

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект**  
**на здобуття ступеня бакалавра**  
**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані**  
**технології та системи навігації і керування»**  
**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані**  
**технології»**  
**на тему: «Автоматизований кардіомонітор»**

Виконав:

студент III курсу, групи ПГ-п81

Бабенко Максим Володимирович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент кафедри ПСОН, к.т.н., доц. Павловський О.М.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2021 року

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

Інститут/факультет \_\_\_\_\_ Приладобудівний \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Приладів і систем орієнтації і навігації \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПСОН

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на дипломний проект студенту**

Бабенку Максиму Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту \_\_\_\_\_ Автоматизований кардіомонітор \_\_\_\_\_

керівник проекту \_\_\_\_\_ Павловський О. М., доцент, к. т. н. \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « \_\_\_\_ » 2021 р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проекту 10.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту. Пристрій для вимірювання та відображення ЕКГ, датчики якого кріпляться за допомогою липучок на тілі особи над якою проводять дослідження.

4. Вступ. Огляд сучасних методів моніторингу та дослідження стану серцево-судинної системи організму людини, а також опис принципів читання ЕКГ. Створення прототипу кардіомонітору. Огляд комплектуючих приладу, та їх основні характеристики. Складання прототипу. Випробування макетного зразка. Порівняння результатів вихідних даних ЕКГ створеного прототипу із результатами отриманими на медичному пристрої.

					<b>ПГп8101.1730.00 ПЗ</b>	<b>Арк</b>  <b>1</b>
<b>Зм.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) \_\_\_\_\_  
Збіркове креслення (A1), Деталювання (A2), Структурна схема (A2),  
Схема електрична принципова (A1) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів проекту

	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

1. Дата видачі завдання 3 квітня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз завдання до дипломного проекту	18.05.2020 – 20.05.2020	
2	Огляд існуючих рішень	21.05.2020 – 23.05.2020	
3	Вибір та обґрунтування елементів	24.05.2020 – 28.05.2020	
4	Проектування приладу	29.05.2020 – 02.06.2020	
5	Програмування приладу	03.06.2020 – 04.06.2020	
6	Аналіз працездатності	04.06.2020 – 05.06.2020	
7	Оформлення пояснювальної записки та графічних документів	06.06.2020 – 07.06.2020	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

М.В. Бабенко

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

О.М. Павловський

(ініціали, прізвище)

					<b>ПГп8101.1730.00 ПЗ</b>	Арк
						2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## АНОТАЦІЯ

У ході даного дипломного проекту було зроблено огляд методів діагностики та моніторингу стану серцево-судинної системи організму людини, виділено їх особливості, а також проведено порівняння основних приладів.

Було створено макет автоматизованого кардіомонітору використовуючи створений корпус з фанери, датчик серцевого ритму AD8232, мікроконтролер та електроди для кріплення на тілі. Було розроблено відповідне програмне забезпечення для використання системи. Аргументовано вибір елементів використаних у макеті.

Зроблені відповідні креслення з деталюванням елементів корпусу, розроблена 3D модель, побудовані електричні та принципові схеми системи.

Проведено випробовування працездатності системи для перевірки її ефективності, а також було порівняно результати отримані за допомогою професійного медичного електрокардіографу і приладу побудованого самостійно.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## ABSTRACT

In the course of this diploma project was reviewed methods of diagnosis and monitoring of the cardiovascular system of the human body, was made their features are singled out, and also the comparison of the main devices is carried out.

A model of an automated heart monitor was created using a plywood case, an AD8232 heart rate sensor, a microcontroller and electrodes for mounting on the body. Appropriate software has been developed to use the system. The choice of elements used in the layout is argued.

The corresponding drawings with detailing of elements of the case are made, the 3D model is developed, electric and schematic schemes of system are constructed.

The system was tested to verify its effectiveness, and the results were compared using a professional medical heart rate monitor and a device built independently.

					<i>ПГп8101.1730.00 ПЗ</i>	Арк
						4
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

## Зміст

Вступ .....	7
РОЗДІЛ 1.....	9
ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ. ОГЛЯД МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ.....	9
1.1 Поняття серцевого ритму .....	9
1.2 Порушення серцевого ритму.....	10
1.3 Методи діагностики серцевої діяльності та стану серцево-судинної системи.....	13
1.3.1 Електрокардіограма .....	14
1.3.2 Ергометри.....	17
1.3.3 Холтерівське добове моніторування .....	18
1.3.4 Аналіз ЕКГ .....	21
1.3.5 Ультразвукова діагностика серця .....	24
1.3.6 Магнітно резонансна томографія серця .....	26
РОЗДІЛ 2.....	30
СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КАРДІОМОНІТОРУ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ .....	30
2.1 Вимоги до розроблюваного приладу.....	30
2.2 Принцип роботи та структурна схема приладу.....	30
2.3 Вибір елементної бази автоматизованого кардіомонітору.....	31
2.3.1 Вибір датчика серцевого ритму .....	31
2.3.2 Вибір керуючого контролера .....	33
2.4 Підключення елементів .....	36
2.5 Розробка корпусу приладу .....	37
2.6 Виготовлення деталей корпусу.....	42
2.7 Середовище програмування мікроконтролера .....	44
2.8 Складання пристрою.....	45
2.9 Алгоритм підключення та роботи з приладом .....	48
2.10 Аналіз результатів.....	51
ВИСНОВОК.....	55
Список використаних джерел .....	57

## Перелік умовних скорочень

ВООЗ - всесвітня організація охорони здоров'я

ССС – серцево-судинна система

ЧСС - частота серцевих скорочень

ЕКГ - електрокардіографія

ЕКС - електрокардіостимулятор

УЗД - ультразвукове дослідження

МРТ - магнітно-резонансна томографія

ЕМГ – електроміограма

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

САПР – системи автоматичного проектування

ЧПУ – числове-програмне управління

DXF - drawing exchange format

CAD - computer-aided design

USB - universal serial bus

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## Вступ

Людина отримала від природи не досконалий організм але він наділений універсальною стійкістю до труднощів життя та різних факторів впливу – холоду і спеки, ран і отрут, страхів і нервових потрясінь, голоду та захворювань.

На сьогоднішній день існує велика кількість шкідливих факторів, котрі негативно впливають на загальний стан людини, а також тим чи іншим чином на здоров'я. Можна виділити чотири основні групи котрі визначають вплив на здоров'я людини, а саме: спосіб життя, біологічні фактори, стан навколишнього (природного) середовища, обсяг і якість медичної допомоги. Перша за все потрібно розуміти, що інтенсивність впливу цих груп факторів суттєво відрізняється. Так, на першу групу, що включає такі фактори як паління, зловживання алкоголем, вживання наркотиків, нераціональне харчування, праця в шкідливих умовах, стреси, гіподинамія, незадовільні побутові умови та гіперурбанізація, припадає 51-52% загального впливу. Чинник навколишнього (природного) середовища (зокрема, забруднення повітря, води, ґрунту, понаднормовий рівень радіації, електромагнітні поля тощо) охоплює 20-21% впливу, біологічні фактори (спадковість, стать, вік тощо) - 19-20%. На групу факторів, пов'язаних із обсягом і якістю медичної допомоги (зокрема, вакцинація, періодичність медичних обстежень, своєчасність та якість лікування) припадає 8-9% впливу [1].

Акцентуємо увагу саме на факторі медичного обслуговування населення. У світі останніх подій, а саме широкого поширення вірусу Covid-19 значного удару зазнала серцево-судинна система людей котрі перенесли хворобу і ті хто одужали, а також ті хто досі хворіють. Нажаль летальних випадків також дуже багато. Серцево-судинні захворювання – основна причина смертності в Україні, тому увага до власного здоров'я вкрай важлива. За даними ВООЗ, майже третина усіх смертей у світі відбувається внаслідок серцево-судинних захворювань. Чверть дорослих українців знаходиться під потенційною загрозою серцевого нападу. Тому для підвищення рівня

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



автоматизації, поліпшення технології лікування хворих, створені електронні прилади, комплекси і системи для автоматизованого тривалого безперервного контролю за станом тяжкохворих - медичні монітори. Для своєчасної діагностики, а також динамічного спостереження за станом пацієнтів в режимі реального часу важливу роль грають кардіомонітори. Застосування кардіомоніторів в кілька разів знижує ризик раптової смерті у хворих з інфарктом міокарда, суттєво покращує якість діагностики та лікування кардіологічних хворих, полегшує медичному персоналу безперервне спостереження за їх станом.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## РОЗДІЛ 1.

# ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ. ОГЛЯД МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ

### 1.1 Поняття серцевого ритму

Серцево-судинна система виконує важливу транспортну функцію в організмі, необхідну для його нормальної життєдіяльності. Завдання серця - перекачування крові по всьому організму. Серце має чотири камери або порожнини (рис.1.1).

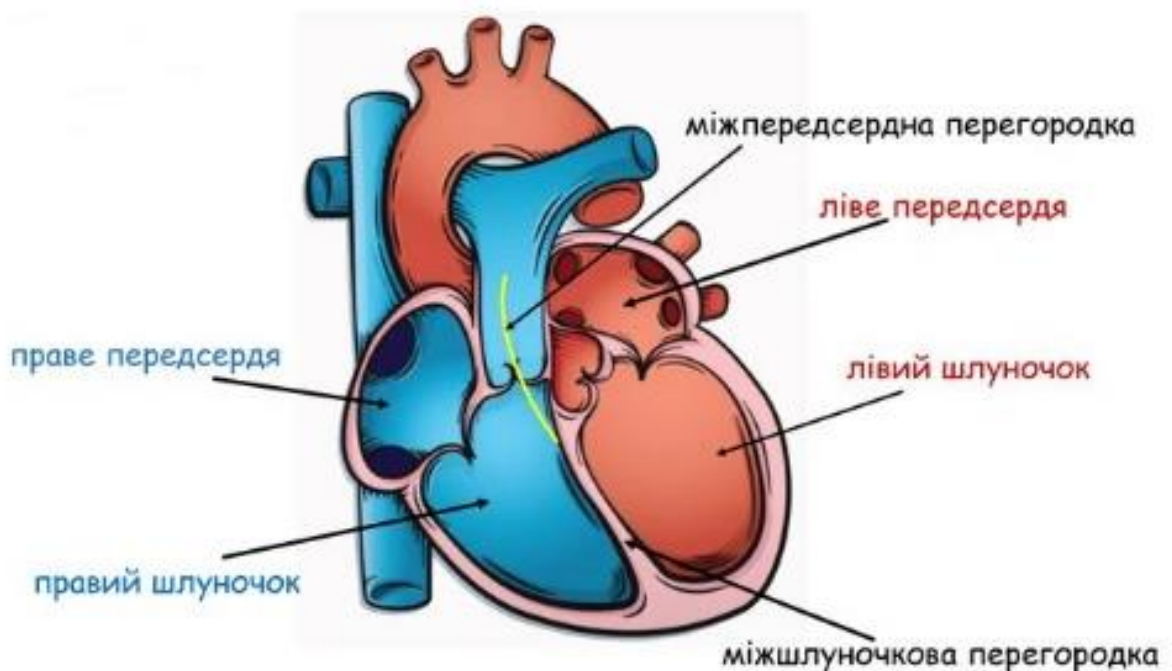


Рисунок 1.1 – розміщення камер серця людини

Верхні камери називаються передсердями, а нижні - шлуночками. Передсердя і шлуночки в свою чергу діляться відповідно на ліве і праве передсердя і лівий і правий шлуночок. Серцевий м'яз функціонує під впливом автоматичного електричного сигналу, який бере початок в синусовому вузлі. Синусовий вузол керує ритмічним скороченням камери серця. Електричний сигнал поширюється з синусового вузла через обидва передсердя в передсердно-шлуночковий вузол (АВ-вузол) і рухається далі до шлуночків, що знаходяться в нижній частині серця [2].

Електричний імпульс викликає скорочення серцевого м'яза таким чином, що спочатку скорочуються передсердя, і завдяки цьому кров перекачується в шлуночки. Потім скорочуються шлуночки, які качають кров в легені і в усі тіло. Нормальний ритм серця називається синусовим ритмом. Будь який інший ритм, який відрізняється від нормального синусового, є порушенням. У деяких випадках - це тимчасове явище, і серце самостійно справляється з усуненням дефекту, повертаючись до нормального режиму роботи. Однак в більшості випадків порушений ритм - це серйозна проблема, яка може призвести до ще більш серйозних ускладнень, наприклад інфаркту [2].

## 1.2 Порушення серцевого ритму

Причинами порушення серцевого ритму можуть бути вроджені патології в серцевій системі або наслідок структурних змін провідності електричних імпульсів в результаті різних факторів - кардіологічних захворювань, електролітного дисбалансу, проблем з щитовидною залозою або вегетативних порушень [3].

Важливо розуміти, що в залежності від типу ритмічних порушень, їх поділяють на дві основні категорії. До першої категорії належать зміни пов'язані з підвищеним серцевим ритмом і мають загальну назву – тахікардія.

Тахікардія — прискорене серцебиття. Слід розрізняти тахікардію як патологічне явище, тобто збільшення ЧСС в спокої, та тахікардію як нормальне фізіологічне явище, а саме збільшення ЧСС унаслідок фізичного навантаження, унаслідок хвилювання або страху [4].

Патологічна тахікардія шкідлива з деяких причин. По-перше, при частому серцебитті знижується ефективність роботи серця, оскільки шлуночки не встигають наповнитися кров'ю, унаслідок чого знижується артеріальний тиск і зменшується притік крові до органів. По-друге, погіршуються умови кровопостачання самого серця, оскільки воно здійснює

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

велику роботу в одиницю часу та потребує більше кисню, а погані умови кровопостачання серця збільшують ризик ішемічної хвороби та інфаркту.

Тахікардія — це не хвороба, а симптом, оскільки вона може виникати як прояв багатьох різних захворювань. Найчастішими причинами тахікардії є порушення вегетативної нервової системи, порушення ендокринної системи, порушення гемодинаміки та різні форми аритмії. Типове ЕКГ тахікардії зображено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – класичне ЕКГ при тахікардії

Друга група негативних змін пов'язана з сповільненим серцевим ритмом і має назву брадикардія. Брадикардія — уповільнене серцебиття, іноді симптом деяких захворювань.

Під синусовою брадикардією розуміють таку зміну серцевого ритму, при якій відбувається зменшення частоти серцевих скорочень до 45-50 ударів в хвилину, обумовлене пониженням автоматизму синоатріального вузла. Синусовий ритм є частотою серцевих скорочень менше 60 раз за хвилину. Зустрічається як у клінічно здорових людей, так і у спортсменів. Дослідження показали, що 50-85% тренуваних людей мають доброякісну синусову брадикардію, у порівнянні з 23% загальної кількості досліджуваних. Серцевий м'яз спортсменів має більшу масу, тому вимагається менше скорочень, щоб циркулював один і той же обсяг крові [5].

Класифікація брадикардії за ступенем вираженості клінічних ознак:

- легкий ступінь (ЧСС від нижнього показника вікової норми знижується на 10 уд / хв);
- помірна вираженість (ЧСС від нижнього показника вікової норми знижується на 20 уд / хв);
- сильна вираженість (ЧСС від нижнього показника вікової норми знижується на 30 уд / хв);

Можливі причини брадикардії:

- Склеротичні зміни в міокарді, що ушкоджують синусовий вузол;
- дія холоду;
- підвищення тону парасимпатичної нервової системи;
- підвищення внутрішньочерепного тиску (при набряку мозку, пухлинах, менінгіті, крововиливі в мозок);
- вплив лікарських препаратів (дигіталіс, хінідин);
- отруєння свинцем, нікотинном;
- гіпотиреоз (зниження функції щитовидної залози);
- голодування, черевний тиф, жовтяниця тощо;
- подразнення каротидного синусу.

