



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ЕНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЕН
ФАКУЛТЕТ



Катедра “Текстилна техника”

маг. инж. Елена Симеонова Николова

ДИЗАЙН НА ОБЛЕКЛО ОТ ВИСОКОТЕХНОЛОГИЧЕН ТЕКСТИЛ

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация за присъждане на образователна и научна степен
„ДОКТОР”

Област: 5. Технически науки
професионално направление: 5.1 Машинно инженерство
научна специалност: Технология на шевното производство

Научни ръководители:

проф. д-р Христо Михайлов Петров

проф. д-р Диана Стоянова Германова-Кръстева

София,
2021 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Текстилна техника“ към Енерго-машиностроителен Факултет на ТУ-София на редовно заседание проведено на 15.06.2021г – протокол № 6/15.06.2021 г..

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 30.09.2021 г. от 13 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет - София на открито заседание на Научно жури, определено със заповед № ОЖ-5.1- 38/16.06.2021 на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р инж. Марин Беров Маринов – **председател**
2. проф. д-р инж. Рачо Маринов Иванов – **научен секретар**
3. проф. д-р инж. Христо Михайлов Петров
4. проф. д-р инж. Снежина Ангелова Андонова
5. доц. д-р инж. Румен Анчев Русев

Рецензенти:

проф. д-р инж. **Марин Беров Маринов**

проф. д-р инж. **Снежина Ангелова Андонова**

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Енергомашиностроителен Факулт на ТУ-София – стая **2344**, блок 2, г-жа **Л. Балтова**

Дисертантът е задочен докторант към катедра „текстилна техника“ на Енерго-машиностроителен Факултет. Изследванията по дисертационният труд са извършени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Елена Симеонова Николова ®

Заглавие: „Дизайн на облекло от високотехнологичен текстил”

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет-София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД ¹

Актуалност на проблема

В последните години добрите практики в медицината залагат на превенцията, диагностиката и дистанционното проследяване на високорискови пациенти с помощта на телеметрични системи за непрекъснат онлайн мониторинг. Ключов фактор при въвеждане на подобно проследяване е осигуряването на максимално удобство и комфорт на пациента, като режимът на мониториране се доближава максимално до ежедневието им. Текстил базирани сензори, проводимите текстилни материали и интелигентните текстилни системи са безспорно най-добрите решения на този казус.

Основна цел на настоящия дисертационен труд е изследването и създаването на алгоритмична последователност за проектиране на интелигентна система за непрекъснат мониторинг на пациенти в педиатрични отделения.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на настоящия дисертационен труд е:

Да се дефинират общовалидни и специфични изисквания (физико-механични, химични, композиционни, конструктивни, структурни, колористични и др.), на чиято база да се създаде методика за дизайн, техническо проектиране и оценка на качеството на облекла от интелигентен текстил, включително е-облекла.

За постигането на целта се поставят следните **задачи**:

1. Анализ на съществуващите високотехнологични текстилни материали и оценка на възможностите им за приложение в изделия с медицинско предназначение. Систематизиране на техническите изисквания и необходимите компоненти за изграждане на системи, базирани на интелигентни текстилни материали, оценка на аспектите при дизайнерското проектиране на изделията, представяне и анализ на резултатите от успешно имплементирани системи за мониторинг на жизнени показатели в облекла.

2. Предварителни проучвания (теоретични предпоставки) и експериментални изследвания за установяване на качествени характеристики (електрически, механични и други) на текстилни електроди, предназначени за мониторинг на жизнени показатели. Оценка на изменението на показателите след третиране с електролити и при многократно пране. Оценка на надеждността на текстилните електроди.

3. Поставяне на качествени изисквания към готовите облекла за мониторинг на жизнени показатели (за функционалност, естетичност, трайност и други) и дефиниране на изискванията към:

- текстилните материали (състав, структура, физико-механични показатели и други);
- композиционните елементи и конструктивните параметри на облеклата;
- електронните елементи (сензори, проводници, гъвкави електронни платки за управление, захранващи елементи и други), прилагайки принципи от метода на Разгръщане на функциите на качеството **QFD** (Quality Function Deployment).

¹ Информацията по тази част е с препоръчителен обем 2-3 страници

4. Разработване на алгоритмична последователност за проектиране и изследване на облекла от високотехнологичен текстил.

5. Проектиране и изработване на изделие с медицинско предназначение за мониторинг на високорискови пациенти по предложената алгоритмична последователност.

Научна новост

Разработеният модел на Интелигентна текстилна система за онлайн медицински мониторинг представлява иновативна разработка както по отношение на текстилните параметри на готовото изделие – нов способ на закопчаване, респективно обличане и събличане, така и по отношение на методите за мониториране на ключови за медицинската практика и диагностика биомедицински сигнали.

Практическа приложимост

Интeligентната текстилна система предназначена за онлайн мониторинг на рискови пациенти в педиатричните отделения е с възможности за внедряване в болнични заведения, в заведения предназначени за грижи за деца в рисково здравословно или социално-зависимо състояние, както и за проследяване при налагащо се продължително домашно лечение, палиативни грижи, спешна помощ, транспортиране. Освен осигуряване на биомедицински сигнали с необходимото качество за медицинските специалисти, ИТС ще даде на пациентите в педиатричните звена необходимата им свобода на движение и комфорт в ежедневноста им активност, както и запазване на високи нива на хигиена при ползването си.

