під час виконання дипломного проєкту основний акцент було зроблено на конструкторському опрацюванні та автоматизації роботи апарата для ультразвукової терапії. Актуальність впровадження такого пристрою підтверджується результатами патентного аналізу, а також широким спектром його застосування в медичній галузі.

Аналіз сучасного обладнання дозволив здійснити класифікацію апаратів ультразвукової терапії за різними параметрами, що дало змогу чітко визначити тип і належність розробленого пристрою до конкретної категорії.

У результаті проведених досліджень була побудована структурно-функціональна схема, яка відображає функціональне призначення пристрою та його значення в сучасному медичному приладобудуванні. Також були створені структурна схема складання (ССС) та технологічна схема складання (ТСС) що представлена в додатках, які разом із відповідними технологічними розрахунками надають повне уявлення про етапи й особливості складання апарата.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, М.В. Чухраєв, А.Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія . Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
2. Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.-444 с. ISBN 978-966-622-942-0, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
3. Терещенко М.Ф. Біофізика: практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка» 2019.-288с. ISBN 978-966-622-952-9, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/28227>
4. Терещенко М.Ф. Оцінка впливу ультразвукового випромінювання на коагуляцію альбуміну / Терещенко М. Ф., Васько А. П., Чухраєв М.В., Шевченко В.В.//Вісник НТУУ «КПІ»: Серія приладобудування, Вип. 55(1)/ 2018 ,– С.132-137
5. Терещенко М.Ф. Біофізика: лабораторний практикум / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 176 с. ISBN 978-966-622-980-2 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31467>
6. Фізіотерапія: підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів/ В.Д. Сиволап, В.Х. Каленський; ЗДМУ. - З.: ЗДМУ, 2014- 196 с.
7. Tymchik G., Vysloukh S., Tereshchenko N., Matvienko S. Investigation thermal conductivity of biological materials by direct heating hermistor method. 2018 IEEE 38th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO) (Kyiv, 24.04.2018). Kyiv, 2018. P. 429-434
8. Г.С. Тимчик, М.Ф. Терещенко, В.Ю. Рудик, «Система температурного контролю в магнітотерапії» Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування, № 1(87), с. 111–116, 2013.

9. Терещенко М. Ф. Безконтактний тепловий контроль роботи магнітотерапевтичної апаратури / М. Ф.Терещенко, В. Ю. Рудик // XI Міжнар. науково-техн. конф. “Приладобудування 2012: стан і перспективи”, 24–25 квітня 2012 р. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2012. с. 193 – 194.
10. Матвієнко С. М. Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання тепло провідності методом прямого підігріву термістора / С. М. Матвієнко, Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, А. М. Матвієнко // Наукові вісті НТУУ —КПІ. – 2017. – № 4. – С. 121–130
11. Дорощук, І. А. Система стимуляції біологічних тканин з діагностикою / І. А. Дорощук, М. Ф. Терещенко // XII Всеукраїнська науково- практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 305–308.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28132>
12. Дипломне проектування [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання дипломних проектів для студентів напрямку 6.0909 – «Прилади» спеціальності “Медичні прилади і системи” усіх форм навчання / НТУУ «КПІ» ; уклад.: Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, С. П. Вислоух, О. І. Паткевич. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,26 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2008. – 104 с. –
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32089>
13. Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Паньков С.Б., Чухраєв М.В. Визначення глибини проникнення фармакологічних препаратів у біологічний об’єкт при ультрафонофорезі, Вісник КПІ ім. Ігоря Сікорського, серія: Приладобудування, №56(2), 2018 . – С. 97-103.
14. Копищик В.В., Терещенко М.Ф. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ НА ГЛИБИНУ ПРОНИКНЕННЯ ЛІКАРСЬКИХ РЕЧОВИН / Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд

- у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2019.-487 с., С. 313-316
15. М.Ф. Терещенко, М.В. Чухраєв, К.М. Терещенко , «АДАПТИВНІ СИСТЕМИ ТА АПАРАТИ ФІЗИОТЕРАПІЇ» на XVIII Міжнародній науково- технічній конференції « ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи», ПБФ, КПІ ім.Ігоря Сікорського, 15-16 трав.2019 р., Київ, Україна, 2019.–224 с., С.127-128.
16. М.Ф. Терещенко , Г.С. Тимчик, С.Б. Паньков, М.В. Чухраєв, «Визначення глибини проникнення фармакологічних препаратів у біологічний об'єкт при ультрафонофорезу», Вісник НТУУ «КПІ»: серія Приладобудування, -Вип. 56(2),– С.97-103, 2018.
17. Кравченко, А.Ю. Терещенко М.Ф. ТЕРАПЕВТИЧНІ АПАРАТИ ЛІКУВАННЯ АРТРОЗУ ГОМІЛКОВО-СТУПНЕВОГО СУГЛОБУ УЛЬТРАЗВУКОМ / Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 29 (68) № 4, ч.1,2018 с.53- 60.
18. Батурин А. Терещенко М.Ф. ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА РЕОГРАФІЧНІ ПОКАЗНИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ПРИ ФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНИХ ПРОЦЕДУРАХ / Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки».. Том 29 (68) № 5, ч.1, 2018 с.33-38.
19. Дорошук І.А., Терещенко М.Ф. Система стимуляції біологічних тканин з діагностикою / Збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. - 2019.-487 с., С. 305-308.
20. Tymchik G.S., Tereshchenko M.F., Soroka S.O., Tereshchenko M.M. Control over influence of the magnetic field parameters on a biological object/ XIII International PhD Workshop OWD 2011, 22–25 October 2011 - с. 295-299.
21. O.G. Shmendel, M.F. Tereshchenko, G.S. Tymchik, I.A. Danyliuk DYNAMICS OF CHANGES IN TEMPERATURE PARAMETERS IN BIOLOGICAL TISSUES UNDER LASER RADIATION OF DIFFERENT