Брадикардія може спостерігатись у здорових людей, але здебільшого є ознакою хворобливих станів . Якщо пульс частий, але число ударів його відстає від рівня температури то такий стан називають відносна брадикардія.

Діагноз брадикардії у дорослих ґрунтується на частоті серцевих скорочень менше 60 скорочень на хвилину [5]. Це визначається зазвичай пальпацією або за допомогою електрокардіографії. Класичне ЕКГ при брадикардії зображено на рис. 1.3.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 1.3 – ЕКГ при брадикардії

Лікування брадикардії входить до лікування основної хвороби, симптомом якої вона є, також залежить від того, чи є стан людини стабільним або нестабільним. Якщо є ознаки недостатності кисню, тоді повинне бути забезпечене його додаткове надходження. Якщо людина знаходиться в нестабільному стані, спочатку рекомендується лікування атропіном, який вводиться внутрішньовенно. Дози менше 0,5 мг не слід використовувати, оскільки це може додатково знизити ЧСС. Якщо подібна терапія неефективна, тоді внутрішньовенно вводиться інотроп (дофамін, адреналін) або виконується електростимуляція. Електростимуляція також може бути необхідною, якщо причина брадикардії не може бути швидко усунута [5].

### 1.3 Методи діагностики серцевої діяльності та стану серцево-судинної системи

Діагностувати наявність порушеного ритму серця і правильно класифікувати його тип, допомагають сучасні методи неінвазійних апаратних досліджень, а саме:

- Електрокардіограма.
- Ергометри.
- Холтерівське добове моніторування.
- УЗД серця.
- Магнітно-резонансна томографія серця.

### 1.3.1 Електрокардіограма

Електрокардіограма (ЕКГ) – це графічне представлення результатів електрокардіографії, методики реєстрації та дослідження електричних полів, що утворюються під час роботи серця. Ці результати зображуються у вигляді графіку, який лікар розшифровує і на основі якого ставить діагноз. Головні переваги ЕКГ в її інформативності та доступності. Це дієвий і основний спосіб дослідження роботи серця. З його допомогою фахівець робить висновки про наявність патологій в серцево-судинній системі, спостерігає за змінами в ході лікування.

ЕКГ дозволяє детально визначити внаслідок порушення провідності — наявність аритмій, локалізацію вогнищевих (інфарктних, рубцевих) змін, встановити ознаки перевантаження і гіпертрофії камер серця, проводити моніторинг захворювання, оцінити ефективність проведеного лікування [6].

Електрокардіографія призначається лікарем при наявності наступних скарг:

- підвищений артеріальний тиск;
- підвищений рівень холестерину;
- задишка в стані спокою;
- біль в грудній клітці;
- відчуття печіння в ділянці серця;
- порушення серцевого ритму.

Електрокардіографія є обов'язковою при:

- атеросклероз;
- ожиріння;
- ревматизм;
- травми грудної клітки;
- вагітність.

Також "вимагають" проведення ЕКГ при:

- ускладненнях після інфекційних захворювань;

- хворобах нервової, дихальної та ендокринної систем;
- планових обстеженнях внутрішніх органів;
- контролі за проходженням лікування.

Електрокардіографія – це надійний, перевірений часом та доступний метод діагностики багатьох серцевих хвороб. Не можна ним нехтувати, варто проходити процедуру ЕКГ за призначенням свого лікаря. Вчасно проведена кардіограма може вберегти від серйозних проблем, які іноді коштують людині життя [7].

Одним із типових представників кардіографів, котрі можна зустріти в кабінетах лікарень України «Юкард 100» рис.1.4.



Рисунок 1.4 - електрокардіограф ЮКАРД-100

ЮКАРД-100 – це нове покоління портативних мікропроцесорних багатоканальних електрокардіографів. Завдяки сучасним технологіям цифрової обробки сигналів і оригінальним технічним рішенням це унікальний 12 каналний електрокардіограф, що поєднує в собі компактність і розширені функціональні можливості [8].

Одночасна реєстрація 12-ти стандартних ЕКГ відведень, а також відведень по методу Неба і Слопака з подальшим виведенням на вбудований термопринтер, кольоровий РК-дисплей. В даному електрокардіографі присутні ще такі функції, як аналіз і інтерпретація ЕКГ, пам'ять на 70 записів,

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15



вбудований акумулятор і навіть вбудована система передачі ЕКГ за допомогою звичайних телефонних ліній або мобільного зв'язку. Це все завдяки оригінальному програмному забезпеченню UNET для прийому, обробки та аналізу ЕКГ. Все це дозволяє з успіхом застосовувати ЮКАРД-100 як в системі сімейної медицини та швидкої медичної допомоги, так і в спеціалізованих діагностичних і кардіологічних центрах [8]. Ціна даного медичного апарату варіюється від 40 до 55 тис. грн.

Характеристики даного кардіографа наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – характеристики кардіографа «Юкард – 100»

вхідний опір	> 10 МОм
придушення синфазних перешкод	> 100 дБ
діапазон вимірювань ЧСС	20 - 280 хв
діапазон вхідних напруг	від 0.03 до 5 мВ
частота дискретизації	1600 Гц
діапазон частот	0,05-150 Гц
швидкість розгортки	10, 25, 50 мм/с
живлення	від мережі змінного струму 220 В, акумулятора (2 години роботи) або бортової мережі автомобіля
споживана потужність	< 15 ВА
виходи	USB, Dial-Up модем, GSM модем
габарити	250 x 150 x 65
вага	2.0 кг

### 1.3.2 Ергометри

Під ергометричним методом розуміється перевірка роботи серця після виконання вправ з певною фізичним навантаженням. Спеціальні ергометри - спеціалізовані пристрої, що відповідають вимогам серцево-судинної діагностики і кардіотренувань. Ергометр - прилад для виконання і вимірювання дозованої фізичної роботи. Залежно від її виду та груп м'язів, що беруть в ній участь, розрізняють пальцеві, кистьові ергометри, велоергометри, тредміл (тредбан, бігова доріжка для ходьби і бігу, що рухається з різною швидкістю і нахилом), сходинки різної висоти, пружинні важелі і педалі, маховики та інші [9]. Сучасні ергометри (рис. 1.5) реєструють величину енерговитрат, показники роботи серця і судин, дихання та інші фізіологічні показники.



Рисунок 1.5 – медичний ергометр optibike 400

Одним із представників сучасних ергометрів є optibike 400. Як затверджує виробник він є ідеальним тренувальним пристроєм для пацієнтів з обмеженими можливостями або пацієнтів, що пересуваються в кріслах-візках.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Ергометр дозволяє легко запрограмувати потрібний режим тренування (з контролем ЧСС, з постійним навантаженням, інтервальний режим). Для надійного вимірювання ЧСС передбачений грудний ремінь з цифровим датчиком. Дані проведених тренувань можна зберегти на карті пам'яті і аналізувати на ПК.

Зручний в експлуатації ергометр спрощує проведення тренувань. Щоб відстежувати на великому екрані динаміку ЧСС і навантаження під час тренування, досить натиснути кілька кнопок. Ця функція дозволяє точно встановити інтенсивність тренування з контролем по ЧСС. Спеціальний грудний ремінь реєструє сигнали ЕКГ і автоматично регулює навантаження ергометра для підтримки постійної частоти серцевих скорочень.

Безперебійне і надійне вимірювання ЧСС є невід'ємною частиною тренувань з контролем по ЧСС. Грудний ремінь ergoline з цифровим датчиком і унікальною системою кріплення на пацієнта повністю виключає випадковий прийом сигналів від датчика іншого пацієнта [9].

Ергометри застосовуються головним чином в медичних установах, діагностичних лабораторіях. Сьогодні ергометри також активно застосовуються в області лікувально-профілактичної і відновної медицини, спорту та спортивної медицини. Ергометри, як універсальне обладнання, встановлюють в реабілітаційних центрах, медичних установах, які лікують захворювання опорно-рухової системи. Розрізняють ергометри медичні та немедичні. Для позначення ергометра немедичного призначення часто використовується слово "тренажер", наприклад, "велотренажер" та ін.

### 1.3.3 Холтерівське добове моніторування

Холтерівське добове моніторування один з найбільш інформативних і доступних неінвазійних методів діагностики порушень ритму та провідності серця, ішемічної хвороби серця, оцінки ефективності лікування серцево-судинних захворювань [10]. Метод полягає в безперервній реєстрації електрокардіограми протягом 24 і більше годин протягом яких здійснюється

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

безперервний запис ЕКГ за допомогою спеціального портативного апарату – рекордера типу Експертного Холтера ЕКГ ECGpro Holte (рис.1.6), який пацієнт носить із собою. Холтер ЕКГ - це невеликий портативний реєструючий пристрій, що дозволяє записувати, відстежувати і аналізувати зміни вашого АТ (артеріального тиску) і зміни ЕКГ протягом доби. Добовий моніторинг ЕКГ за Холтером зазвичай призначається після традиційної електрокардіограми, якщо даний метод не дає лікарю достатньої інформації про стан вашого серця. Під час дослідження пацієнт веде свій звичайний спосіб життя (працює, відпочиває тощо), відзначаючи в спеціальному щоденнику час і обставини виникнення неприємних симптомів, прийом ліків і зміну видів фізичної активності.



Рисунок 1.6 – портативний Холтер ЕКГ ECGpro Holte

Даний Холтер ЕКГ наділений повним спектром діагностичних інструментів з аналізом 3-х каналних ЕКГ записів тривалістю до 7 діб.

До його переваг порівняно з іншими подібними приладами представленими на ринку медичних апаратів є:

- точність автоматичного аналізу 99,9%;

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- автоматичне розпізнавання 6 типів комплексів;
- автоматичне виявлення 47 типів аритмій;
- можливість створення власних типів подій;
- аналіз інтервалів QT;
- аналіз ритму за допомогою розкладання Лоренца;
- повний аналіз ЧСС і RR інтервалів;
- експертний аналіз роботи ШВП (ЕКС);
- аналіз підйомів / депресії сегмента ST.

Під час дослідження важливо вести свій звичайний спосіб життя, не обмежуючі свою звичайну активність. В разі виникнення неприємних симптомів з боку серця, прийом ліків і зміну видів фізичної активності, це необхідно зазначити в спеціальному щоденнику (час, обставини, симптоми). Холтерівське моніторування ЕКГ і АТ безболісне і неінвазійне. Ви можете заховати електроди і дроти (датчики) під одягом (рис.1.7), а також можете надіти записуючий пристрій на ремінь або прикріпити його до ременя[10].

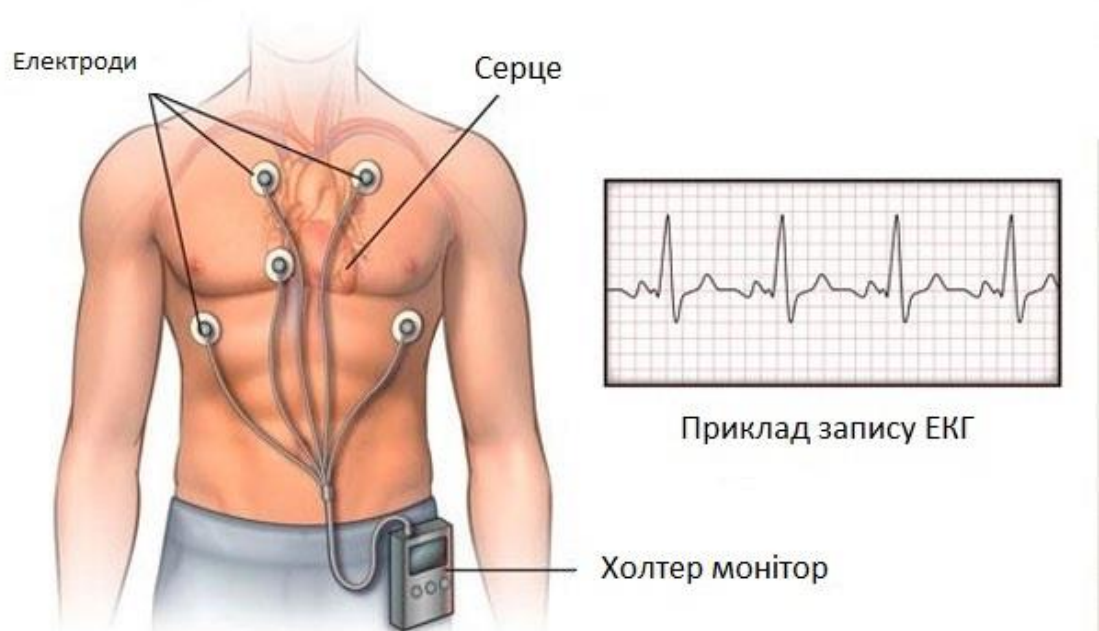


Рисунок 1.7 – кріплення Холтер монітору на тілі людини

### 1.3.4 Аналіз ЕКГ

Аналіз результатів ЕКГ досить не простий процес і тільки спеціаліст із відповідною спеціальною медичною освітою може достовірно розпізнати будь які відхилення, якщо так присутні на електрокардіограмі.

Основні дев'ять показників на які в першу чергу для розшифрування електрокардіограми спеціалісти звертають увагу це:

- частота та регулярність ритму серцебиття;
- форма та тривалість зубця Р;
- тривалість інтервалу PQ;
- форму та тривалість комплексу QRS;
- тривалість та форму сегменту ST;
- форма та тривалість зубця Т;
- форма та тривалість зубця U;
- тривалість інтервалу QT;
- ритм.

Аналізуючи конкретно самі зубці, слід систематично звертати увагу на їх основні наступні 4 характеристики:

- форму зубця;
- тривалість зубця;
- амплітуду його максимального і мінімального відхилення;
- вісь зубця;

На ЕКГ серцевий цикл розподілений на зубці та інтервали (рис.1.8), кожен з яких відповідає певній фазі розповсюдження хвилі збудження у міокарді [11].