Апробация

Изследванията в дисертацията, както и приложението на резултатите от тях, са свързани със следните научноизследователски проекти:

- Научноизследователски проект в помощ на докторанти 202ПД0012-02, тема: „Дизайн и изследване на изделия от високотехнологичен текстил”, ръководител: проф. Диана Кръстева;
- Договор № 612248-EPP-1-2019-1-BG-EPPKA2-KA, тема: „Knowledge Alliance “ICT in Textile and Clothing Higher Education and Business””, с международно финансиране, ръководител: проф. Диана Кръстева.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 броя научни статии, от които 1 самостоятелна 3 в съавторство.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 161 страници, като включва списък със съкращения, увод, пет глави, заключение, приноси, публикации по дисертацията, списък с използвана литература. Цитирани са общо 106 заглавия, от които 12 на български език, останалите на латински. Работата включва общо 89 фигури, 26 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ПРОУЧВАНЕ И АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА

Дефинирани са основни понятия като:

„Умен“ текстил (Smart textile) - обозначава материал, способен да регистрира промяна в околната среда или въздействие от различни източници (механични, термични, химични, електрически, магнитни и т.н.), тоест тук спадат материали, които имат вграден **сензор (Bartels, 2005)**.

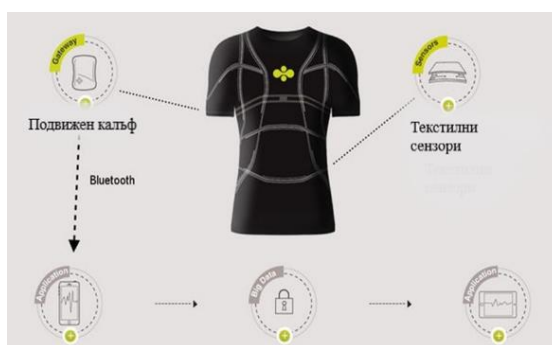
Интелигентният текстил е следващата стъпка от еволюционното развитие на текстилните материали. Той не само регистрира, но и реагира на промяната или въздействието на външни стимули. За да се класифицира един текстилен материал като интелигентен, в неговата структура трябва да присъстват **минимум сензор и актуатор** (задвижващ/изпълнителен механизъм) (Engin, et al., 2005).

С понятието **интелигентни системи** се описват тези, при които са налични следните три елемента: **сензор, процесор и актуатор**.

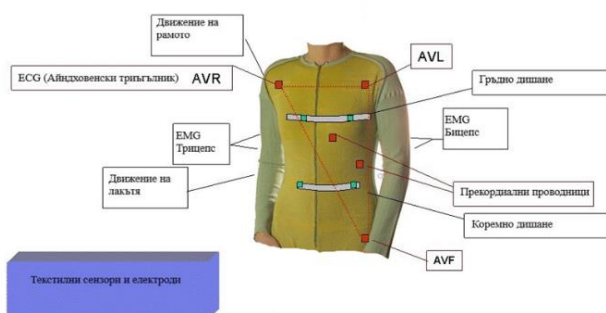
Класифицирани са основните интелигентни текстилни материали **според стимулиращото въздействие**:

- материали с промяна на фазата (**Phase Change Materials - PCM**);
- материали с памет на формата (**Shape Memory Materials - SMM**);
- материали с промяна на цвета (**Chromic Materials - CM**);
- електропроводими материали (**Electroconductive Materials**);
- оптични материали (**Optical Materials**);
- пиезоматериали (**Piezo Materials**).

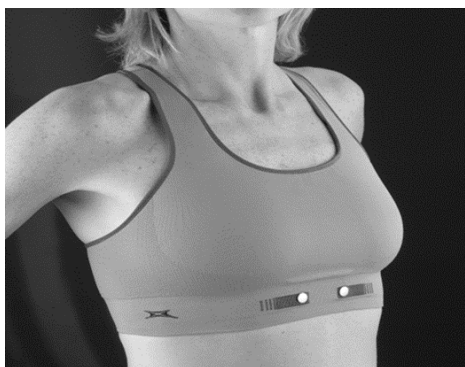
Дадени са множество примери за реално приложение на интелигентни текстилни системи:



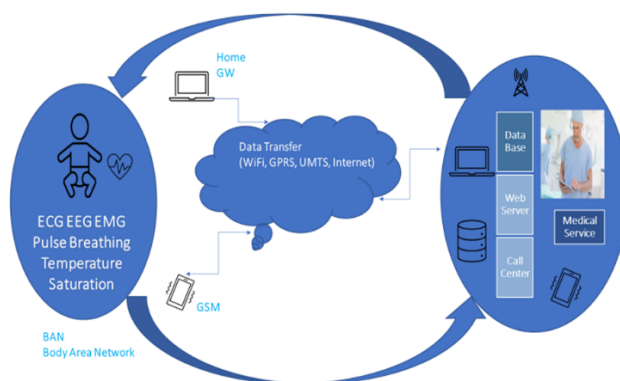
Фигура 1. Система WEALTHY за продължителен мониторинг с вградени текстилни сензори



Фигура 12. Мултифункционален костюм за мониторинг на биомедицински параметри, базиран на текстилен носител с вградени текстилни сензори



Фигура 2. Безшевнен спортен сутиен, използван за мониторинг на сърдечната дейност



Фигура 14. Блокова схема на WBAN (Wireless Body Area Network)

Изследвани са основните подвидове, дадени са примери за тяхното приложение в практиката към момента, както и тенденциите за бъдещото им развитие.