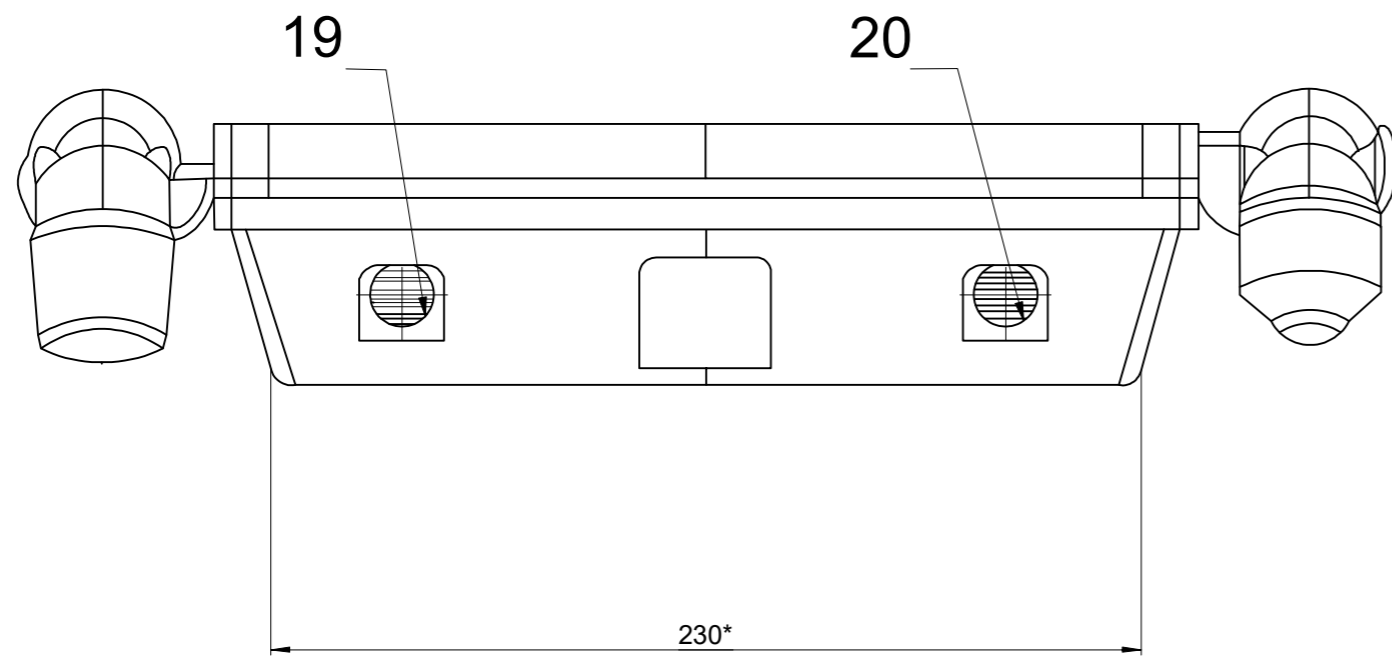
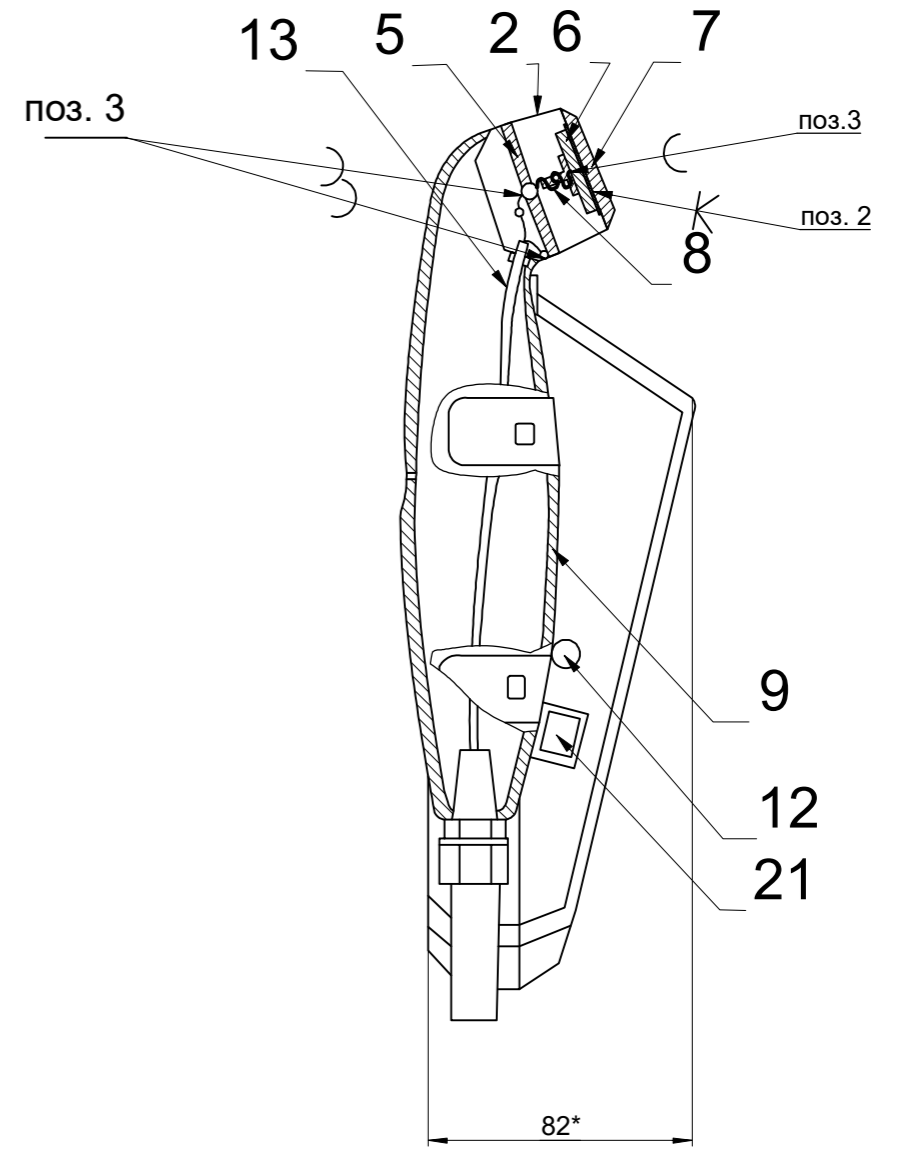
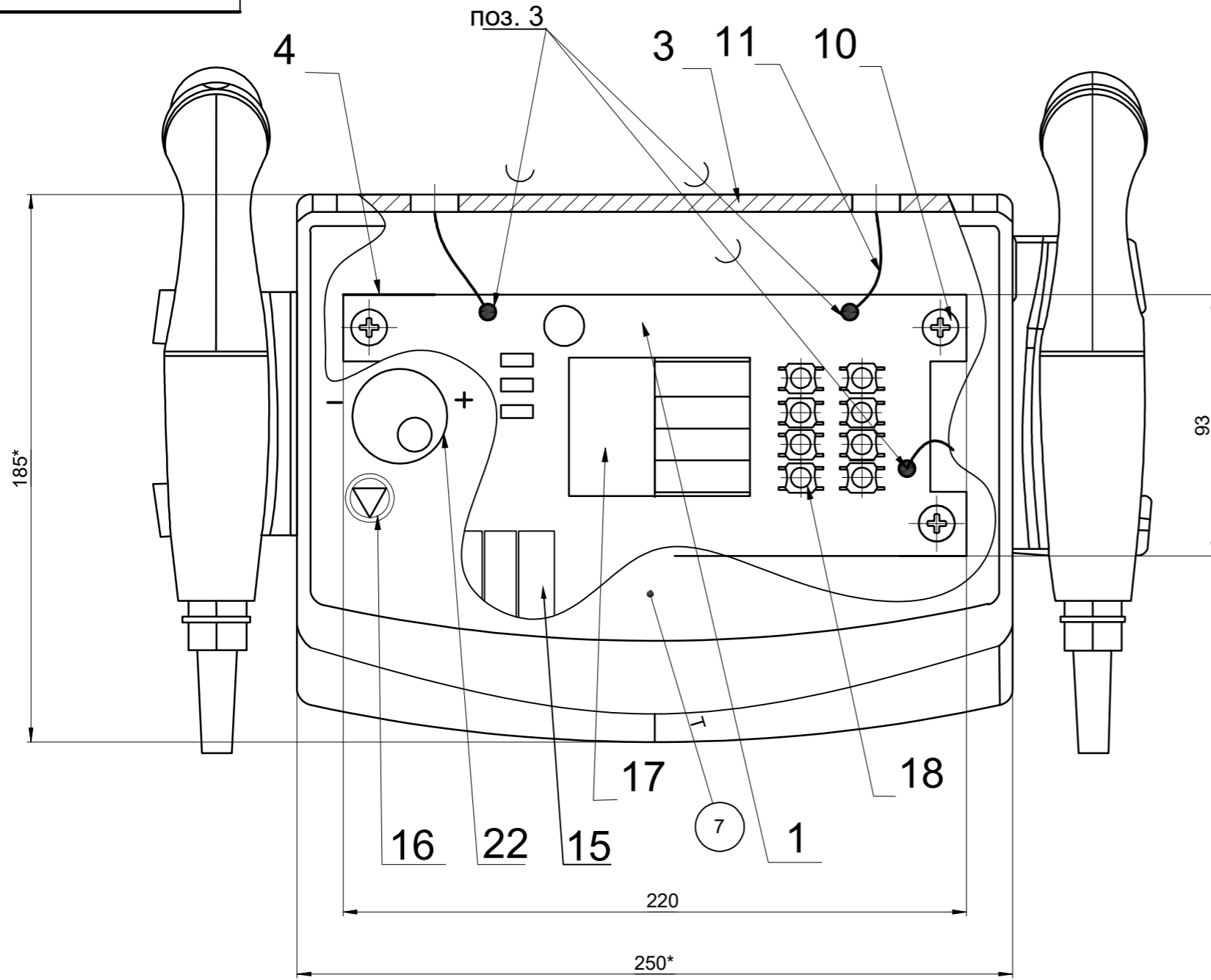
- WAVE LENGTHS//KPI Science News, 2019, № 5-6, p.87-94. DOI: 10.20535/kpi- sn.2019.5-6.18831
22. Метод комплексного впливу на біологічний об'єкт ультразвуковим та інфрачервоним випромінюванням / В. О. Румбешта, М. Ф. Терещенко, О. С. Гнатейко, О. Г. Ляшенко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2015. - № 4 (88) : Серія "Технічні науки". - С. 40-44. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/580>
 23. Виробнича практика. Організація, проходження та захист звіту [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Безуглий, Н. І. Бурау, Ю. В. Киричук, М. В. Філіппова. – Електронні текстові дані (1 файл: 704 Кбайта). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 40 с.
 24. Паньков С.Б. Залежність параметрів проникнення фармакологічних препаратів у біологічну тканину від дії ультразвукових коливань різної інтенсивності / Паньков С.Б., Терещенко М.Ф. // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 29(68), №4, ч.1, 2018. – С.61-66.
 25. Терещенко М.Ф. Визначення глибини проникнення фармакологічних препаратів у біологічний об'єкт при ультрафонофорезі/ Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Паньков С.Б., Чухраєв М.В. //Вісник КПІ ім. Ігоря Сікорського, серія: Приладобудування, №56(2), 2018 . – С. 97-103.
 26. Патент України № 125859 Спосіб ультразвукової терапії нижньої щелепи/ Терещенко М. Ф. Тимчик Г. С., Печонка М. М. Кравченко А. Ю. // Опубл. 25.05.2018 в бюл. № 10, 2018 р.
 27. Sergey Matvienko, Vadim Shevchenko, Mykola Tereshchenko, Anatolii Kravchenko, Ruslan Ivanenko (2020). Determination of composition based on thermal conductivity by thermistor direct heating method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, ISSN 1729-3774, 1/5 (103), p. 19–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.193429.