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

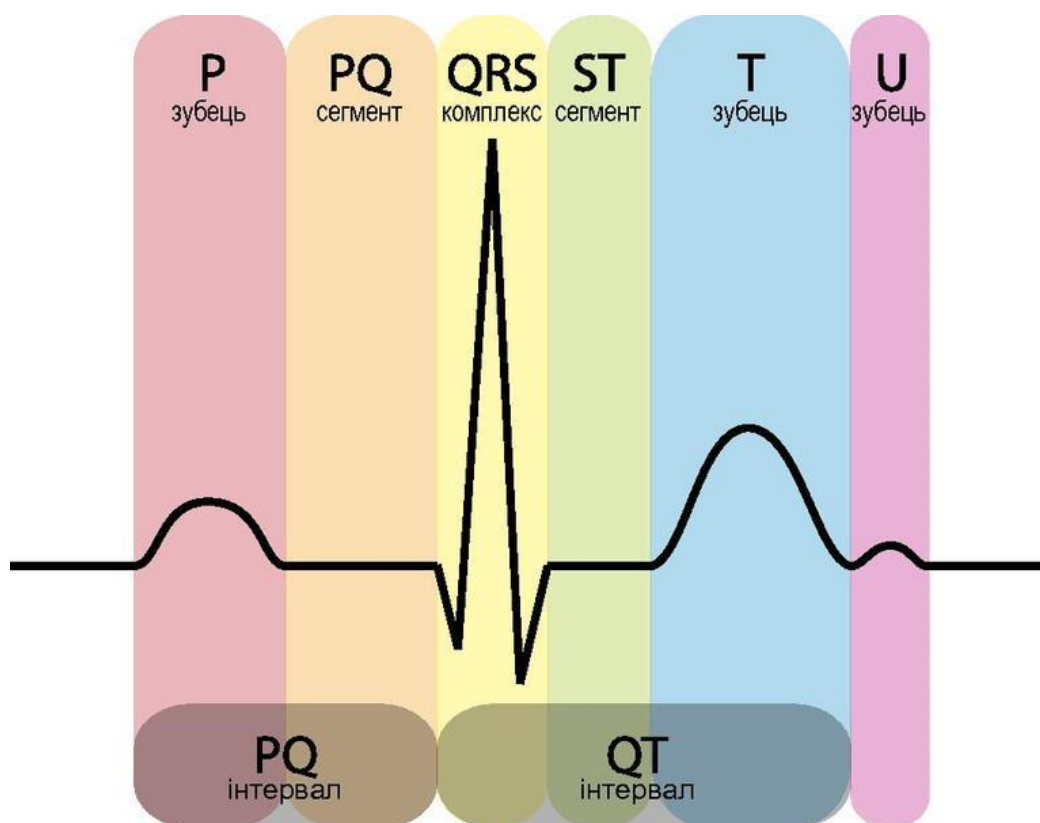


Рисунок 1.8 – розподілений серцевий цикл

Частоту серцевого ритму можна визначити наступним чином: в першу чергу визначають відстань між вершинами зубців R-R (або відстань між вершинами інших добре виражених зубців) у міліметрах, потім множать отримане число на 0,04 (швидкість паперу у даному випадку 25 мм/с) або на 0,02 (при швидкості паперу 50 мм/с), у такому випадку отримують тривалість одного серцевого циклу в секундах. одержане число потім ділять на 60, для того, щоб отримати частоту ритму за хвилину, якщо кількість зубців P і комплексів QRS різні, то частоту передсердного і шлуночкового ритму визначають окремо, таке явище називають AV-дисоціацією. Слід розуміти, що жоден нормальний ритм не є і не може бути абсолютно регулярним. На практиці ритм можна називати регулярним у випадку, якщо відстані R-R приблизно однакові, що визначається різницею не більше ніж 15% [11].

Нормальний зубець P синусового походження позитивний, і має гладкі контури у I, II, aVL відведеннях, негативний – в aVR і двофазний – у V1 (початкова позитивна частина зубця P відповідає деполяризації правого

передсердя, кінцева негативна частина відповідає деполяризації лівого передсердя). Нормальна тривалість зубця Р повинна бути до 0,12 с, амплітуда – не більше 0,2 мВ, негативна частина у відведенні V1 – не більше 0,1 мВ тривалість зубця Р до 0,04 с.

Інтервал PQ(R) вимірюють від початку зубця Р до початку зубця Q або R. Він відображає затримку проведення імпульсу через AV-з'єднання. Його тривалість залежить від частоти серцевих скорочень (при збільшенні ЧСС він вкорочується, а при зменшенні ЧСС і збільшується) і складає 0,12-0,22 с.

Комплекс QRS відображає деполяризацію шлуночків. Зубець Q являє собою перший спрямований вниз зубець комплексу. Нормою є коли зубець Q триває менше 0,05 секунд у всіх відведеннях, за винятком відведень V1-V3, в яких наявність будь-якого зубця Q може вважатися патологічним і вказувати на перенесений або гострий інфаркт. Зубець R - перший спрямований вгору компонент комплексу QRS. Характеристики його нормальної висоти і розміру відносні, однак збільшення висоти зубців R - ознака гіпертрофії шлуночків. Другий позитивний компонент комплексу QRS - зубець, що позначається R'.

Зубець S – являє собою 2-ий негативний компонент комплексу в тому випадку, коли присутній зубець Q, і 1-й, якщо він відсутній.

Комплекс може бути представлений ізольованими зубцями (з виключенням одним компонентом комплексу), сегментами QS (ізольований R), QR (ізольований S), RS (ізольований Q), а також комплексом RSR' в залежності від відведення, вектора серця і наявності захворювань органу. У нормі інтервал QRS становить 0,07-0,10 секунди [11].

Сегмент ST відображає момент повної деполяризації усього міокарду шлуночків. Нормальним є коли сегмент ST знаходиться на ізолінії. Підйом сегменту ST над ізолінією позначається терміном «елевація сегменту ST», опущення його нижче ізолінії – «депресія сегменту ST».

Зубець T відображає реполяризацію міокарда. Зазвичай він має гладкий контур, форма повинна мати вигляд нерівнобедреного трикутника з крутішим підйомом, заокругленою вершиною і пологим схилом. Зубець T у нормі

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



позитивний у більшості відведень. Амплітуда зубця Т не перевищує 0,5 мВ у відведеннях від кінцівок і 1,5 мВ у грудних відведеннях.

Зубець U в нормі повинен бути або відсутній або дуже малий. Зубець U може бути виразнішим при повільних ритмах; якщо він переважає за величиною зубця Т, то це є ознакою гіперкаліємії.

Інтервал QT це період від початку зубця Q/R до кінця зубця. Він відображає період активації та відновлення міокарду шлуночків [11].

### 1.3.5 Ультразвукова діагностика серця

Ультразвукове дослідження або ехокардіографія серця – це сучасний неінвазійний метод діагностики патологій серцево-судинної системи людини. Така маніпуляція дозволяє швидко і точно визначити більшість морфологічних і функціональних змін, які відбуваються в серці пацієнта. Заснована методика на відбитті ультразвукових (високочастотних) хвиль від поверхні різних тканин організму. Процедура виконується за допомогою спеціального апарату УЗД, який генерує хвилі, передає їх через спеціальний датчик, а потім вловлює відбиті дані і на їх основі відтворює зображення на екрані попередньо її обробивши.[12].

Оброблена інформація відображається у вигляді чорно-білого зображення (рис. 1.9). Цей метод дозволяє виявити захворювання на початкових стадіях у дорослих і у дітей та дає можливість запобігти розвитку важкого ураження з формуванням вади серця, визначити зони ішемії (порушення кровопостачання серцевого м'язу) міокарду, виявити перенесені інфаркти міокарду, які не завжди видно на електрокардіограмі. На сьогодні це є одним із основних поглиблених методів дослідження будь якого органу людини без фізичного втручання в нього.

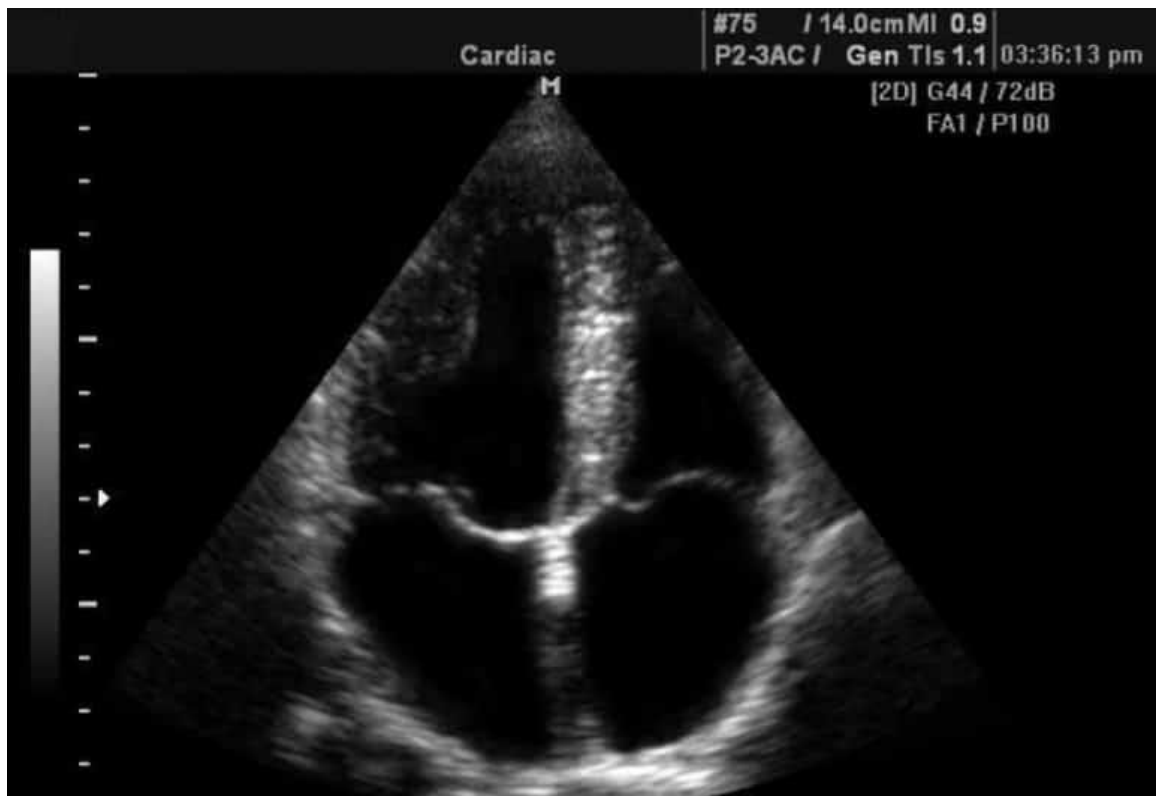


Рисунок 1.9 – зображення УЗД серця

Ультразвукова діагностика серця (ехокардіографія, ЕХО) необхідна для оцінки нормальної роботи серця. В ході обстеження враховуються наступні показники:

- розміри серця та обсяги його порожнин;
- стан перикарду (оболонки серця);
- товщина серцевих стінок;
- виявлення рубців на міокарді;
- робота м'язів шлуночків (функції міокарда);
- стан серцевих клапанів та їх функціонування;
- особливості току крові в середині серця, виявлення патологічних струмів крові, визначення кров'яного тиску в серцевих камерах;
- стан найбільших судин серця.

Перелік хвороб, що допомагає діагностувати УЗД:

- приховані аномалії серця;
- шуми в серці та їх причини;

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- зміни серцевого м'яза та їх ступінь;
- порок серця;
- серцева недостатність;
- погіршення припливу крові до серця;
- перикардит (запальний процес);
- аневризми;
- гіпертрофія і дилатація камер серця;
- ураження судин серця;
- ураження клапанного апарату серця;
- внутрішньо серцеві тромби і пухлини серця.

### 1.3.6 Магнітно резонансна томографія серця

Магнітно-резонансна томографія МРТ) - це неінвазійне дослідження, яке використовує магнітне поле та радіочастотні хвилі для створення детальних знімків органів та структур вашого тіла без використання іонізуючого (рентгенівського) випромінювання. У більшості випадків при виявленні захворювань серця за допомогою ехокардіографії (УЗД серця) лікар-кардіолог буде мати потребу у більш ретельному аналізі змін [13]. На першому місці в переліку допоміжних методів дослідження для аналізу структур і роботи серця стоїть МРТ серця (рис. 1.10).

Існує велика кількість переваг даного методу порівняно з іншими, основі з яких:

- точність отриманих результатів;
- можливість дослідження м'яких тканин без порушення цілісності їх структури;
- можливість знаходження та відображення найменших новоутворень;
- безболісність;
- відсутність негативного впливу на організм людини.

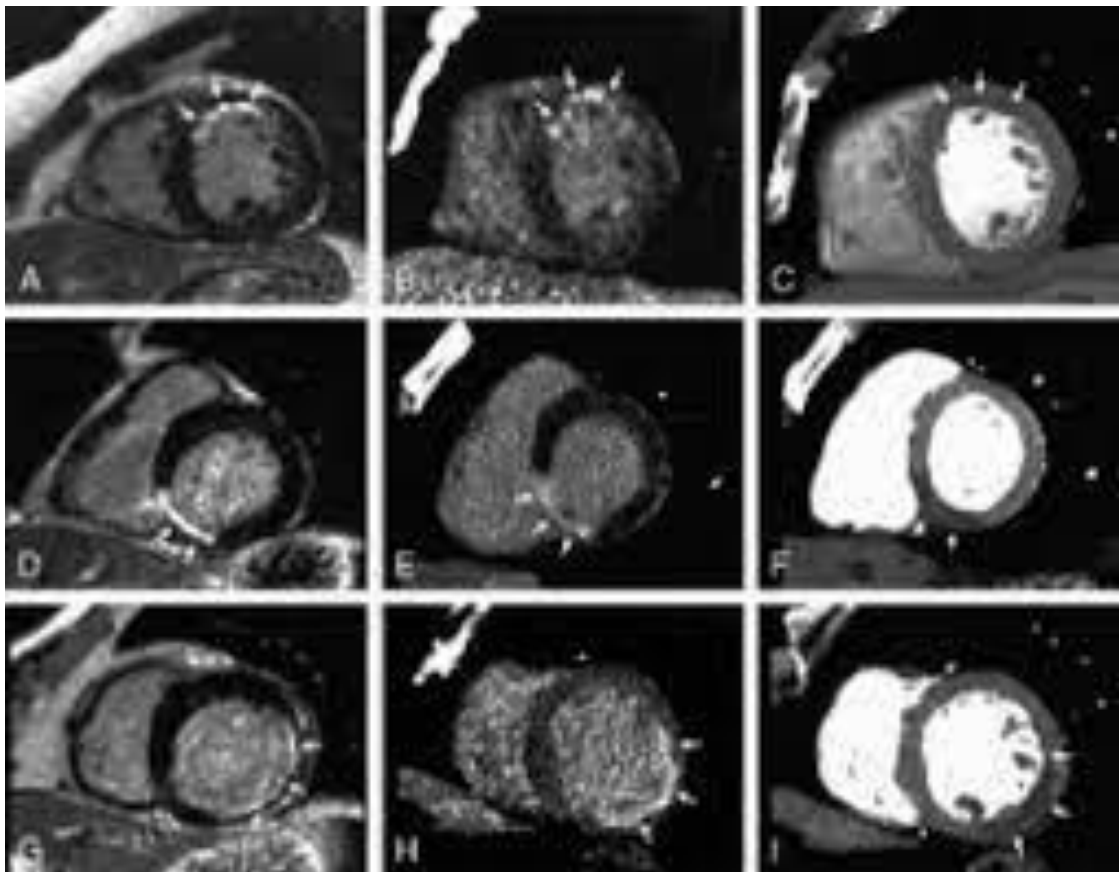


Рисунок 1.10 – зображення дослідження серця шляхом МРТ

З кожним роком діапазон можливостей МРТ постійно розширюється. Роль МРТ у діагностиці захворювань серця і великих артерій постійно зростає, метод міцно увійшов в сучасну медичну практику. Магнітно резонансна томографія (МРТ) серця дозволяє:

- оцінити ступінь звуження коронарних артерій, змін просвіту аорти і т.д. як результат розвитку атеросклерозу,
- досліджувати розміри камер серця і товщину стінки міокарда,
- визначити ступінь пошкодження і функціональний стан серця після інфаркту міокарда або оцінити зміни при інших захворюваннях протягом часу,
- проводити динамічне спостереження за станом пацієнта після лікування, оцінити функцію серця, анатомію, функції клапанів серця і кровотоку в судинах до і після хірургічної корекції вродженої серцево судинної патології у дітей і дорослих [13].

## Висновки до Розділу 1

Проаналізувавши наведену вище інформацію можна дійти до висновку, що будь які зміни в ЧСС можуть сигналізувати про наявність проблем в роботі ССС. Вчасно проведене дослідження та діагностування може зберегти життя будь якої людини.