Разгледана е класификацията на интелигентните текстилни материали в зависимост от степента на интеграцията между комбинацията от електроника и текстил, като условно е разделена на три базови категории:

- вградена електроника;
- текстроника ;
- фиберелектроника.

Основните проблеми, чието решение се поставя при проектиране на една телеметрична система са: **скоростта на обмен на данните, двупосочната комуникация** между пациентския и лекарския модул, **минимизиране на загубите, електробезопасността**, възможно най-пълното **намаляване на размерите, консумацията и цената** на системата. Налага се извода, че приложението на текстилно базирани сензори, проводимите текстилни материали и интелигентните текстилни системи, променящи функциите си според въздействието на външни стимули, би довело до значително подобряване на работата на системите за телеметрично проследяване, на които се посвещава настоящият дисертационен труд.

ГЛАВА 2. ДЕФИНИРАНЕ НА ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ЕЛЕМЕНТИТЕ, ИЗГРАЖДАЩИ ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ ТЕКСТИЛНИ СИСТЕМИ ЗА МЕДИЦИНСКИ МОНИТОРИНГ

Дефинирани са режима на работа на интелигентната текстилна система за мониторинг и начина на взаимодействие с пациента.

Дефиниране на изисквания към текстилните материали, тяхната структура и качествени показатели на изделията

Изборът на текстилни материали се предлага да бъде извършен по следните характеристики:

- **Състав** – с оглед на осигуряване на максимален комфорт, хигиенни свойства и хипоалергенност се препоръчва използването на естествени и изкуствени целулозни материали – памучни, вискозни, лиоцелни и други влакна на база регенерирана целулоза. За осигуряване на плътен контакт на облеклото и електродите с човешкото тяло се препоръчва използването на еластомерна

нишка, чието участие не трябва да бъде по-малко от 15%. С повишаването на съдържанието на еластомерна нишка ще нараства и силата на натиск на изделията върху човешкото тяло. Този натиск обаче не трябва да превишава допустимата граница от 11.0 до 18.4 mmHg, поради което се поставя и горното ограничение от 50% съдържание на еластомерна нишка. Този състав на плата ще осигури оптимална плътност на прилепване на изработеното от него облекло.

- **Структура** – за гарантиране на висока разтегливост и еластичност на изделията се препоръчва използването на плетени структури. Като подходящи могат да се посочат гладка еднолицева плетка (single jersey) или ластик 1:1 и 2:2, чиито структури осигуряват добра разтегливост и еластичност на изделията от тях. Влагането на еластомерна нишка, естествено, увеличава многократно тези показатели. Регионалното налягане на дрехите се променя при взаимодействие с формата на тялото, плата и дизайна на облеклото. Освен това стойката на тялото може да промени налягането на дрехите. По отношение на оптималния диапазон на натиска, упражнен от облеклото върху пациентите, (Zhang, 2002) извършва числена симулация и предлага диапазон от 0 до 6 gf/cm² (0 до 4.4 mmHg) като зона на ниско налягане и диапазон между 15 и 25 gf/cm² (11.0 и 18.4 mmHg) като зона на високо налягане. (Kim & Lee, 2019) предлагат субективно предпочитан диапазон от 0,67 до 1,82 kPa (5,0 до 13,7 mmHg) поради успешни опити за носене на търговски компресионни спортни облекла. При проектирането на интелигентни облекла се предпочита по-плътно прилепнало облекло, тъй като по-голямото налягане, наложено върху електродите, деформира кожната повърхност и повърхността на електродите, така че контактната площ се увеличава. (An, et al., 2019) изследват ефекта на натиск върху записите на EMG сигнали с помощта на текстилни електроди. Те съобщават за оптимално налягане на дрехите от 30 mmHg, тъй като изследваните субекти започват да чувстват неудобство при стойности на налягането от 30 mmHg. В настоящото проучване налягането на облеклата се прилага върху електродите в диапазон от 6,1 до 12,6 mmHg, което е подобно на диапазона на налягане на облеклата, измерен за търговски компресионни спортни облекла. Бримковият строеж на трикотажните платове определя деформируемостта им при опън, която е относително голяма. Те имат силно изразена склонност да се разтеглят при малки опънови натоварвания, когато силата на опън е насочена по посока на бримковите редове. При някои нестабилни по структура трикотажни платове относителното удължение до скъсване по бримков ред може да достигне до 300%. Това свойство в конкретния разглеждан от нас случай е предимство и **ще се използва за проектиране на облекла без прибавки за свобода, без свивки за придаване на необходимия обем в съответните конструктивни участъци или с относително по-малки напречни размери от тези при класическите тъкани.** (Петров & Павлова, н.д.)
- Поради факта, че намаляването на напречните размери предизвиква външен натиск върху телесната повърхност, който се отразява на настроението, работоспособността и здравето на облечения, конструктор-моделиерът трябва да има пълна информация както за допустимия външен натиск, така

и за относителната деформируемост на материала. Препоръчва се като условно нормален натиск върху повърхността на тялото **до 399,9 Pa (3 mm Hg ст.)** за бельо от фин трикотажен плат и **до 1570 Pa (12 mm Hg ст.)** за еластични корсети и колани.