28. V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, S. Matvienko and V. Shevchenko, "Analysis of Dynamic Load on Human Foot," 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 400-404, doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088788.
29. Tereshchenko M. F. Principles of construction modern ultrasonic therapeutic devices / M. F. Tereshchenko, A. V. Kyrylova // Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Series INSTRUMENT MAKING. – 2010. – N. 40. - P.136-143.
30. A. Kyrylova, and N. Tereshchenko, "Estimation of ultrasound influence on biological tissue", in Proc. XIII Int. Ph.D. Workshop OWD 2011, Conference Archives PTETIS, Wisla, Poland, 2011, pp. 319-323.
31. М. Ф. Терещенко, А. Ю. Кравченко, М. В. Чухраєв, А. Ю. Курлянцева, "Вплив ультразвуку терапевтичних інтенсивностей на кластерну структуру дистильованої води", Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування, №51(1), с. 126-131, 2016.
32. Вислоух С. П. Дипломний проєкт бакалавра: виконання, оформлення та захист : навч. посіб. / Уклад. : С. П. Вислоух, М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 64 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47341>
33. Метрологія [Текст]: методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів приладобудівного факультету спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Уклад.: М.В. Філіппова, О.В. Волошко, С.С. Заєць – К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. – 85 с.
34. Румбешта В. О. Основи технології складання приладів / Валентин Олександрович Румбешта. – Київ: ІСДО, 1993. – 60-61 с.
35. Олійник, В. П. О-54 Терапевтичні апарати і системи: навч. посіб. / В. П. Олійник, Д. В. Теличко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2022. – 88 с.

36. Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія / Терещенко М.Ф. Тимчик Г. С., Чухраєв М.В. Кравченко АЮ. - Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. -184 с.
<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>
37. Акустичні медичні прилади : метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт для студ. напряму підготов. 6. 051003 «Приладобудування» Укл. Терещенко М.Ф., Г.С.Тимчик, В.Ю. Рудик,К.: НТУУ «КПІ», 2014. 124 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/26439>
38. Акустичні медичні прилади: метод. вказівки до викон. курс. проекту та розрахунк.-граф. роботи для студ. напряму підгот. 6.051003 «Приладобудування» програми проф. спрямування «Медичні прилади і системи» Укл. Терещенко М.Ф., Г.С.Тимчик, І.О. Яковенко, Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2016. -176 с.
<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25651>
39. A. Yu. Kravchenko, M. F Tereshchenko, S. P. Vysloukh, G. S. Tymchik «DETERMINATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION ON THE WORKING SURFACE OF ULTRASONIC EXPOSURE», KPI SCIENCE NEWS, № 2, С. 83-90, 2019. DOI:10.20535/KPI-SN.2019.2.167537
40. Кравченко А.Ю. Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С Вимірювання потужності ультразвуку випромінювачів апаратів ультразвукової терапії, KPI Science News, № 4, С. 71-76, 2019. DOI : 10.20535/ kpi-sp.2019.4.180739
41. Пат. 127102 Україна, МПК В05В 17/06, А61М 11/00, А61М 15/00. Ультразвуковий розпилювач рідини / Терещенко М. Ф., Руцька О. В., Чухраєв М. В. - № u2018 02916; заявл. 22.03.2018; опубл. 10.07.2018.
42. Пат. 135422 Україна, МПК В05В 17/06, А61М 11/00, А61М 15/00. Багатофункціональний розпилювач рідини / Терещенко М. Ф., Руцька О. В., Чухраєв М. В., Сорока С. О. - № u2019 01267; заявл. 07.02.2019; опубл. 25.06.2019.
43. Терещенко М. Ф., Руцька О.В. , Чухраєв М.В Методи дослідження параметрів чистоти поверхні ран системою вакуумної абсорбції та санації // Вісник КПІ, серія Приладобудування, №58(2), 2019 . – С. 70
DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.58\(2\).2019.189373](https://doi.org/10.20535/1970.58(2).2019.189373).

44. Дорошук, І. А. Автоматизована система стимуляції і діагностики біологічних тканин / Дорошук І. А., Терещенко М. Ф. // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 344-347.
45. V. Tsapenko, N. Tereshchenko, «Method of study of spatial parameters of the human foot», in Proc. XI Int. Sci. Tech. Conf. Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2018), Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 157–159.
46. Kravchenko, A. Y., Tereshchenko, M. F., Vysloukh, S. P., Tymchik, G. S. (2019). Modeling of the temperature field on the working surface of an ultrasonic emitter. KPI Science News, 2, 83–90. doi: <https://doi.org/10.20535/kpispn.2019.2.167537>
47. Tymchik, G., Vysloukh, S., Tereshchenko, N., Matvienko, S. (2018). Investigation Thermal Conductivity of Biological Materials by Direct Heating Thermistor Method. 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). doi: <https://doi.org/10.1109/elnano.2018.8477460>
48. Руцька, О. В. Комплексна система вакуумної абсорбції та санації ран / О. В. Руцька, М. Ф. Терещенко // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 394–397. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31778>
49. Фізична реабілітація засобами фізіотерапії. Автори: Богдановська Н.В., Кальонова І.В.Рік видання:2023. – С. 174-185

Додаток А



1. * Розміри для довідок.
2. Клей 88-СА ГОСТ, ТУ 38.1051760-89.
3. Паяти припой ПОС-60 ГОСТ 21930-76
4. Живлення виробу здійснюється від мережі 220 В з частотою 50 Гц.
5. Періодичність огляду раз на місяць.
6. Періодичність ремонту після одного року експлуатації.
7. Маркерувати конструкцію згідно заводського номеру, вказавши номер в місці маркування

Логоважена:	
Т.інв. № ор.	Підпис і дата
Зам. інв. №	

ДЛБПБ -З 11.01.1720.001.СК					Стаття	Маса	Масштаб
Зм.	Кільк.	№ док.	Підпис	Дата	1	1	1:1
Розробив		Гульнев В.А.		02.06.2022			
Перев.					Аркуш	1	Аркушів
Т. контр.							
Нач. в'їд.							
Н. контр.		Терещенко М.Ф.			КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Затв.		Терещенко М.Ф.			Формат А2		

Форм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка.
				Документація		
A2			ДПБПБ-311.01.1720.03.001.СК	Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		1		Плата керування	1	
		2		Терапевтична головка	1	
				Деталі		
		3		Корпус	1	
		4		Кришка	1	
		5		Водопроникаюча муфта	1	
		6		Кварцевий резонатор	1	
		7		Металічний торець	1	
		8		Контактна пружина	1	
		9		Корпус випромінювача	1	
				Стандартні вироби		
		10		Гвинт 5x20 мм	4	
				DIN 7420		
		11		Провід	3	
				ГОСТ 87655-89		

ДПБПБ - 3 11.01.1720.03.002. СП

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Разраб.	Гульнев В.А.
---------	--------------