Проведення ЕКГ являється основним методом дослідження серцевої активності людини. Вона може нести в собі інформацію про наявні захворювання, відхилення в роботі серцевої системи і про будь які порушення серцевого ритму. Але навіть попри всю свою інформативність деякі захворювання або відхилення досить важко діагностувати використовуючи лише ЕКГ. У таких випадках лікарі призначають додаткові дослідження.

Холтер ЕКГ монітори використовують у випадках коли при звичайному ЕКГ дослідженні було отримано недостатньо інформації про наявні зміни серцевого ритму, бо дане дослідження проводиться відносно невеликий проміжок часу і тому добове моніторування проводиться на набагато більшому проміжку часу. У такому випадку пристрій постійно реєструє усі зміни ЧСС і записує їх в пам'ять для подальшого аналізу лікарем кардіологом.

УЗД серця рекомендована у якості профілактичного обстеження у будь якому віці, вона дозволяє виявити будь які патологічні відхилення, котрі можуть виникати в органі на будь якій стадії. Також дане обстеження рекомендоване людям, що активно займаються спортивною діяльністю як професійно так і на рівні любителя. Дуже важливим плюсом даної діагностики є те, що у неї немає вікових протипоказань і вона дозволена будь яким категоріям людей.

Магнітно резонансна томографія серця застосовується у багатьох випадках, зазвичай для того, щоб дослідити роботу органу у реальний момент часу. МРТ призначають при підозрах на будь які запальні процеси, для дослідження стану серця при вроджених вадах, для виявлення ускладнень після перенесених захворювань і при будь яких патологіях.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

У загальному можна виділити сильні сторони представлених видів досліджень. Кожне з них призначається у тому чи іншому випадку. Основним методом дослідження так і залишається ЕКГ коли ж всі інші методи застосовуються при недостатній інформативності електрокардіограми, або коли застосування її не доцільне. Тому метою даного дипломного проекту було створити автоматизований пристрій на основі датчика серцевого ритму AD8232 для зняття електрокардіограми у будь-якої досліджуваної особи, та перевірити чи здатен даний пристрій виконувати свої функції.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## РОЗДІЛ 2.

# СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КАРДІОМОНІТОРУ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ

### 2.1 Вимоги до розроблюваного приладу

В даному дипломному проєкті пропонується розробити, зібрати і запрограмувати прилад призначення якого – спостереження та відображення електрокардіограми пацієнта. Основна ціль – це перевірка того, чи можливо створити достатньо точний прилад для знаття ЕКГ на основі датчика серцевого ритму AD8232 та порівняти його вихідні результати з результатами повноцінного медичного приладу «Юкард 1000». Зробити висновки в проробленій роботі та визначити чи доцільно використовувати даний модуль в медичних цілях і яких саме.

### 2.2 Принцип роботи та структурна схема приладу

На рис. 2.1 зображено структурну схему котра відображає взаємодію елементів прототипу автоматизованого кардіомонітору.

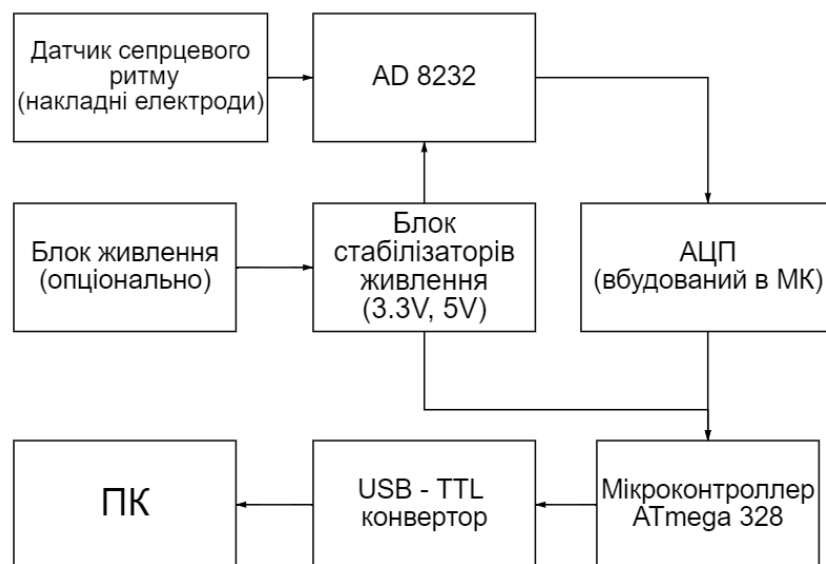


Рисунок 2.1 – структурна схема прототипу автоматизованого кардіомонітору

Основним складовим компонентом даного приладу являється датчик серцевого ритму AD8232. Інформація з нього у вигляді аналогового сигналу передається на АЦП плати Arduino Nano та оброблюється мікроконтролером, попередньо прошитим в середовищі Arduino IDE і потім передається на ПК користувача для подальшого відображення у вигляді електрокардіограми.

## 2.3 Вибір елементної бази автоматизованого кардіомонітору

Підбір елементів для побудови приладу проводився як і економічної точки зору, тобто створити досить дешевий прилад, так і з врахуванням максимальної продуктивності та сумісності кожного елементу.

### 2.3.1 Вибір датчика серцевого ритму

Роль датчика серцевого ритму виконує модуль AD8232 (рис 2.2), найчастіше використовується для реєстрації та обробки електрокардіо та електроміо сигналів [14].

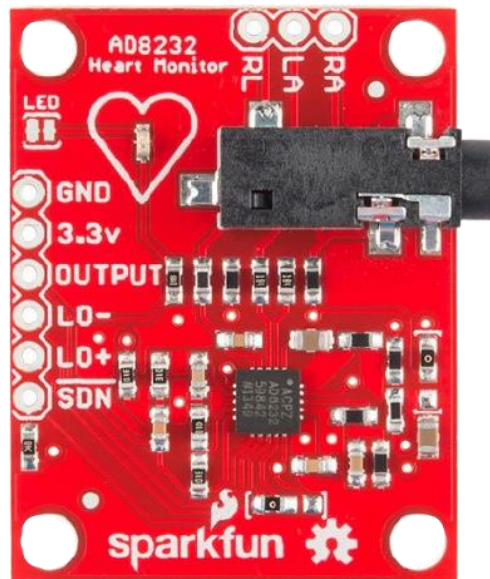


Рисунок 2.2 - модуль AD8232

Серед доступних аналогів він має найбільш оптимальну ціну та задовільні характеристики. Даний модуль являється розробкою компанії

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Analog Devices. Складовими компонентами модуля являються плата AD8232, комплект наліпок і кабелі для їх підключення зображених на рис. 2.3.

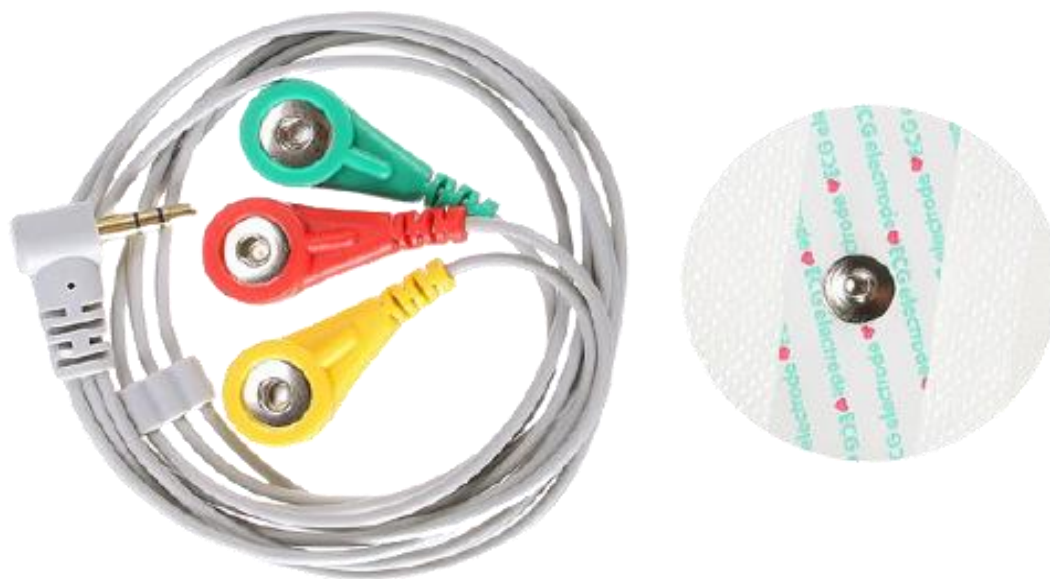


Рисунок 2.3 – комплектуючі наліпки та електроди модуля AD8232

Модуль призначений для вимірювання імпульсів електричної активності серця людини. Така електрична активність може бути визначена, як електрокардіограма (ЕКГ) і зображена у вигляді аналогового сигналу [14].

Сигнал ЕКГ зазвичай невеликої амплітуди і спотворений різними шумами і завади, тому конструкція модуля монітору серцевого ритму AD8232 реалізована як операційний підсилювач із інтегрованими двополюсними високочастотними та низькочастотними фільтрами, що надає можливість отримати підсилений корисний сигнал для визначення інтервалів серцевих скорочень в умовах сильних перешкод [15].

Основні характеристики модуля AD8232 представлені в таблиці 1.

**Таблиця 2.1 Основні характеристики модуля AD8232**

№ п/п	Назва параметру	Характеристика
1	Споживання струму	170 мкА
2	Напруга живлення	Від 2 до 3.5 В
3	Кількість відведень ЕКГ	1

4	Коефіцієнт ослаблення фазового сигналу	80 дБ
5	Вихідний сигнал	Аналоговий
6	Фільтри ВЧ та НЧ	2-полісний фільтр високих частот та 3-полісний фільтр низьких частот

Даний датчик знімає показання ЕКГ з стандартними двополісним відведенням, запропонованим в 1913 Віллем Ейнтгоуеном, при якому фіксується різниця потенціалів між двома точками електричного поля (електродами). Ці дані можна використовувати для відстеження ритмів серця не тільки при навантаженнях і заняттях спортом, а так само і при моніторингу роботи кардіосистеми досліджуваної особи.

Крім цього, датчик може знімати ЕМГ – електроміограма – являється методом реєстрації біоелектричної активності м'язів, після чого отриманий сигнал можна використовувати в біоніці і протезуванні, а також в управлінні джойстиками і клавіатурами в різних фізичних системах доповненої віртуальної реальності [16].

Оскільки модуль AD8232 має аналоговий вихідний сигнал то роль АЦП буде виконувати плата Arduino Nano, також вона слугує каналом для передачі інформації на ПК [17]. Використання зазначеної плати не є принциповим, більш того, при додатковій обробці сигналу на боці мікроконтролера, плату рекомендовано змінити на більш потужну.

### 2.3.2 Вибір керуючого контролера

При виборі керуючого контролера основними умовами були максимальна сумісність з модулем AD8232, наявність вбудованого АЦП, компактність, універсальність. Як вже було написано на цю роль добре підходить універсальна платформа Arduino Nano (рис. 2.4) розроблена компанією Gravitech. Дана плата, сумісна з різноманітними макетними платами і є практично універсальною і дуже доступною. Вона побудована на

основі мікроконтролера ATmega328. Arduino Nano для живлення використовує Mini-B USB кабель.



Рисунок 2.4 – зовнішній вигляд плати Arduino Nano

**Таблиця 2.2 - характеристики плати Arduino Nano**

Мікроконтролер	ATmega168 або ATmega328
Робоча напруга (логічний рівень 0-1)	0-5 В
Вихідна напруга	7–12 В
Вхідна напруга (гранична)	6–20 В
Цифрові вхідні/вихідні виводи	14 (з яких 6 можуть використовуватися у якості ШИМ)
Аналогові вхідні виводи	8
Постійний струм через вхідні/вихідні виводи	40 мА
Флеш-пам'ять	16 Кб (ATmega168) або 32 Кб (ATmega328)
Оперативна пам'ять SRAM	1 Кб (ATmega168) або 2 Кб (ATmega328)
Енергозалежна пам'ять EEPROM	512 б (ATmega168) або 1 Кб (ATmega328)

Тактова частота	16 МГц
Габаритні розміри	45 мм на 18 мм

Основною складовою платформи Arduino Nano являється 8-бітний мікроконтролер сімейства AVR - ATmega328P із тактовою частотою 16 МГц. Для забезпечення зв'язку між мікроконтролером ATmega328P та ПК користувача використовується мікросхема FTDI FT232R. При підключенні до ПК Arduino Nano визначається як віртуальний COM-порт [18].

Піни живлення:

- VIN: Призначений для підключення зовнішнього джерела живлення з діапазоном напруг від 7 до 12 вольт.
- 5V: Вихідний пін від вбудованого регулятора напруги на самій платі з вихідною напругою 5 вольт і максимальних струмом 800 мА.
- 3.3V: Вихідний пін від стабілізатора мікросхеми FT232R з виходом 3,3 вольт і максимальних струмом 50 мА.
- GND: Вивід призначений для заземлення.
- AREF: Опорна напруга для аналогових входів.

Порти вводу/виводу:

- Arduino Nano має 14 (піни від 0 по 13) цифрових виводів і кожен з них може бути використаний і як вхід, і як вихід. Вони працюють з напругою 5 вольт котрий відповідає логічній одиниці. Кожен вивід може пропускати максимальний струм 40 мА і має підключені підтягуючі резистори, які за замовчуванням вимкнені, але можуть бути включені програмно.
- ШІМ: пронумеровані наступним чином - 3,5,6,9,10,11. Будь-який з них може забезпечувати 8-бітові аналогові значення в вигляді ШІМ сигналу.
- АЦП: Піни від А0 по А7. Дозволяють представити аналогову сигнал в цифровому вигляді. АЦП мають розрядність в 10 біт, а також діапазон

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

вхідних напруг від 0 до 5 В. При подачі зовеликої напруги є ризик спалити мікроконтролер.

- SPI: 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SSK). За допомогою даних виводів здійснюється зв'язок SPI, для чого використовується бібліотека SPI;
- UART: Піни 0 (RX) і 1 (TX). Використовуються для комунікації плати Arduino з комп'ютером або іншими пристроями за допомогою послідовного інтерфейсу. Виводи 0 (RX) і 1 (TX) з'єднані з відповідними USB-UART виводами перетворювача FT232R. Для роботи з послідовним інтерфейсом – використовуються методи бібліотеки Serial [18].

## 2.4 Підключення елементів

На стадії прототипу використовувалася плата Arduino Nano, принципової різниці яку плату використовувати особливої не має, у нашому випадку доцільніше використовувати Arduino Nano лише з міркувань компактності майбутнього приладу. Схема підключення модуля AD8232 до плати Arduino UNO зображена на рис. 2.5.