- Голямото структурно разнообразие на трикотажните платове и свързаната с това различна степен на деформиране в областта на ниските натоварвания затруднява проектантите на облекло при избора на най-подходящите по вид и стойност прибавки към напречните размери. Ето защо на основа на ограничителните условия за допустим натиск върху тялото трябва да се определят относителните деформации (%) и коефициентите на условна деформация по бримков ред и бримков стълб – за трикотажни платове с различен състав, линейна плътност на нишките и площна маса.
- **Разтегливост** - това е способността на трикотажните платове да се деформират или да променят размерите си под въздействието на различни натоварвания и след отстраняването им да се възстановят частично или напълно. Разтягане на плетения плат може да се получи в три направления – по дължина, по широчина и по диагонал.
- В зависимост от степента на разтягане по широчина под действието на еднакви динамични натоварвания (например 600 g), плетените платове се разделят на три групи:

Дефиниране на изисквания към текстилните електроди

При разработването на текстилни системи за мониторинг трябва да се вземат под внимание редица фактори:

Размерите на електродите – колкото по-малък е размерът на даден сензор, толкова по-ниско е качеството на регистрирания сигнал. Усеща се силно влиянието на различни паразитни артефакти и степента на полезност на сигнала е силно компрометирана. От друга страна трябва да се обърне внимание на факта, че при прекалено големите като размер сензори бива усилено влиянието на фактори като движение и деформация по време на носенето на текстилната система. Тоест подборът на оптимален размер на текстилните сензори е определящ нивото на качеството на получавания сигнал.

Друга важна характеристика е **наличието на разстояние между електродите и повърхността на тялото**. Колкото по-плътен и постоянен контакт бъде осигурен в контактната зона „електрод-повърхност на тялото“, толкова качеството на сигнала е по-високо и шансът за провеждане на пълноценен диагностичен процес е по-добър.

При използване на проводими текстилни материали сериозно внимание трябва да се обърне и да бъде отчетена максимално коректно степента на корозия, получаваща се вследствие влиянието на експлоатационната поддръжка (пране) и електролитите (потта, отделяна от потните жлези, която влиза в контакт с повърхността на текстилната система и сензора) върху качествата на снеманите сигнали.

Важно е да бъдат отчитани физичните ефекти, оказващи влияние върху проводимостта и качествата на регистрираните сигнали, при експлоатацията на интелигентната текстилна система. Специфичните характеристики на проводимите влакна често съществено се различават от тези на конвенционалния текстил; поради това те реагират различно на опън, натиск, огъване, различна степен и вид деформации (удължаване, свиване) и други. В резултат на приложените върху текстилната система механични въздействия и последвалата ги деформация се наблюдава бавна, но отчетлива

миграция на влакната в текстилната структура, което води до отделяне на двата ѝ компонента (металната сърцевина на влакната и текстилният компонент). Това рязко снижава качеството на получените сигнали (например при система за измерване интензитета на дишането) след продължителна употреба. Отчитането на този ефект е важно; освен върху естетическите качества на текстилната система той оказва съществено влияние на отчитания резултат и е възможно да доведе до изкривяването му и до компрометиране на изследваните параметри и базираните върху тях анализи, прогнози и диагностика.

При работата със стоманени влакна трябва да се отчита фактът, че те са крехки и многократното механично въздействие върху тях води до различна степен на деформиране (удължаване, свиване, пречупване, скъсване). Това неизменно води до нарушаване на целостта на влакната в структурата им и до нарушаване на функционалността на системата за мониторинг. Съпротивлението при такива влакна ще се увеличава сериозно, тъй като при всяко „счупване“ се увеличава и броят на контактните точки, които подпомагат „превключването“ от едно влакно към друго на преминаващите през системата електрически сигнали. По време на пране на текстилните изделия деформацията им е много интензивна, което с напредване на времето и увеличаване на броя на циклите на пране води до изменение на индуктивно-съпротивителната характеристика на проводимите влакна.

Всички фактори, оказващи влияние върху проводимостта на текстилните материали в една интелигентна текстилна структура, влияят върху функционалността ѝ и съответно върху крайния резултат при отчитане на снеманите бионапрежения, обект на постоянен мониторинг в медицинското приложение на интелигентните текстилни системи.

При оценка на дългосрочното поведение на сензорите под влияние на текстилната деформация трябва да се вземат предвид важни фактори като:

- устойчивостта на многократна деформация, както и проследяване на изменението на техническите параметри на сигнала след циклично натоварване;
- устойчивостта на химично въздействие - пот (физиологичен разтвор) и перилни препарати;
- други експлоатационни особености на базираната на текстилен носител сензорна система.

С цел провеждане на възможно най-детайлната проверка се прави циклично натоварване на сензорите, като същевременно се правят измервания на устойчивостта на текстилната структура и динамиката на промяна на отчитаните показатели в зависимост от него.