Пров.	
-------	--

Н.контр.	
----------	--

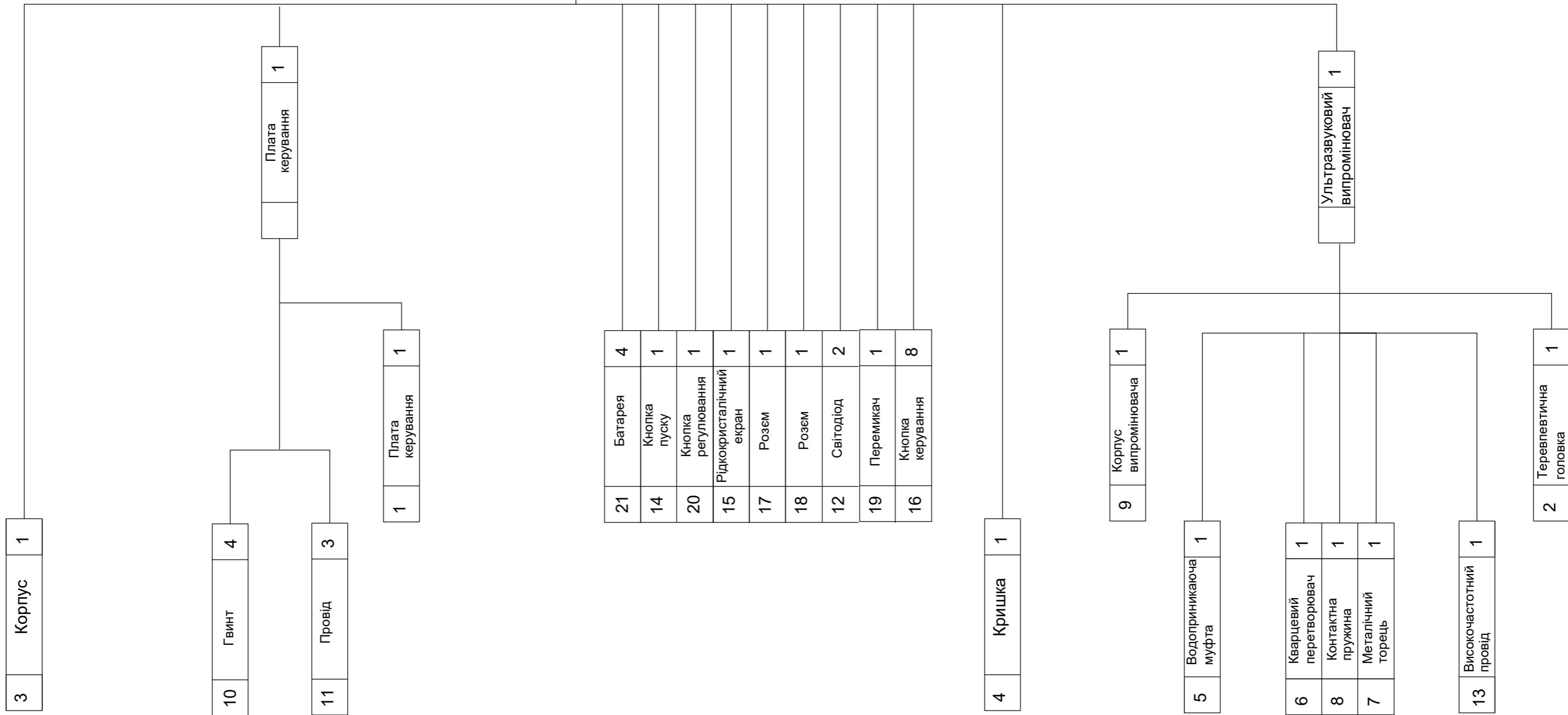
Утв.	Терещенко М.Ф.
------	----------------

*Автоматизований
ультраз. терапев. апарат*

Лит.	Лист	Листов
	2	2

*КПІ ім. Ігоря
Сікорського*

Автоматизований
ультразв. терапев. апарат

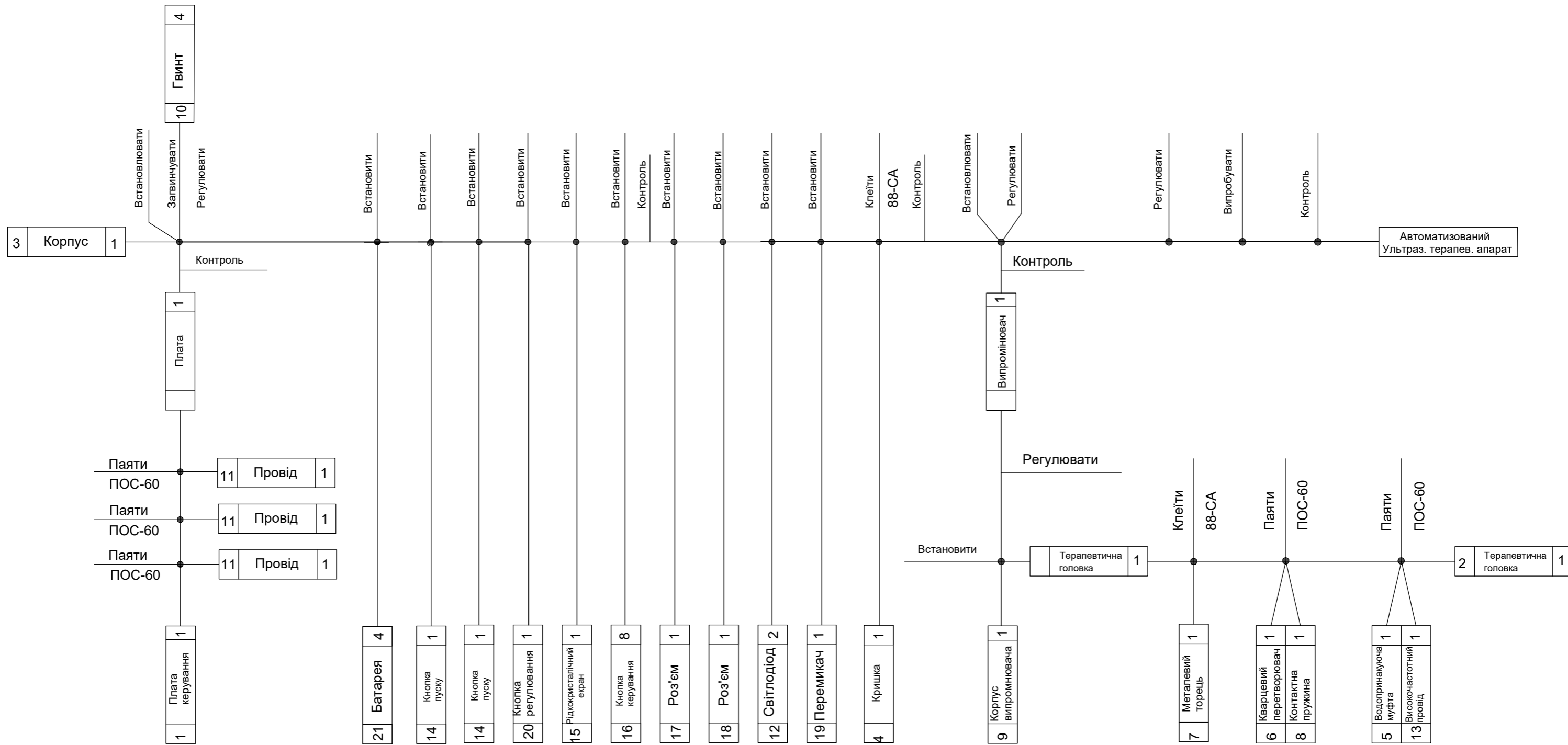


21	Батарея	4
14	Кнопка пуску	1
20	Кнопка регулювання	1
15	Рідкокристалічний екран	1
17	Розем	1
18	Розем	1
12	Світлодіод	2
19	Перемикач	1
16	Кнопка керування	8