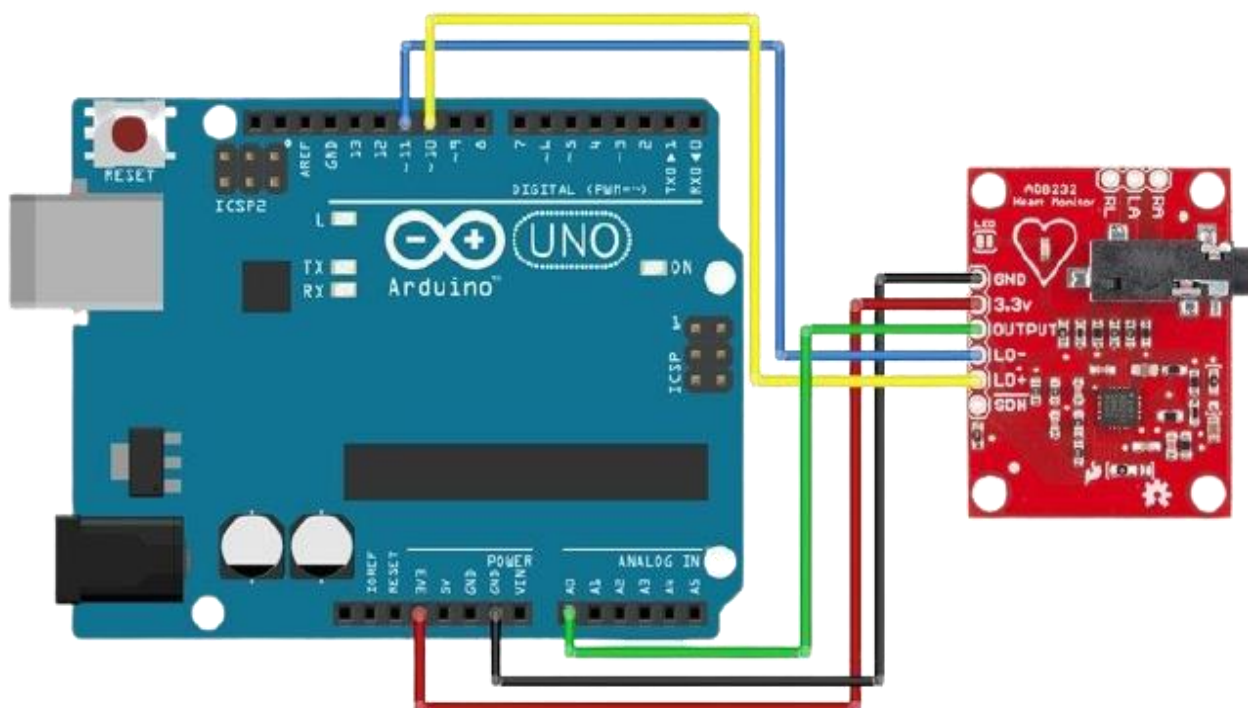


Рисунок 2.5 - Схема підключення модуля AD8232 до плати Arduino UNO

**Таблиця 2.3 – підключення AD8232 до плати Arduino UNO**

Вивід модуля	Функція	Вивід Arduino
GND	Загальний	GND
3.3V	Живлення	3.3V
OUTPUT	Вихідний сигнал	A0
LO-	Leads-off Detect -	11
LO+	Leads-off Detect +	10
SDN	Shutdown	не використовується

## 2.5 Розробка корпусу приладу

Для креслення деталей корпусу і подальшого створення 3D моделі використовувалася САПР (система автоматизованого проектування) SolidWorks. Даний програмний продукт є напевно одним із найпоширеніших інструментів для проектування та 3D моделювання деталей та повноцінних приладів у всьому світі. Безсумнівною перевагою даного ПЗ є те, що можна створювати деталі для майбутнього 3D друку, це захищає розробника від усіляких помилок, що зазвичай виникають в процесі ручного начертання проєкцій тих чи інших виробів. В SolidWorks можна однаково успішно працювати як з твердими тілами, так і з будь-якими поверхнями різноманітної складності. Процес побудови 3D моделі ґрунтується на створенні елементарних геометричних примітивів та виконанні різних операцій між ними. Модель складається зі стандартних елементів (блоків) і може бути відредагована шляхом або додавання (видалення) цих елементів, або зміни характерних параметрів блоків [19].

Враховуючи всі переваги даного програмного продукту було прийнято рішення використати його безпосередньо для моделювання складових корпусу. Для самого початку потрібно було визначитися із загальними габаритами конструкції. Враховуючи, що всередині будуть знаходитися лише дві плати невеликих розмірів то і досить великого корпусу не потрібно. Сам

корпус повинен буди розбірним та легко монтуватися і складатися з 6 основних деталей, а саме деталі основи, задньої стінки, передньої стінки, бокових стінок і рухомої кришки для демонстрації внутрішніх складових пристрою та зручного доступу до них. Для плат кріплення плат потрібно передбачити отвори для подальшої фіксації.

Моделювання виконувалося кожної деталі окремо спочатку у вигляді креслення, а потім виконувалося надання їм форми тривимірного тіла за допомогою інструментів SolidWorks. Після створення усіх деталей дана програма дозволяє зручно об'єднати їх у збірку, цим самим можна попередньо перевірити чи можна буде скласти даний корпус і при наявних помилках у кресленні швидко їх виправити. При складанні збірки також можна зазначити конкретні деталі котрі повинні буди рухомі для симуляції їх рухів уже безпосередньо, як складової готової моделі конструкції. Деталі конструкції корпусу, а також їх збірка наведені на рисунках 2.6-2.12 нижче.