ГЛАВА 3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИГОДНОСТТА НА ТЕКСТИЛНИТЕ ЕЛЕКТРОДИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В Е-ОБЛЕКЛА

Най-важният критерий при изпълнение на текстилна система за непрекъснат мониторинг е изборът на подходящи сензори за регистриране на биомедицински сигнали. В случая с най-добри показатели се отличават меки текстилни електроди. Те са леки и не налагат ограничения в ежедневната физическа активност на пациента, удобни са за вграждане в текстилната система. Имат висока издръжливост на многократни деформации под влияние на различни механични въздействия. Не се нуждаят от допълнителни консумативи (гел) при работата си, не дразнят кожната повърхност в

областта на приложението си и не предизвикват алергични реакции. Лесни са за производство и последващо обработване и са достъпни ценово.

За целта на експерименталните изследвания са подбрани и подложени на изследване два модела текстилни електроди за регистриране на бионапрежения, илюстрирани чрез снимка на Фигура 3.



Фигура 3. Текстилни електроди с кант и без кант



Фигура 4. Текстилни електроди без кант

1. Модел 1 без кант – електродът, илюстриран на снимката от Фигура 4, представлява кръгъл диск с маса $m \approx 0.7 \text{ g}$, дебелина $\delta \approx 4 \text{ mm}$ и диаметър $d \approx 45 \text{ mm}$. Изработен е от пенополиуретан, като повърхността, която контактува с тялото, е покрита с проводим плетен плат от сребърни нишки (Фигура 5). От другата страна дискът е покрит с плетен плат от ПА, показан на Фигура 6.



Фигура 5. Структура на контактната повърхност (електроди без кант)



Фигура 6. Структура на неkontaktната повърхност (електроди без кант)

2. Модел 2 с кант – електродът, илюстриран на снимката от Фигура 7, е изработен от пенополиуретан, но с много по-малка дебелина. По периферията е обкантен с цел подобряване на стабилността му при монтаж и експлоатация. Диаметърът е същият като на модела без кант, но има по-плътна структура - масата му е около 2,6 g при дебелина от около 3 mm. Моделът е изпълнен като „сандвичова структура“. От контактната страна е покрит с проводим плетен плат от сребърни нишки (Фигура 8), а от другата е гумиран. В центъра на диска е пробит отвор за окабеляване, като връзката се осъществява посредством система за закрепване тип „капси“.



Фигура 7. Текстилни електроди с кант



Фигура 8. Структура на контактната повърхност (електроди с кант)

Всички плетени структури са в гладка еднолицева плетка (single jersey). В Таблица 1 са обобщени данните за характеристиките на плетените структури.

Таблица 1 Характеристики на плетените структури

електрод Характеристика		Без кант		С кант
		Контактна повърхност	Неконтактна повърхност	
Гъстина, бр. /5 см	по бримков ред	250	150	130
	по бримков стълб	170	90	100
Площна маса, g/m ²		165	94	N/A

План на експерименталните изследвания

1. Определяне на характеристиките, оценяващи качеството на биосигналите, получавани с помощта на текстилните електроди – импеданс и дефазиране във функция от честотата.

2. Изследване на влиянието на броя на циклите на пране върху качествените характеристики на биосигналите.

3. Изследване на влиянието на обработката с електролит върху качествените характеристики на биосигналите.

4. Изследване на деформационното поведение на текстилните електроди при упражнено върху единица площ налягане, породено от натиск, и влиянието на броя цикли на пране върху степента на компресия.

Определяне на характеристиките, оценяващи качеството на биосигналите, получавани с помощта на текстилните електроди – импеданс и дефазиране във функция от честотата

При телеметричното мониториране на стойностите на ЕКГ сигналите акцентът се поставя върху отделните елементи, които съставляват ритъмния анализ на ЕКС.

Импедансът е физична величина, въведена в анализа на линейни електрически вериги при синусоидален ток. Той е обобщение на електрическото съпротивление, включващо всички загуби от активни, индуктивни и капацитивни съставки във веригите. За разлика от активното електрическо съпротивление импедансът се представя като

комплексно число, което отразява индуктивността или капацитета на отчетения сигнал. Използва се за представяне на нелинейно изменящи се величини.

Степента му на значимост му в медицинската диагностика е висока, тя се заключава в това, че стойностите на импеданса са от критично значение за качеството на получените биомедицински сигнали. При високи стойности на импеданса той ще внесе изкривяване в сигнала, а ако активното съпротивление е прекалено високо, ще доведе до нарастване на шумовете, съпътстващи полезния сигнал, спад на нивото му и други компрометиращи качеството на получените данни процеси.

Високият импеданс в контактната зона кожа-електрод е недостатък, водещ до сериозно снижаване качеството на постъпващите данни, което налага да бъде контролиран в определени граници.

Диагностично значимата част от честотния спектър при ритъмен анализ на ЕКС е тази на QRS комплексите (8-15 Hz), като това е работната честота на данните след филтриране и премахване на внесените допълнителни смущения върху сигнала. За да бъдат осигурени данни с високо качество, честотният диапазон, в който е изследвана зависимостта на импеданса спрямо честотата, варира в границите (0,05 Hz и 10KHz).

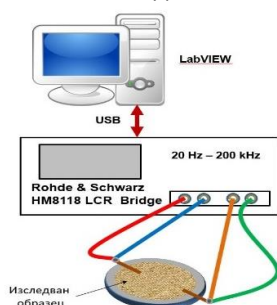
При измерванията на текстилните сензори, извършени в настоящото изследване, се работи в честотния диапазон до 20 KHz. Широките граници, в които е гарантиран коректен ритъмен анализ, е достатъчно да бъдат в обхвата от (1 до 25 Hz).