				ДПБПБ - 3 11.01.1720.03.003. ССС		
				Автоматизований ультразвуковий терапевтичний апарат		
				Стандія		
				Масштаб		
				1:1		
				Архив		
				Архив		
				КПІ ім. Ігоря Сікорського		
				Формат А2		

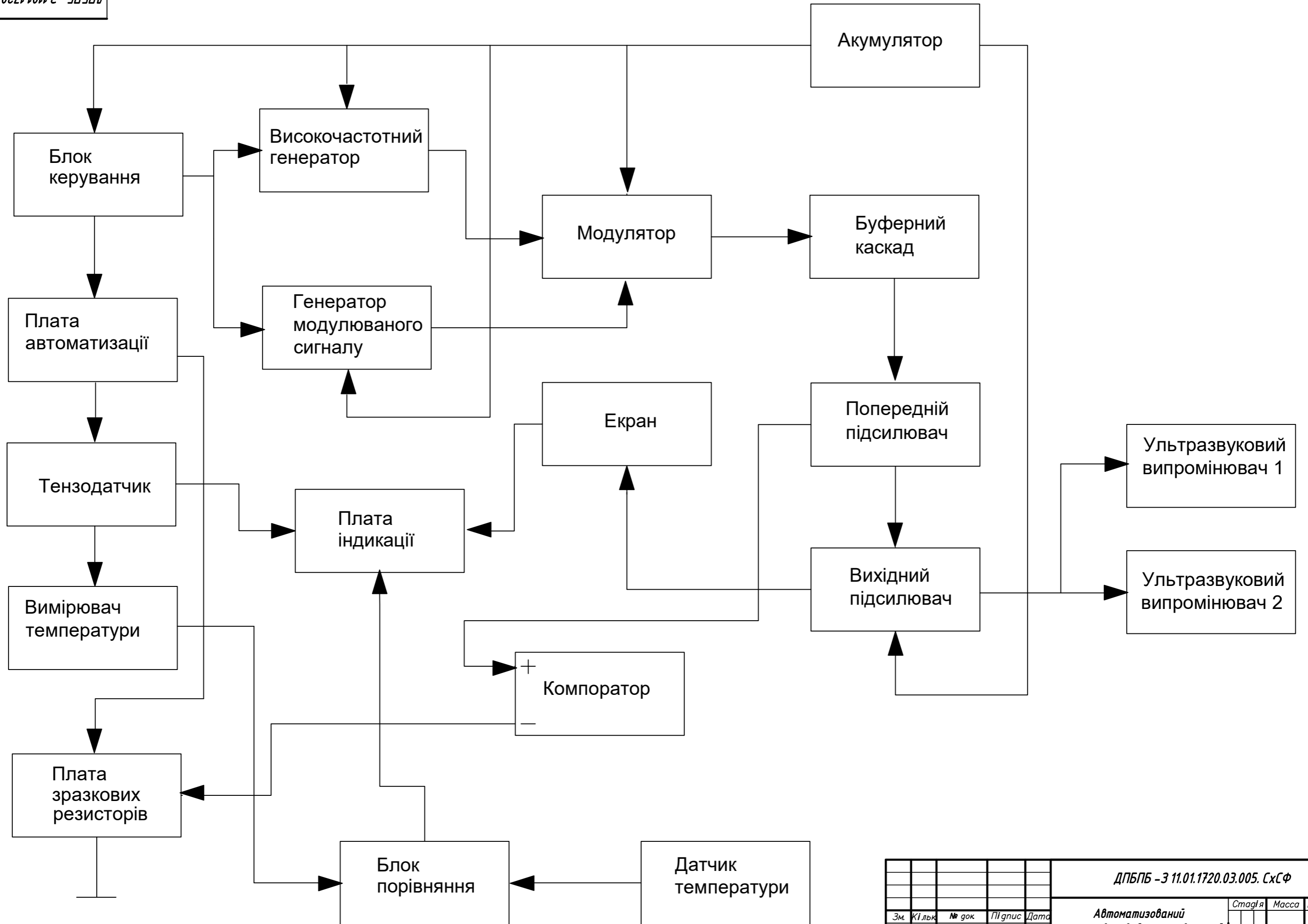
№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.

Пояснення



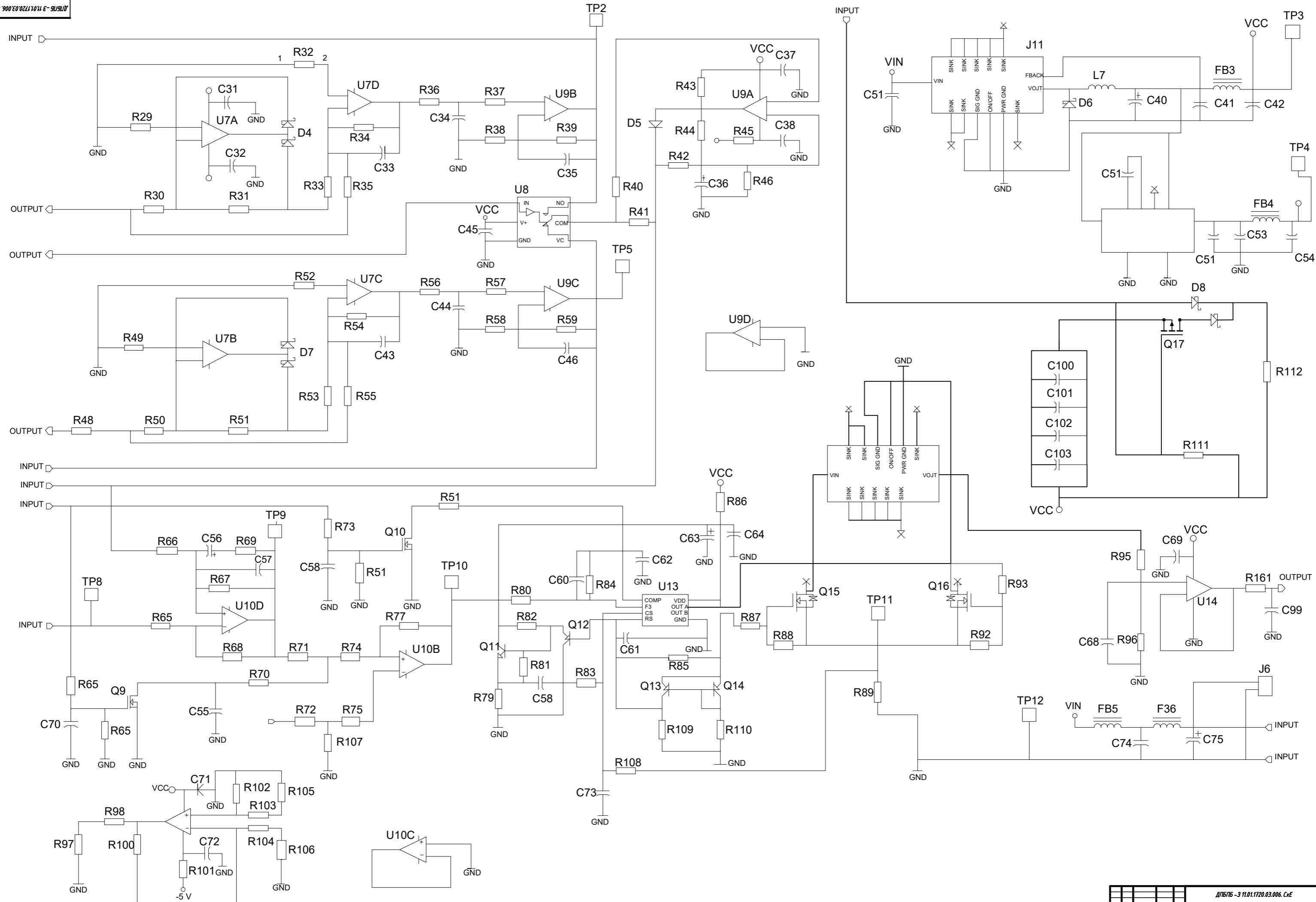
№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.	№ ор.
Т.І.С.	Т.І.С.	Т.І.С.	Т.І.С.	Т.І.С.	Т.І.С.	Т.І.С.	Т.І.С.	Т.І.С.	Т.І.С.