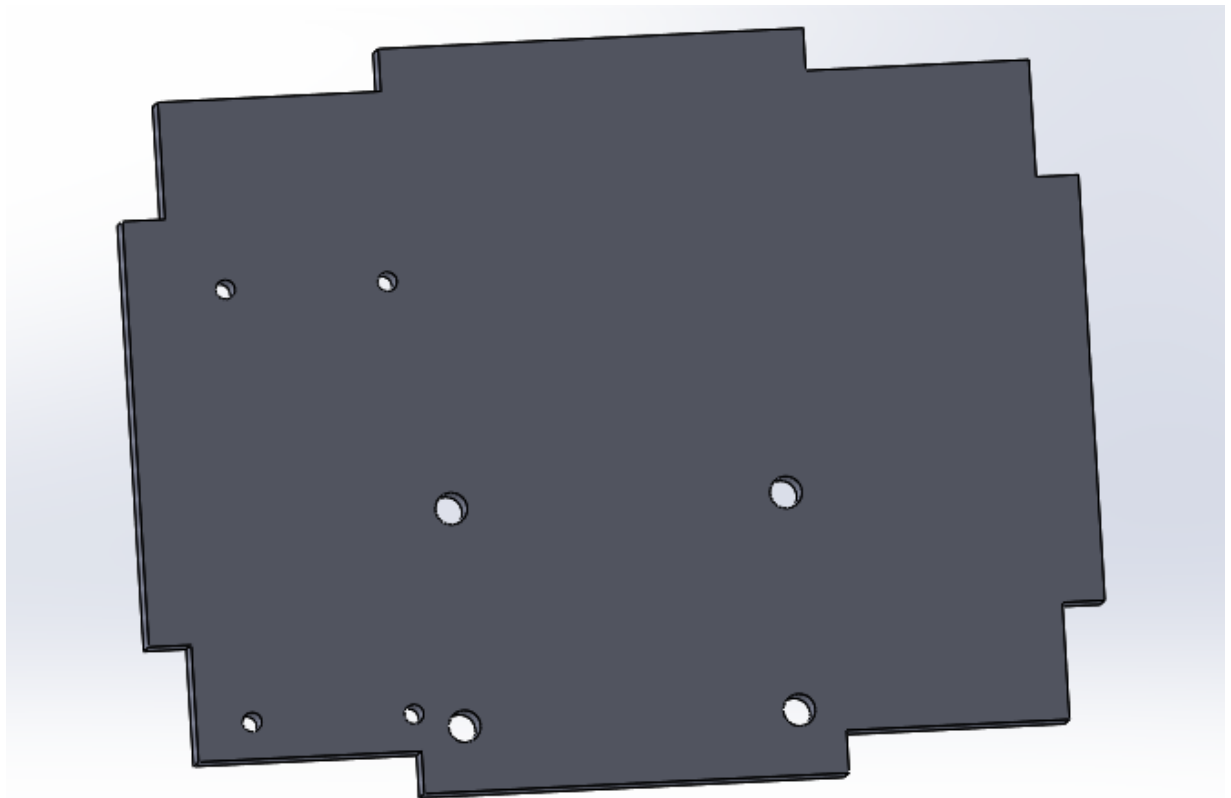


Рисунок 2.6 – деталь основи корпусу з отворами для кріплення плат

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

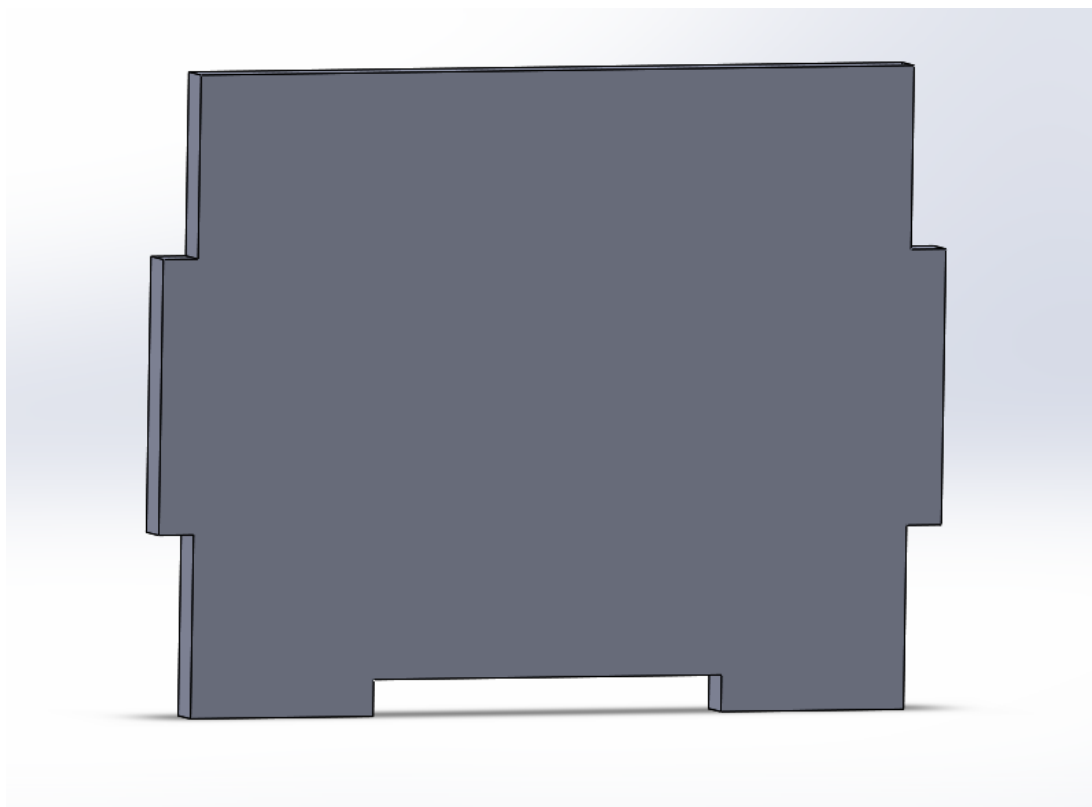


Рисунок 2.7 – деталь задньої стінки корпусу



Рисунок 2.8 – деталь кришки корпусу

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



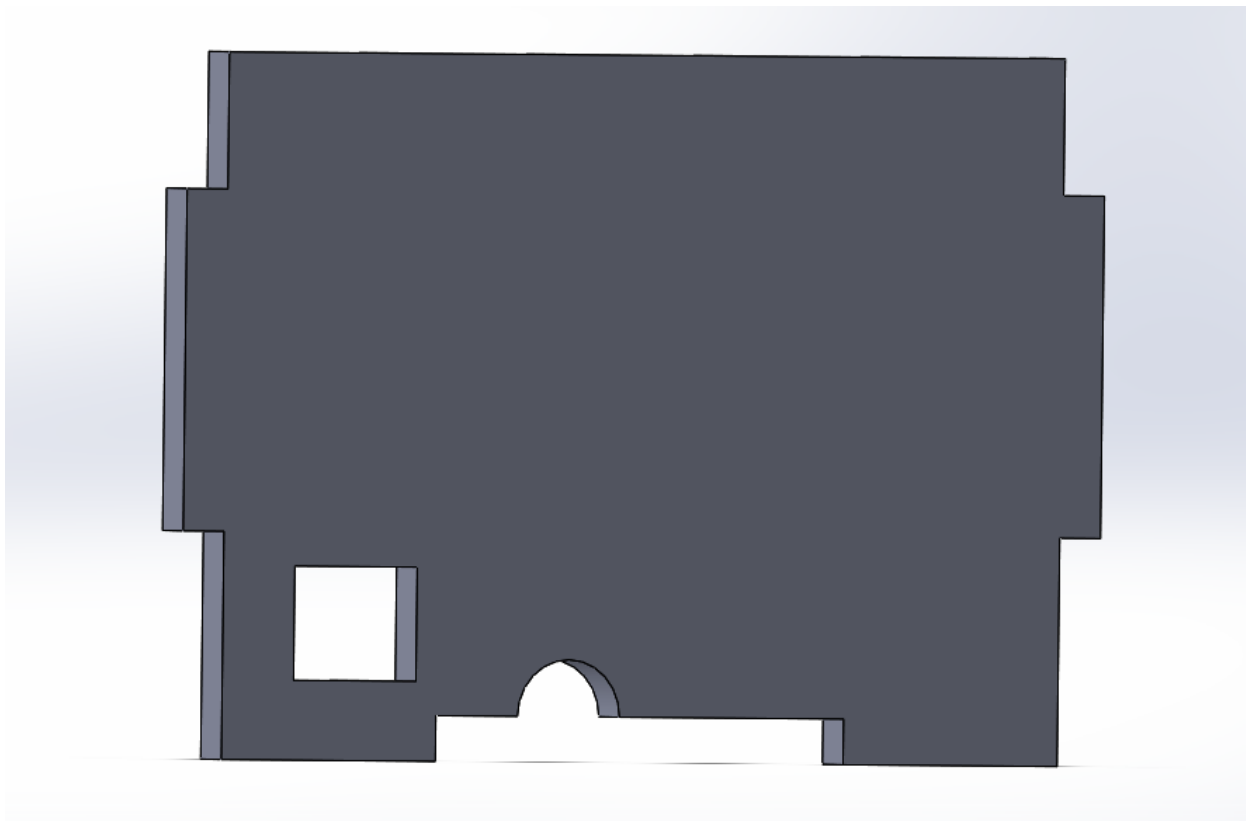


Рисунок 2.9 – деталь передньої стінки корпусу

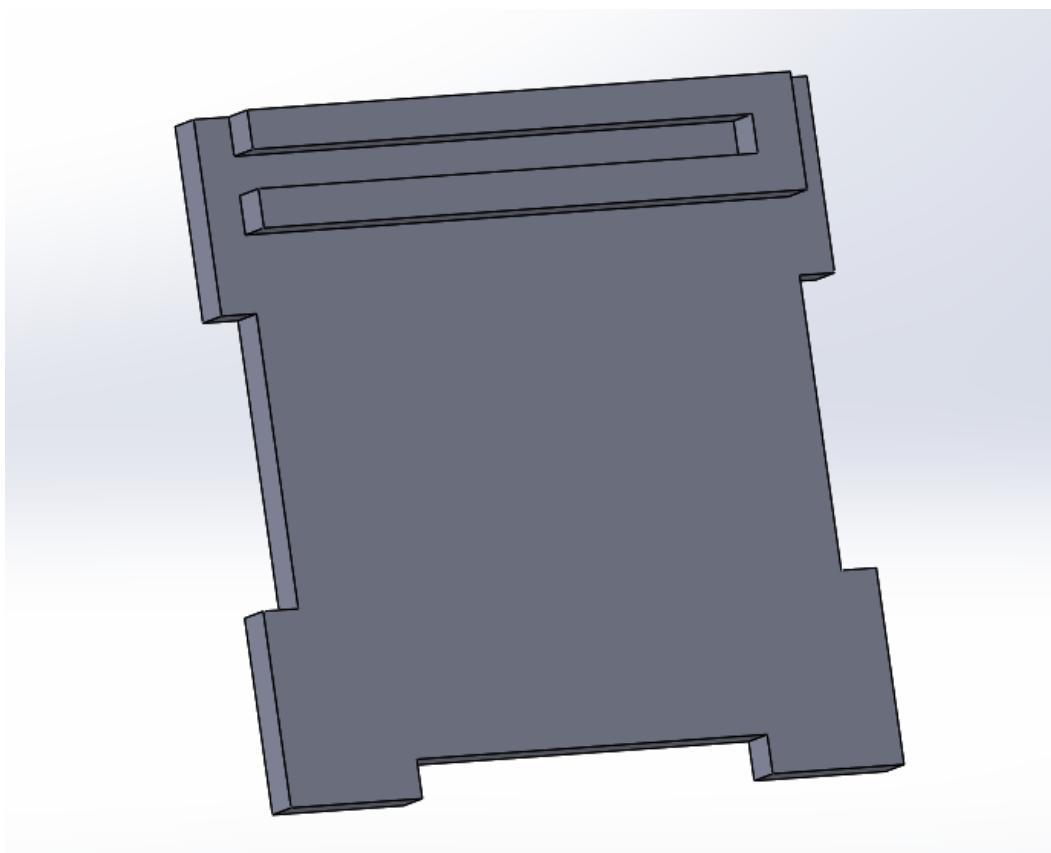


Рисунок 2.10 – деталь лівої стінки корпусу

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

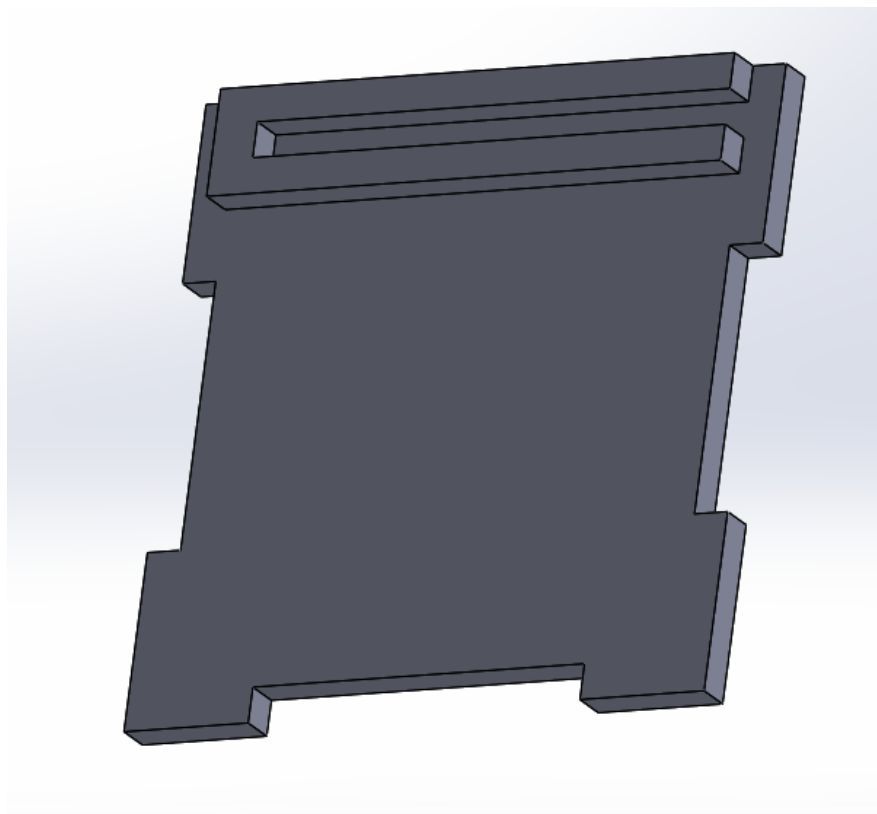


Рисунок 2.11 – деталь правої стінки корпусу

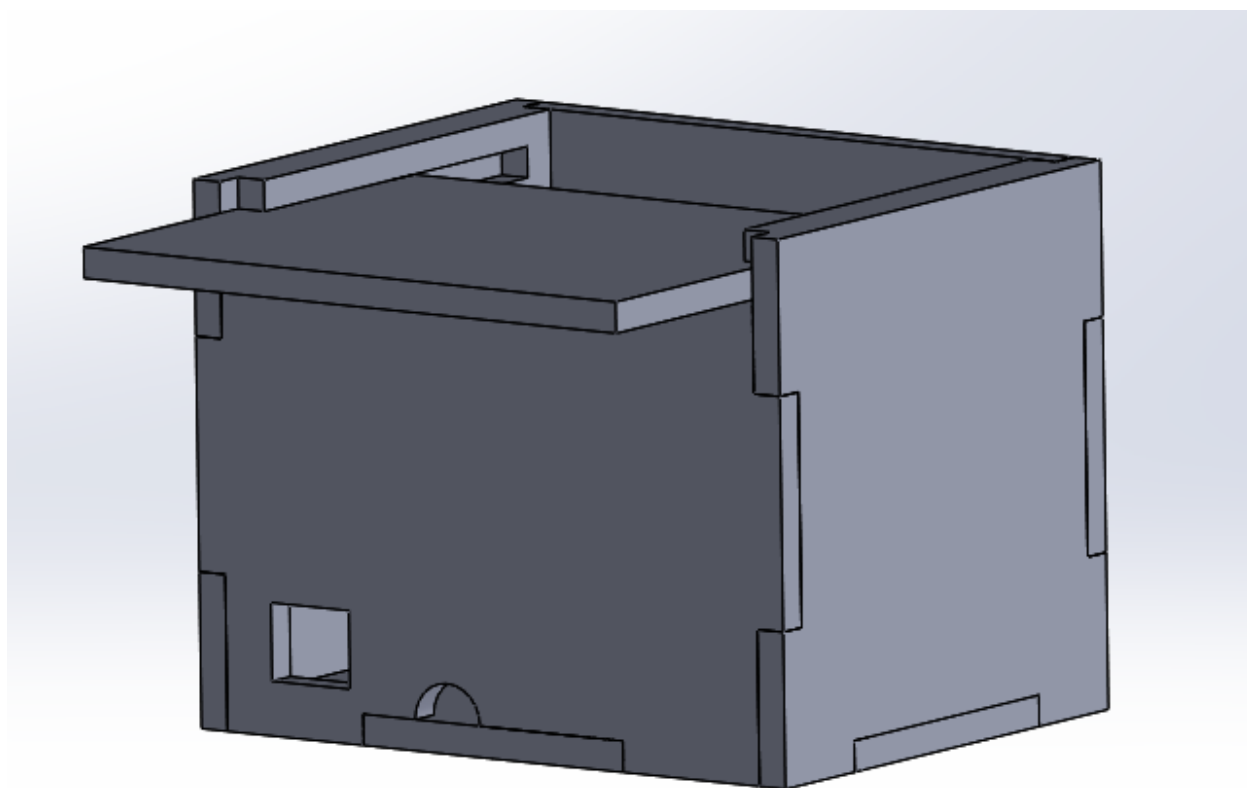


Рисунок 2.12 – деталі корпусу у зібраному стані

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		41

Після завершення моделювання та всіх перевірок можна переходити до етапу виготовлення деталей корпусу та його вже фізичного складання.

## 2.6 Виготовлення деталей корпусу

Для того, щоб перейти безпосередньо до етапу виготовлення деталей потрібно обрати для себе найкращий метод та матеріал для виготовлення. У моєму випадку за планом прилад не буде працювати у жорстких умовах і тому відразу можна відмовитися від різних сплавів металів і від металевих корпусів взагалі. Вибір коливався в першу чергу між дерев'яним та пластмасовим корпусами. Зваживши всі за та проти, а також врахувавши, що друк на 3D принтері такого ж пластикового корпусу може зайняти багато часу, а також і буде більш дорого вартісним то було прийнято рішення виконати даний корпус із дерева, а саме тонкої фанери. Методів по обробці таких матеріалів існує дуже велика кількість, від грубих інструментів до високоточного сучасного обладнання. Оскільки програма SolidWorks дозволяє зберігати файли проектів у форматі .DXF то можна скористатися таким сучасним методом як лазерна різка деревини на станках з ЧПУ.

Файл формату DXF (Drawing Exchange Format File) відноситься до файлів категорії CAD. Даний формат файлу був заснований фірмою Autodesk, яка застосовувала його в кресленнях програмного комплексу AutoCAD. Вони являються є відкритим векторним форматом, використовуваним з метою обміну файлами даних графіки, в тому числі векторних зображень та іншої графічної інформації в середовищі САПР. Реалізовано подібний тип файлу як альтернатива основного формату, також створеного компанією Autodesk, під назвою "AutoCAD - DWG" [20].

У сфері деревообробки лазер може бути корисний своєю універсальністю. Лазерне гравірування по дереву виходить з оригінальним ефектом, різання з акуратними краями і також однією з переваг є те, що під час такого різання відсутні відходи сировини оскільки вони відразу згорають.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

То ж для того, щоб створити файл формату DXF в SolidWorks достатньо розмістити на чистому форматі креслення всі потрібні елементи у вигляді зверху. Важливим моментом є те, що масштаб повинен буди 1:1. Після збереження креслення в форматі DXF вони матимуть вигляд, як зображено на рисунку 2.16.

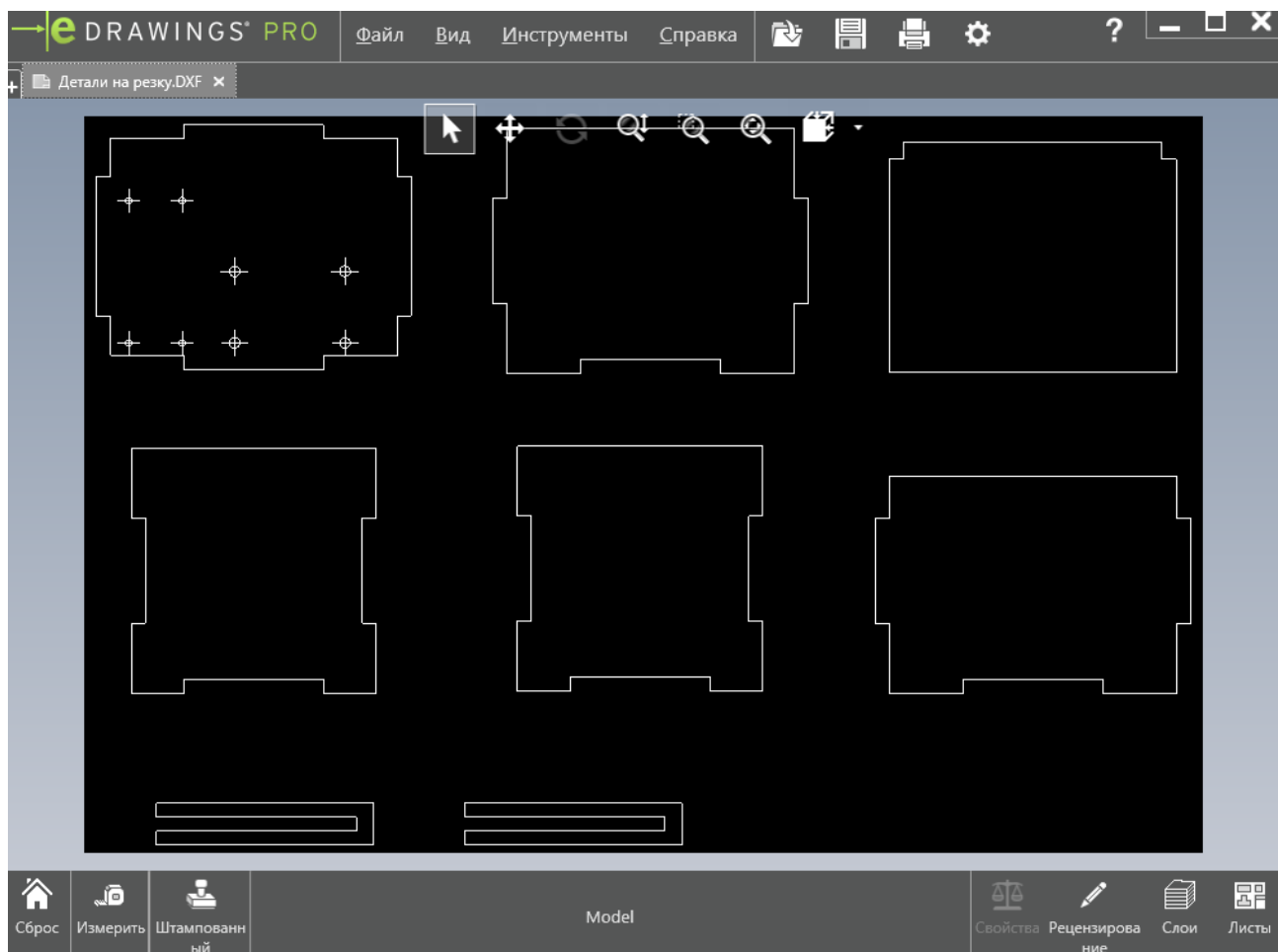


Рисунок 2.16 – деталі конструкції в CAD форматі DXF

Залежно від сорту дерева, структури і щільності матеріалу, підбирається оптимальний режим роботи лазера. Процес різання проходить під строгим контролем фахівців. Якщо дерево має нерівності, сучки або неоднорідну структуру, під час обробки виробу потужність лазера змінюється.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 2.7 Середовище програмування мікроконтролера

У даному проекті в якості мікроконтролера використовується ATmega328 на базі плати Arduino Nano і тому середовищем програмування даного мікроконтролера буде виступати Arduino IDE (рис. 2.17).