Дефазирането при регистриране на биомедицински сигнали е величина, гарантираща стабилността на системата за измерване, базирана на текстилните сензори. Стойностите на параметъра са важни, прогнозно, че системата няма да изпадне в резонанс.

Измерванията по опитните постановки са извършени в специализирана лаборатория в ТУ-София.

Целта на проведените експериментални измервания е да бъде установена зависимостта на импеданса и дефазирането във функция от работния честотен обхват при регистриране на полезните биомедицински сигнали, които от своя страна са основа за последващите диагностични анализи.

За изследване на импеданса на образците текстилни електроди с контактна повърхност от проводящ текстил в честотна област до 20 kHz е използвана опитната постановка от Фигура 22.



Фигура 9. Схема на опитната постановка

Уред: измервател на импеданс HM 8118 на фирмата **Rohde & Schwarz**

- честотен диапазон – до 200 kHz

- ефективна стойност на стимулиращия сигнал е от 50 mV до 1,5V

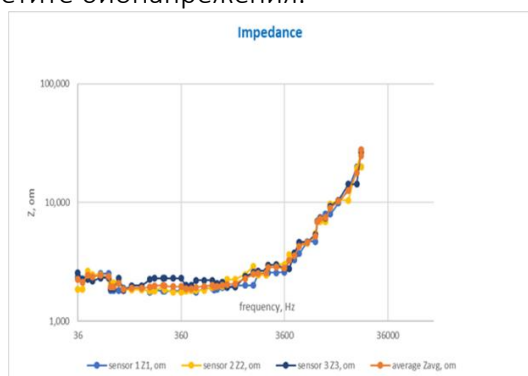
- базовата точност на уреда е различна за различните обхвати и честоти. За измерването на образца тя е $\pm(0,1\% + 1 \text{ m}\Omega)$.

Метод: авто-балансиращия мост за измерване на импеданса Z и ъгъла към него θ . Всички останали величини (L-Q, L-R, C-D, C-R, R-Q, Y- θ , R-X, G-B) се определят по математически път от микропроцесора.

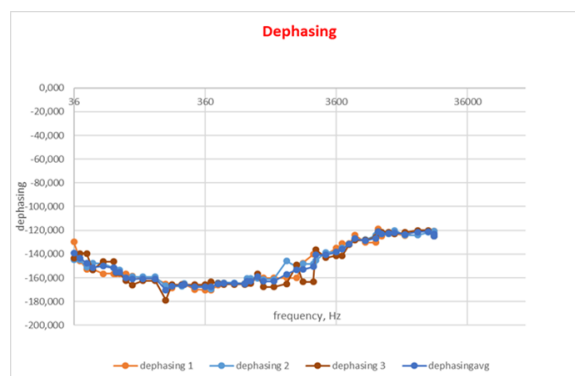
Диапазон на измерване: в границите до 20 kHz

Обработка на резултатите посредством сериен интерфейс USB. Управлява се от специално разработен програмен код в LabVIEW среда.

В рамките на предполагаемия работен обхват **до 10-15 kHz данните показват добра стабилност и са в рамките на допустимото отклонение**, осигуряващо нужното качество на снетите бионапрежения.

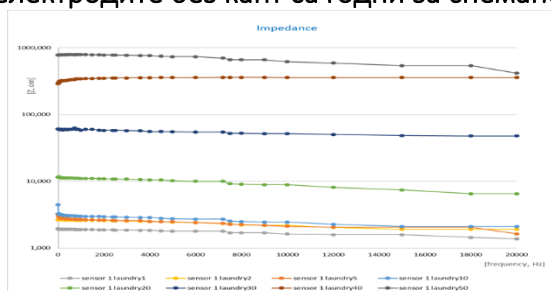


Фигура 25. Зависимост на импеданса от честотата за електроди без кант

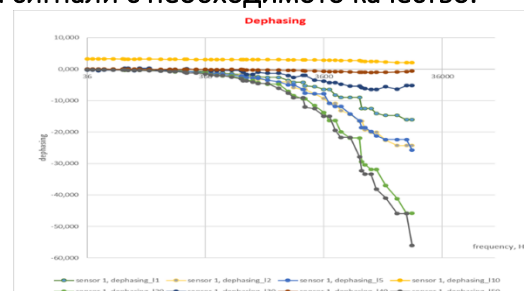


Фигура 26. Зависимост на дефазирането от честотата за електроди без кант

В заключение на проведените експерименти (50 цикъл пране) констатирам че, **електродите без кант са годни за снемане на сигнали с необходимото качество.**



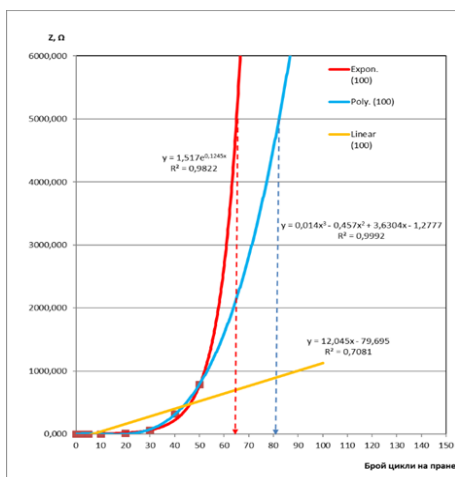
Фигура 10. Зависимост между импеданс и честота при електроди без кант след 50 броя цикли на пране