ДПБПБ - 3 11.01.1720.03.004. ТСС				Стаття	Маса	Масштаб
Автоматизований ультразвуковий терапевтичний апарат				5		1:1
Технологічна схема складання				Архив	Архив	5
КПІ ім. Ігоря Сікорського				Формат А1		



Логоважена					
Т.інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. І.інв. №			

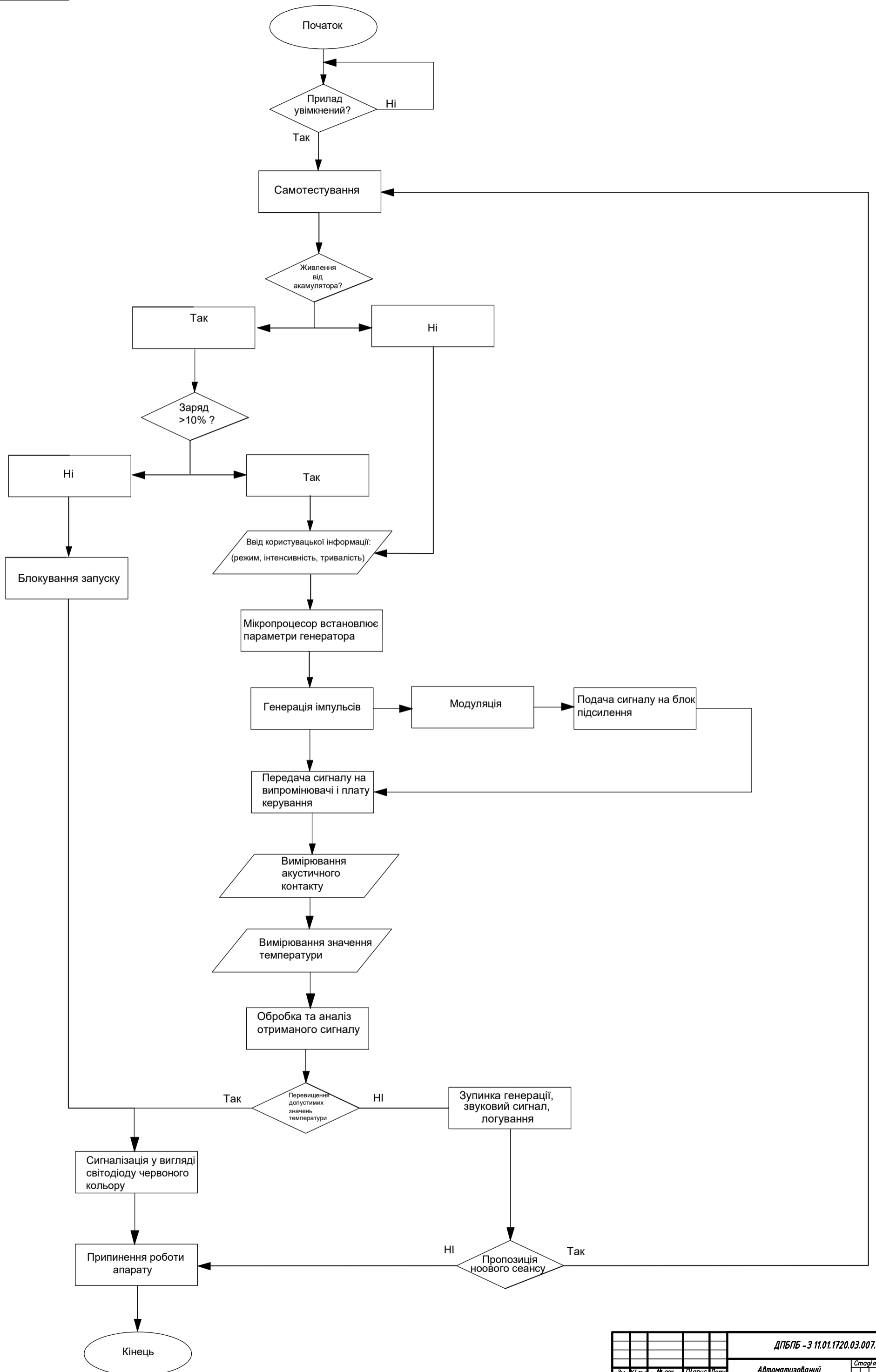
ДЛБЛБ - 3 11.01.1720.03.005. СхСФ					Автоматизований ультразвуковий терапевтичний апарат			Стадія	Масштаб
Зм.	Кільк.	№ док.	Підпис	Дата					1:1
Розробив		Гуляев В.А.		02.06.2022	Аркуш	6	Аркушів	6	
Перев.					Структурно-функціональна схема				КПІ ім. Ігоря Сікорського
Т. контр.									Формат А2
Нач. вїд.									
Н. контр.		Терещенко М.Ф.							
Затв.		Терещенко М.Ф.							