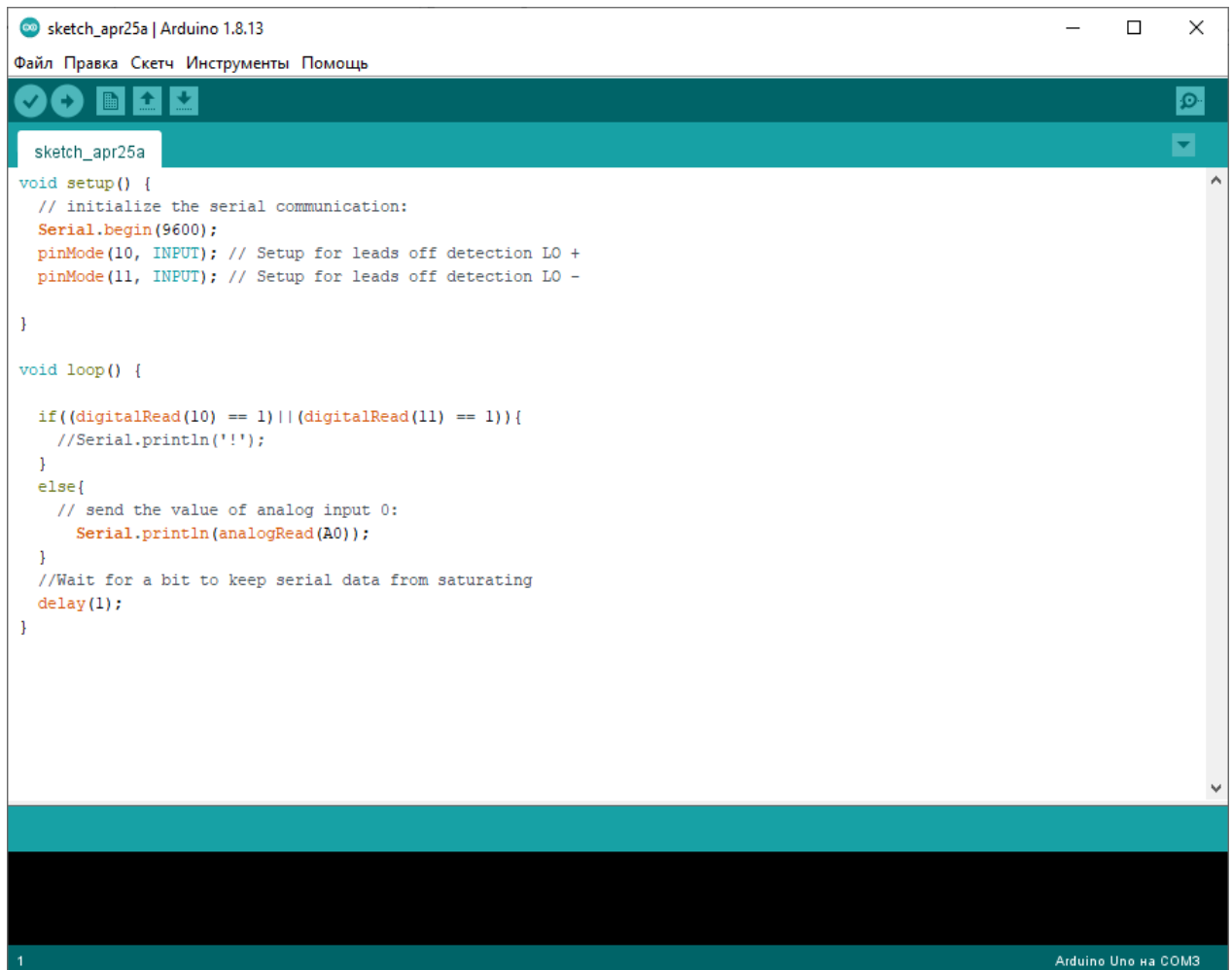


Рисунок 2.17 – зовнішній вигляд середовища програмування Arduino IDE

Arduino IDE - це програмне середовище розробки, що використовує мову подібну C++ (спрощену) і призначене для програмування всіх плат типу Arduino і не тільки. Як і в інших C-подібних мовах програмування є ряд правил написання коду. Так само як і C++ мова є жорстко типізованою і компільованою.

Абревіатура IDE розшифровується як Integrated Development Environment і перекладається, як інтегроване середовище розробки. Саме за допомогою нього програмісти пишуть код програми, причому роблять це

набагато швидше і зручніше, а отже і продуктивніше ніж при використанні звичайних текстових редакторів. Програма котра була написана в даному середовищі має назву скетч. Дуже зручно, при збереженні та експорті проекту в області повідомлень з'являються пояснення, котрі повідомляють про успішне завершення тієї чи іншої операції, а також можуть відображатися повідомлення про те, що виникли помилки. Спеціально призначене вікно для виведення тексту має назву консоль і показує повідомлення Arduino, що можуть включати в себе повні звіти про помилки та іншу інформацію. Кнопки розташовані на панелі інструментів дозволяють перевірити (відладити) і записати програму, створити, відкрити і зберегти скетч, відкрити моніторинг послідовної шини та багато інших операцій [21].

Безпосередньо після написання самого скетча потрібно задати основні параметри для його завантаження в меню «Інструменти». Обов'язково потрібно обрати плату, а також COM порт до якого підключена Arduino. Після чого можна відладити написаний скетч і завантажити прошивку в пам'ять. У разі, якщо не виникало ніяких помилок, скетч написаний правильно і обраний правильний COM порт то програмний код буде завантажено в пам'ять.

## 2.8 Складання пристрою

Перехід до етапу складання пристрою безпосередньо являє собою збирання всієї елементної бази в одне ціле. Даний етап проходить в декілька кроків. Для самої зручності складання та легкого доступу до дрібних елементів спочатку доцільно зафіксувати плату Arduino Nano та модуль AD8232 на основі корпусу за допомогою стійок так гвинтів (рис.2.18). Для фіксації спеціально передбачені отвори в які з легкістю вкручуються гвинти та за допомогою цього кріпляться плати. Після цього можна переходити до збирання інших деталей корпусу котрі рекомендовано скріпити між собою за допомогою клею, для фанери краще використовувати клей ПВА.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 2.18 – стійка для кріплення плат до корпусу



Рисунок 2.19 – корпус приладу з платами у зібраному стані.

Для забезпечення відкривання кришки корпусу для можливої модернізації приладу та зручного доступу до плат було передбачено направляючі для пересування кришки (рис 2.20).

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 2.21 – направляючі для пересування кришки корпусу

Після того, як корпус буде зібрано то можна переходити до підключення електродів з датчиками, та кабелю USB призначеного для живлення пристрою та передачі даних між ПК та платою Arduino. Для зручного підключення кабелів було зроблено спеціальні отвори на передній стінку корпусу.

Дана конструкція корпусу забезпечує легкість приладу в експлуатації, доступу до всіх виконуючих елементів приладу, а також зручне підключення зовнішніх кабелів.

Слід зазначити, що дана конструкція досить швидко збирається і є досить компактною і легкою.

Готовий пристрій зображений на рисунку 2.22.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		





Рисунок 2.22 – Автоматизований кардіомонітор у зібраному стані

## 2.9 Алгоритм підключення та роботи з приладом

Для того, щоб почати працювати з приладом потрібно провести ряд певних операцій. У першу чергу потрібно підключити живлення до пристрою. Оскільки живлення використовується від ПК користувача то достатньо лише підключити USB кабель від комп'ютеру до входу в корпусі пристрою. Після цього підключити електроди до входу 3.5мм, щоб датчики могли зчитувати та передавати інформацію до модуля AD8232. Тільки як живлення і електроди

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

будуть підключені то відразу можна клеїти липучки на тіло пацієнта. На відміну від класичного ЕКГ де використовують 10-12 контактів у нашому випадку їх всього 3. Схема розміщення липучок представлена на рис. 2.23. Як було сказано раніше в даному приладі реалізовано метод стандартного двополюсного відведення, котрий фіксує різницю потенціалів між двома точками електричного поля (електродами).

У 1913 році Віллем Ейнтговен у співпраці з колегами опублікував статтю, у якій запропонував до використання три стандартних відведення: від лівої руки до правої, від правої руки до ноги і від ноги до лівої руки з різницями потенціалів: V1 , V2 і V3 відповідно. Така комбінація відведень становить електродинамічний рівносторонній трикутник з центром у джерелі струму в серці. Ця робота поклала початок вектор-кардіографії, що почала розвиватися в 1920-х роках ще за життя Ейнтговена [22].

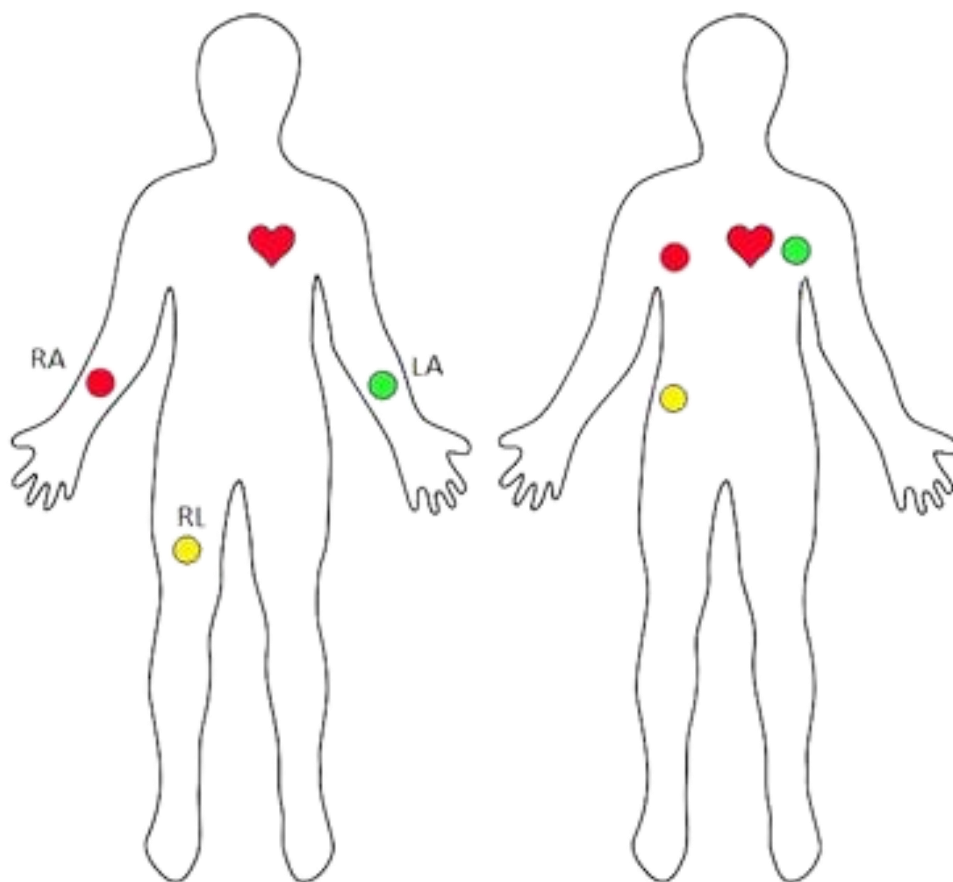


Рисунок 2.23 – схема розміщення липучок для отримання ЕКГ

Перед початком досліджень потрібно звернути увагу на те, що даний прилад є дуже чутливим до сторонніх завад. Експериментальним шляхом було визначено, що на чистоту сигналу впливають такі чинники, як:

- наявність поблизу блоків живлення та зарядних пристроїв телефонів, ноутбуків, стаціонарних комп'ютерів, оскільки вони побудовані на основі перетворювачів постійної (випрямленої мережевої) напруги в змінну і слугують джерелом інтенсивних перешкод. Такі перешкоди можуть повністю подавити сигнал. Графік ЕКГ перестане нести в собі будь яку корисну інформацію.
- Довжина електродів через які передається сигнал від липучок також сильно впливає на чистоту сигналу, при збільшенні довжини кабелю збільшується амплітуда і частота шумів у сигналі.
- Якість липучок і щільність контакту безпосередньо впливають на якість самого сигналу. Для кращого контакту липучок слід намочити місце накладення липучок, а також слідкувати за станом гелю на них. Найкращим буде використання при кожному дослідженні нових липучок.

Для чіткості сигналу важливо зберігати одне положення, а найкращим варіантом буде зайняти лежаче положення і на декілька секунд затамувати подих.

Для перевірки працездатності приладу його було підключено до ноутбука за допомогою USB. Було дотримано всіх зауважень та рекомендацій з інструкції користування та підключення даного приладу, вимкнено всі джерела сторонніх завад. Для підключення датчиків було використано схему зображену на рис. 2.23. Місця підключення липучок попередньо було змочено водою. Отримані результати дослідження зображено на рис. 2.24.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

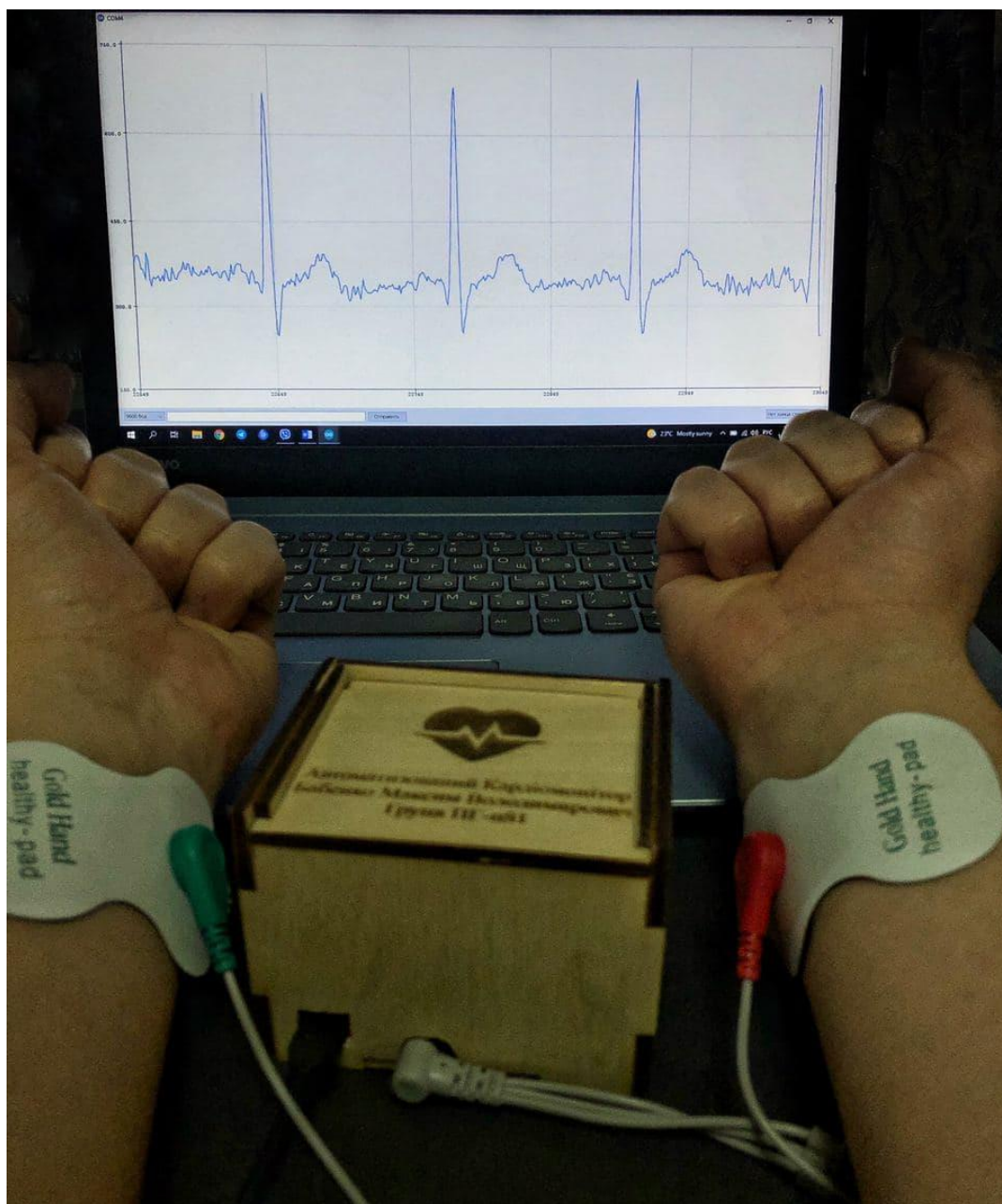


Рисунок 2.24 – перевірка працездатності приладу та отримання результатів.

## 2.10 Аналіз результатів

У якості еталонної ЕКГ з якою будуть відбуватися порівняння була взята електрокардіограма отримана за допомогою портативного електрокардіографа «Юкард-100». Слід зазначити, що цей прилад являється професійним медичним апаратом. Дане дослідження відбувалося в медичній установі під наглядом лікаря спеціаліста. ЕКГ за допомогою «Юкард-100» знімається

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		51



методом 12 відведень. Під відведенням слід розуміти різницю потенціалів між двома і більше електродами розміщеними на тілі пацієнта (рис. 2.25).