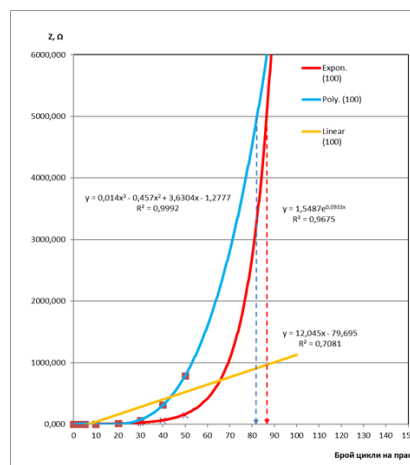
Фигура 11. Зависимост между дефазиране и честота при електроди без кант след 50 броя цикли на пране

Аналогични са зависимостите и при електродите изпълнени с окантяване.

В заключение са изведени графики на тенденциите и прогнозния брой пранета за запазване качеството на електрокардиографския сигнал са представени на Фигура 13. Коефициентът на детерминация е най-висок за полиномната зависимост от трета степен ($R^2=0.9992$) и малко по-нисък при експоненциалната - $R^2=0.9675$. За електродите с кант прогнозите за допустимия брой пранета по двете зависимости са по-близки и по-високи спрямо тези за електродите без кант. Те показват запазване на качеството на сигнала до 85 пранета, съотнесено към 75-80 пранета на електродите без кант.



Фигура 12. Екстраполация на данните за честота 100 Hz за текстилен електрод без кант



Фигура 13. Екстраполация на данните за честота 100 Hz за текстилен електрод с кант

При направените експериментални измервания относно влиянието на циклите на пране върху качествата на текстилните електроди се констатира, че:

- с увеличаване на броя цикли на пране импедансът на електродите се увеличава, което се дължи на протичащи реакции със субстанции на перилните препарати, както и на корозионните процеси, водещи до влошаване на контактното съпротивление;
- механичното увреждане на платовете, изразено в нарушаване на целостта на влакната, изграждащи проводимата част на електродите, е друг важен елемент, който трябва се има предвид поради сериозното влияние, което оказва. Тези увреждания се дължат на възникнали микроразкъсвания на влакната, от които е изработен проводящият плат, покриващ контактната повърхност на електрода и влизащ в пряк контакт с тялото на пациента. Тези микроразкъсвания водят до наличие на множеството нови контактни точки, съответно до увеличаване на съпротивлението на електродите;
- импедансът остава сравнително постоянен (след определен брой цикли на пране), в честотния диапазон до около 5kHz. При по-високи честоти след пране се наблюдава доминация на капацитивна компонента, изразяваща се в намаляване на импеданса;
- настъпилите промени в параметрите на текстилните електроди (и за двата образца), не биха се отразили съществено върху качествата на сигналите, снемани при регистриране на бионапрежения от повърхността на тялото, но би било удачно да се предвидят възможности за автокалибрация, за да се елиминира напълно влиянието на прането върху качествата на снетите сигнали;
- текстилните електроди имат достатъчно дълъг жизнен цикъл, при гарантирано постъпване на качествени данни, на направени с тяхна помощ изследвания;
- текстилните електроди са годни за вграждане в текстилна система за дълговременен мониторинг, като системата би могла да замени успешно досегашните конвенционални методи за измерване, осигурявайки едновременно и комфорта на пациентите, и надеждността на диагностичните показатели и медицински анализи;
- текстилните електроди с кант имат преимущество пред тези без кант поради по-добрите си експлоатационни показатели след третиране. При тях отчетените показатели за стойностите на импеданса запазват стабилността си по-дълго време (след повече цикли на пране). Корозията на проводящия слой е в по-ниска степен. Деформациите на проводящия слой са минимални (не се наблюдава отделянето на проводящия слой от

основата, което е наблюдавано при образците без кант). В сравнение с тези без окантяване микроразкъсванията в проводимия слой на електродите с кант са значително по-малко и като количество, и като промяна в качеството на проводимата повърхност на електрода. Контактната повърхност на електрода с кант запазва функционалността си, докато при електродите без кант след XX цикъл на пране деформациите в проводимия слой водят до рязко снижаване на качествата на придобиваните и предавани сигнали.

Изследване на деформационното поведение на текстилните електроди при натиск и влиянието на броя цикли на пране върху степента на компресия

Степента на компресия характеризира деформационното поведение на тъканите при натискови натоварвания.

- **Метод:** заложен в БДС EN ISO 5084:2002. Дебелината на тъканите се определя при налягане 0.1 kPa и 1 kPa при площ на притискане 20 cm².
- **Уред:** дигитален дебеломер на фирма Hans Schmidt & Co GmbH, Германия, като освен при заложените в БДС EN ISO 5084:2002 налягания от 0.1 kPa и 1 kPa, са измервани дебелините при поставяни допълнителни еталонни тежести.