ДПБПБ-3 11.01.1720.03.006. Сх.Е									
Эл. №	Изм.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Эл. №	Изм.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

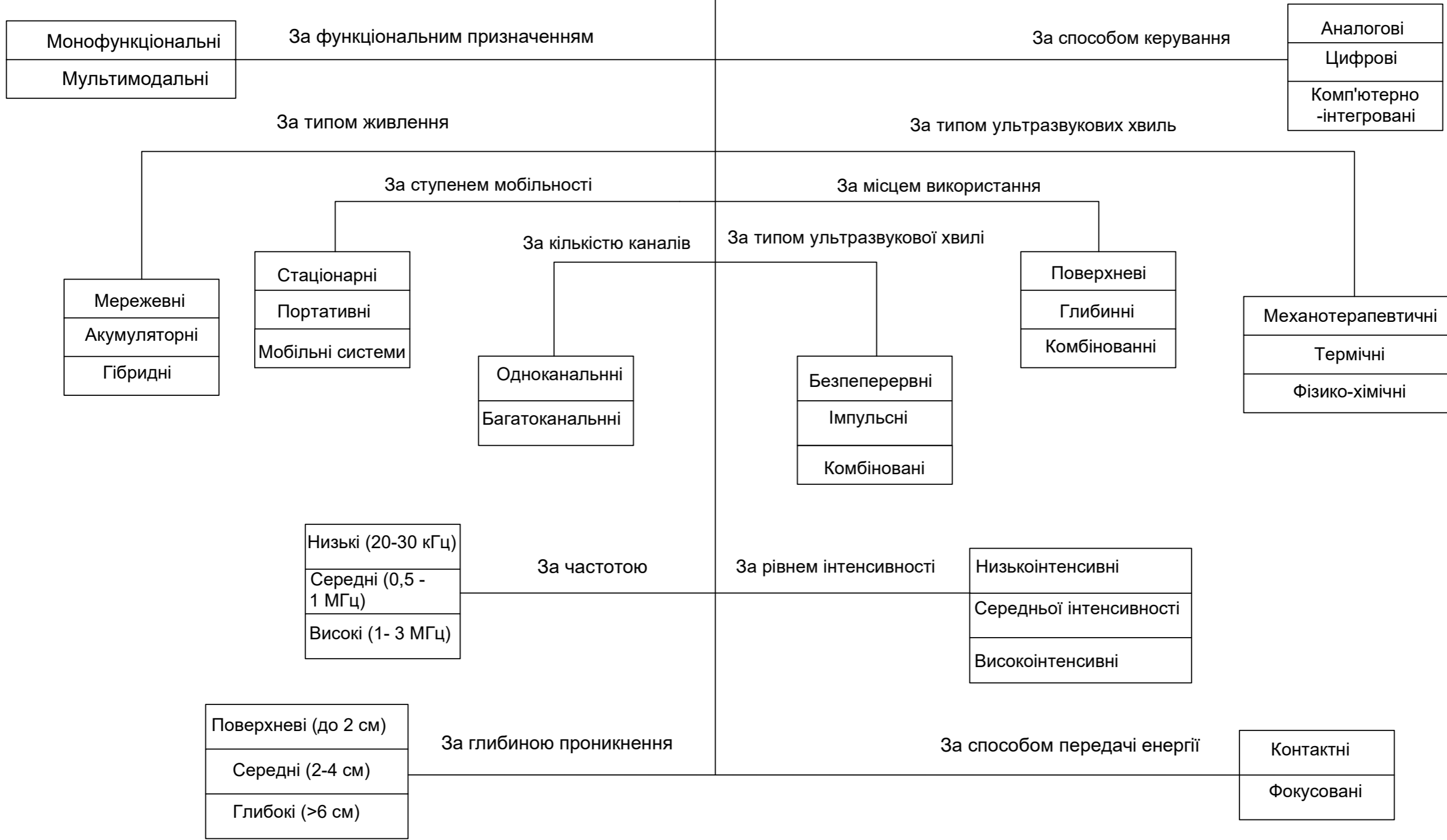
Эл. №	Изм.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.	Исполн.
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									



Лист	№	ор.	Піспис	Т.гата	Зам.	Т.НБ.	№

ДПБПБ - 3 11.01.1720.03.007. СхА							Стаття	Маса	Масштаб	
Зм.	Кільк.	№ док.	Піспис	Дата	Автоматизований ультразвуковий терапевтичний апарат		Архив	В	Архив	В
Розробив	Гурий В.А.				Алгоритм роботи блоку керування					
Перев.					КПІ ім. Ігоря Сікарського					
Т. контр.										
Н. контр.										
Затв.										

Апарати ультразвукової терапії



Логоважена				
Т. № ор.	Пігнус і дата	Зам. і нв. №		

					ДПБПБ - 3 11.01.1720.03.008. Сх1				
Зм.	Кільк.	№ док.	Пігнус	Дата	Класифікація апаратів ультразвукової терапії	Стадія	Масштаб		
Розробив	Гульнев В.А.			02.06.2023		Аркуш	9	Аркушів	9
Перев.									
Т. контр.									
Нач. ві г.									
Н. контр.	Терещенко М.Ф.					КПІ ім. Ігоря Сікорського			
Затв.	Терещенко М.Ф.					Формат А2			

Додаток Б



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «НМЦ Медінтех»

Терещенко Т. В.
(ініціали, прізвище)

червня 2025 р.

АКТ 7/2025

**впровадження в виробництво матеріалів дипломного проєкту, як
ескізного проєкту**

на тему: **«Автоматизований ультразвуковий терапевтичний апарат»**
виконану студентом **Гульневим Віталієм Андрійовича**

керівник дипломного проєкту **Терещенко Микола Федорович**

Виконаний дипломний проєкт на основі завдань цільової програми наукових досліджень НАН України «Матеріали для медицини і медичної техніки та технології їх отримання і використання» на 2017-2025 роки, затвердженої Постановою Президією НАН України №76 від 15.03.2017, та договору про співпрацю № Д/0002.01/1700.02/197/2022 від 26.09.2022 р. між КПІ ім. Ігоря Сікорського та ТОВ «НМЦ МЕДІНТЕХ» впроваджено на основі наступних підстав:

1. Результати розробки і дослідження є актуальним при створенні нових типів автоматизованих апаратів і систем ультразвукової терапії та розробці нових ультразвукових випромінювачів, згідно Програмами пріоритетних досліджень на 2019 -2025 р.

2. Отримані результати проектування, методика розрахунків, конструкції блоків, плат та схем можуть бути використані в спільних роботах ТОВ «НМЦ Медінтех» та КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Отримані дані по дипломному проєкту будуть використані в підрозділах ТОВ «НМЦ Медінтех» в 2024-2025 р.р.