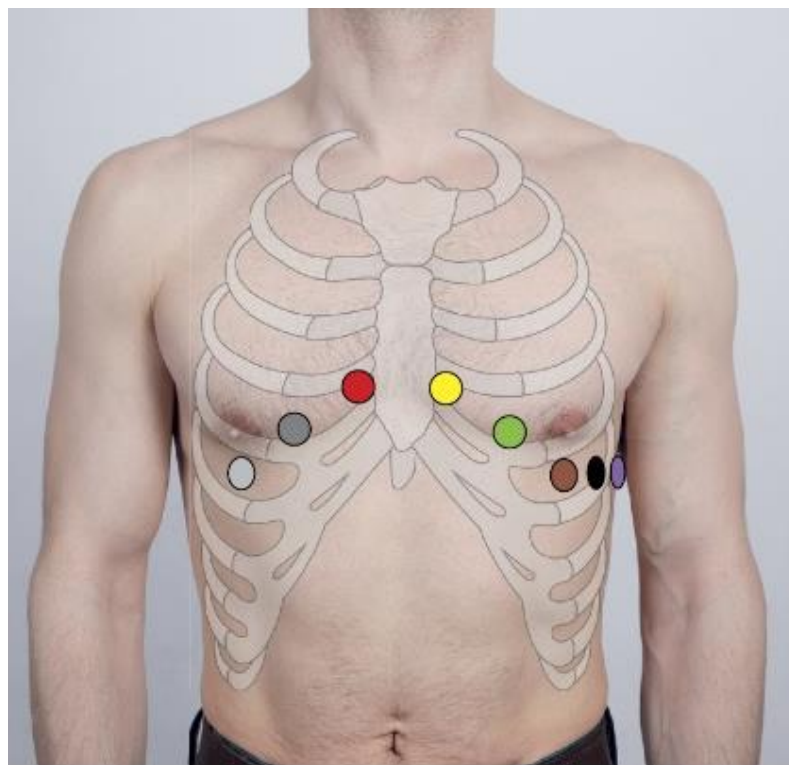


Рисунок 2.25 – точки кріплення електродів при використанні методу 12 відведень для отримання ЕКГ

Як і в випадку з використанням приладу на основі модуля AD8232 алгоритм зняття ЕКГ медичним апаратом аналогічний. Потрібно дотримуватись усіх рекомендацій лікаря і зберігати одне положення. На рисунку 2.26 зображена електрокардіограма отримана за допомогою «Юкард-100».

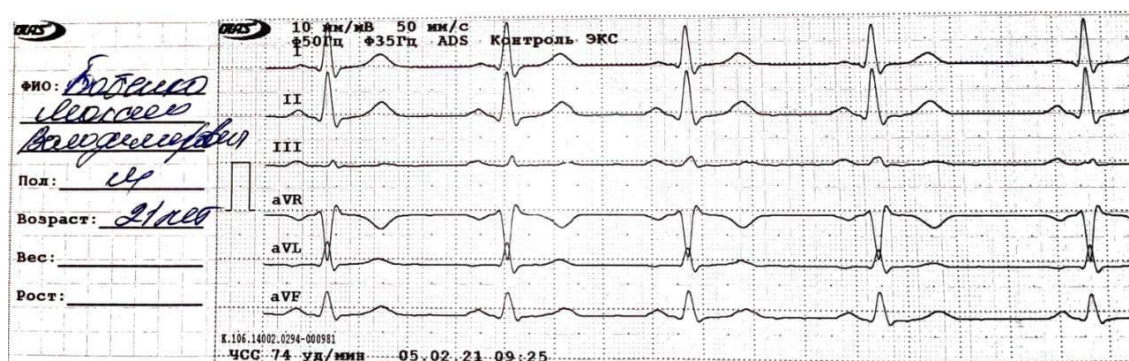


Рисунок 2.26 – ЕКГ отримана за допомогою «Юкард-100»

Після того, як була отримана кардіограма завдяки професійному обладнання можна переходити до тестування та порівняння результатів отриманих за допомогою пристрою побудованому на основі модуля AD8232.

Прикріпивши електроди згідно схеми двополюсного відведення була отримана електрокардіограма (рис. 2.27).



Рисунок 2.27 – електрокардіограма отримана пристроєм на основі модуля AD8232

Дані результати були отримані в середовищі Arduino IDE. Для того, щоб з цими результатами можна було працювати їх також можна відображати в середовищі LabVIEW (рис 2.27).

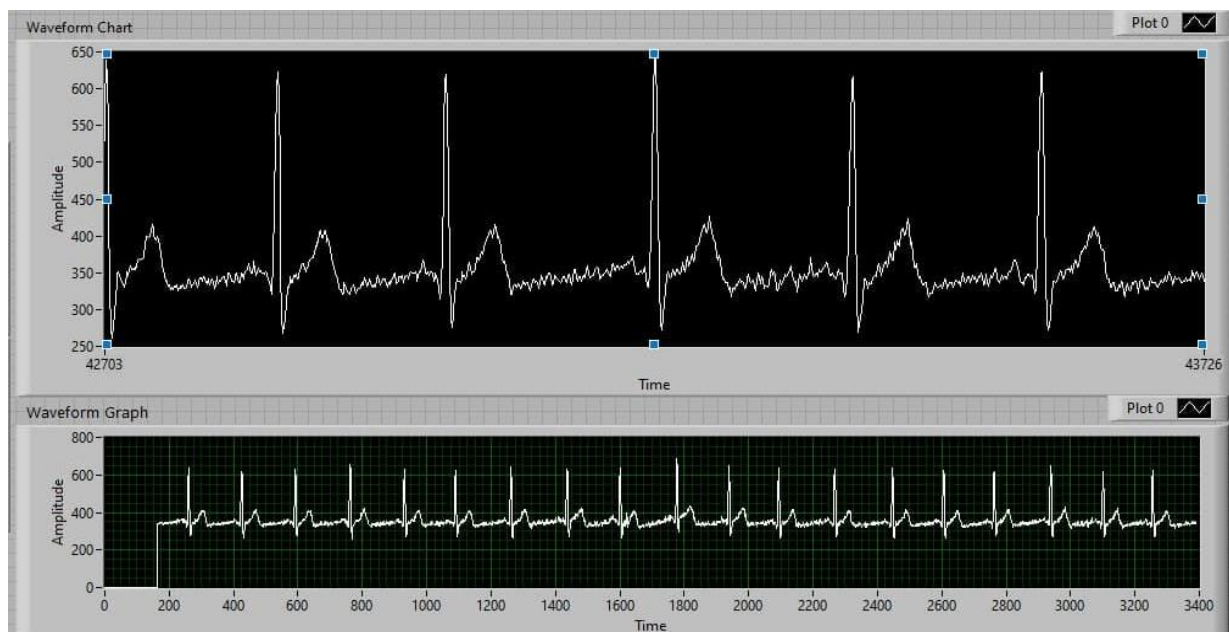


Рисунок 2.27 – електрокардіограма відображена в середовищі LabVIEW

Для зручного аналізу отриманих результатів реалізована функція запису інформації в окремий файл за допомогою методів програми LabVIEW, а саме блоку «Write to Measurement file» котрий дозволяє записувати графік у вигляді координат окремих точок в окремому текстовому файлі (рис. 2.28).

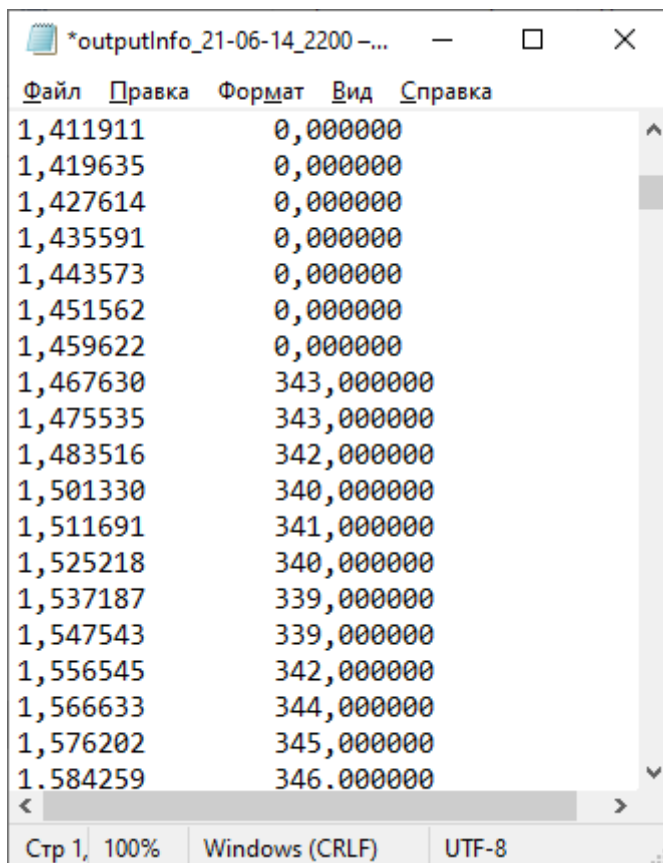


Рисунок 2.28 – збереження інформації в файл

Завдяки цьому можна зберігати електрокардіограму, а також проводити над нею інші дослідження за допомогою доступних програмних методів, наприклад у середовищі Matlab.

Слід зазначити, що в даному дослідженні приймала участь одна і та ж сама особа. Порівнявши між собою електрокардіограми отримані медичним апаратом «Юкард-100» та пристроєм на основі датчика серцевого ритму AD8232 можна побачити певну схожість в отриманих електрокардіограмах і це точно свідчить про працездатність приладу, а також про виконання ним своїх функцій.

## ВИСНОВОК

Метою даного дипломного проекту було створити автоматизований кардіомонітор на основі датчика серцевого ритму для моніторингу та відображення електрокардіограми досліджуваних осіб, а також порівняти отримані результати готового пристрою з повноцінним медичним електрокардіографом.

Розглянуто основні методи сучасної діагностики роботи серцево-судинної системи людини, а також виділено їх основні плюси та критерії застосування. Окремо виділено метод ЕКГ, та спосіб читання отриманих результатів, а саме електрокардіограми.

Були підібрані основні компоненти приладу, котрі за своїми характеристиками задовольняють основні вимоги, а саме доступність, легкість у використанні, мають велику інформаційну базу з їх правильної експлуатації, низька ринкова вартість, простота збірки.

У ході роботи було створено пристрій, на базі датчика серцевого ритму AD8232, а також керуючого контролера на базі платформи Arduino Nano. Даний пристрій дає можливість реєструвати електричні потенціали на поверхні шкіри людини під час роботи серця. Отриманий варіант приладу може бути допрацьований та модернізований для більшої варіативності його використання, а також зручності експлуатації.

Для фіксації плат було розроблено модель корпусу за допомогою САПР SolidWorks. Потім моделі кожної деталі окремо конвертувалися в файли DXF формату для їх різання за допомогою лазерного станка з ЧПУ.

Прошивка мікроконтролера виконувалася в середовищі Arduino IDE, в цьому ж середовищі пристрій перевірявся на працездатність. У ході перевірок було виявлено основний недолік даного приладу, а саме його вразливість до зовнішніх завад викликаних інтенсивними перешкодами, котрі генеруються в майже усіх сучасних блоках живлення, для коректного отримання вихідних результатів бажано уникати використання приладу в умовах інтенсивних завад.

					<i>ПГп8101.1730.00 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		<i>55</i>



Для відображення вихідних результатів використовуються методи програмного середовища LabVIEW, а також дана програма використовується для запису вихідної інформації в текстовий файл для можливої додаткової обробки.

Для підтвердження працездатності і ефективності були проведені випробування приладу і були отримані вихідні електрокардіограми, котрі були порівняні з кардіограмою отриманою на професійному медичному приладі «Юкард 100». За своєю формою отримані результати дуже схожі, тобто це говорить про те, що спроектований пристрій здатен виконувати свої передбачені функції.

Розроблений прилад достатньо інформативний і підходить для реєстрації електрокардіограм, але для використання його в медичних цілях потрібні доопрацювання і додаткова обробка вхідної інформації для відокремлення шумів від корисного сигналу.

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## Список використаних джерел

1. Панорама охорони здоров'я населення України / За ред. А.В. Підаєва, О.Ф. Возіанова, В.Ф. Москаленка, В.М. Пономаренка. – К.: Здоров'я, 2003. – 396 с.
2. Загальні поняття про серцевий ритм - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.clinicanomer1.ru/napravleniya/kardiologiya/narushenie-serdechnogo-ritma-lechenie.html>
3. Нарушения сердечного ритма - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.sydansairaala.fi/ru>
4. Тахікардія - Вікіпедія [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Тахікардія>
5. Брадикардія - Вікіпедія [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Брадикардія>
6. Електрокардіограма - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://medbucha.org/novini/tsikavo-znaty-pro-shho-rozpovist-kardiograma> -
7. Електрокардіограма - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://rodovid.center/ua/diagnostics/electrocardiogram>
8. Електрокардіограф «Юкард – 100» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://foramed.com.ua/funkcionalnaya-diagnostika/elektrokardiografy/elektrokardiograf-yukard-100-trehkanalnyy.html>
9. Ергометри - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://foramed.com.ua/uk/funkcionalna-diagnostika/specialni-ergometri.html>
10. Холтер ЕКГ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://holter.com.ua/patient>
11. Систематичний до аналізу ЕКГ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/5400>
12. УЗД - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.novo.lviv.ua/research/echocardiography/> -
13. МРТ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://www.novo.lviv.ua/research/tomography/mri\\_heart](https://www.novo.lviv.ua/research/tomography/mri_heart)
14. Датчик серцевого ритма AD8232 - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://iarduino.ru/shop/Sensory-Datchiki/monitor-serdechnogo-ritma-ekg-ad8232.html>

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

15. Бабенко М.В. Автоматизований кардіомонітор/ М.В. Бабенко, О.М. Павловський// Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 18-19 травня 2021р. - К.: ПБФ, КПП ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 16-18 с.

16. Електроміографія - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://medbib.in.ua/elektromiografiya.html>

17. ArduinoBoardUno [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>

18. Распиновка, подключение ArduinoNano - [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:arduino-nano>

19. SolidWorks подробное описание программы - [Електронний ресурс] Режим доступу: - <https://junior3d.ru/article/solidworks.html>

20. Файлы типа DXF/DWG - [Електронний ресурс] - Режим доступу: - <https://filesreview.com/ru/info/dxf>

21. Среда разработки Arduino - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://arduino.ru/Arduino\\_environment](http://arduino.ru/Arduino_environment)

22. Einthoven W., Fahr G., de Waart A. Über die Richtung und die manifeste Grösse der Potentialschwankungen im menschlichen Herzen und über den Einfluss der Herzlage auf die Form des Elektrokardiogramms (нім.). — Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere. — № 150. — С. 275—315.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Програма Автоматизованого кардіомонітору

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
    pinMode(10, INPUT); // Setup for leads off detection LO +  
    pinMode(11, INPUT); // Setup for leads off detection LO -  
}  
void loop() {  
    if((digitalRead(10) == 1)|| (digitalRead(11) == 1)){  
        Serial.println('!');  
    }  
    else{  
        Serial.println(analogRead(A0));  
    }  
    delay(1);  
}
```

					ПГп8101.1730.00 ПЗ	Арк
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		