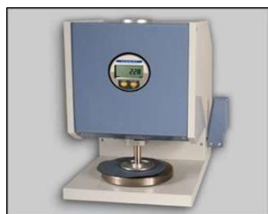
Таблица 2. Сравнителен анализ на измерена дебелина чрез увеличаване на налягането на нетретиран и подложени на пране електроди

Налягане, kPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Средна дебелина, mm
Електроди без кант											
0,1	4,37	4,34	4,37	4,35	4,31	4,31	4,27	4,23	4,20	4,23	4,30
1	4,31	4,26	4,29	4,28	4,22	4,25	4,21	4,18	4,14	4,17	4,23
1,5	4,30	4,24	4,28	4,27	4,21	4,24	4,20	4,17	4,12	4,16	4,22
2	4,29	4,23	4,27	4,26	4,20	4,23	4,18	4,16	4,11	4,15	4,21
2,5	4,27	4,22	4,26	4,22	4,19	4,21	4,17	4,14	4,10	4,14	4,19
5	4,25	4,20	4,24	4,17	4,16	4,19	4,15	4,12	4,07	4,10	4,17
10	4,19	4,15	4,20	4,15	4,09	4,11	4,09	4,04	3,98	4,04	4,10
15	2,57	2,47	2,70	2,44	2,28	2,43	2,65	2,32	2,22	2,32	2,44
16	2,44	2,30	2,52	2,28	2,15	2,25	2,48	2,16	2,07	2,15	2,28
17	2,25	2,09	2,40	2,10	2,02	2,15	2,27	2,04	1,98	2,06	2,14
Електроди с кант											
1	3,78	4,64	4,63	4,05	4,27	4,06	3,58	3,59	4,50	4,38	3,52
1,5	3,59	3,75	3,80	3,65	3,40	3,62	3,37	3,51	3,94	3,48	3,28
2	3,44	3,46	3,54	3,42	3,23	3,44	3,25	3,38	3,60	3,25	3,17
2,5	3,34	3,34	3,43	3,32	3,15	3,35	3,19	3,26	3,50	3,10	3,10
5	3,22	3,21	3,30	3,20	3,06	3,22	3,10	3,11	3,35	2,99	3,00
10	3,03	3,05	3,09	3,05	3,02	3,02	2,99	2,94	3,14	2,87	2,84
15	2,93	2,95	2,97	2,97	2,94	2,94	2,93	2,86	3,01	2,82	2,77
16	2,91	2,92	2,93	2,94	2,92	2,92	2,91	2,84	2,96	2,80	2,74
17	2,87	2,90	2,92	2,91	2,90	2,90	2,90	2,82	2,94	2,78	2,70

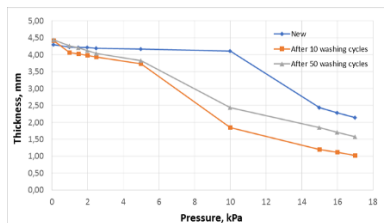
Проведеният сравнителен анализ на изследваните образци текстилни електроди с кант и без кант при подлагането им на деформация чрез натиск водят до **заключението**, че:

- електродите, изпълнени върху текстилна основа, запазват в достатъчна степен своята възможност да релаксират след компресия;
- текстилните електроди и от двата типа са годни за вграждане в интелигентна текстилна система за дългосрочен мониторинг. Качеството на придобитите биомедицински сигнали остава на необходимото ниво за използването им за диагностична и аналитична дейност;

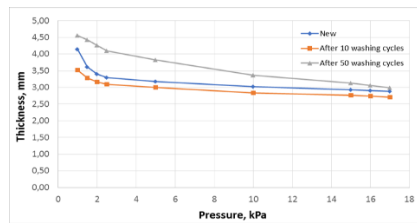
- образците на текстилните електроди, подложени на предварително третиране с перилни препарати и електролит, не регистрират значителни отклонения в характеристиките си и те остават в допустимите граници, гарантиращи коректност на изследванията, проведени с тяхна помощ;



Фигура 14.
Дигитален
дебеломер



Фигура 50. Деформационна
крива за текстилни
електроди без кант – нови и
прани



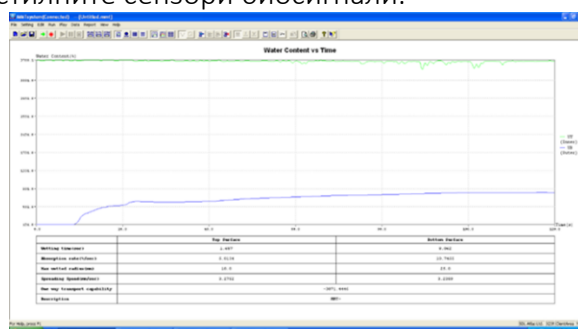
Фигура 15. Деформационна
крива за текстилни
електроди с кант – нови и
прани

Изследване на способността на текстилните електроди за омокряне и влагопренос и влиянието на броя цикли на пране върху изследваните характеристики

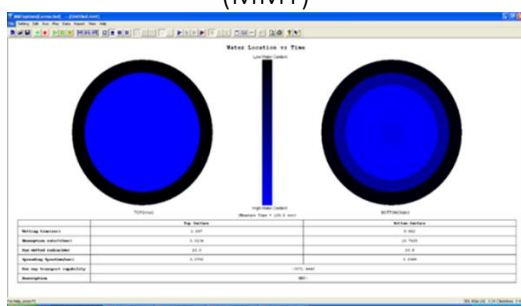
Степента на омокряне и влагопренос на текстилните сензори са важни експлоатационни показатели. От начините на реакция към омокряне зависят и степента и качествата на предаването с помощта на текстилните сензори биосигнали.



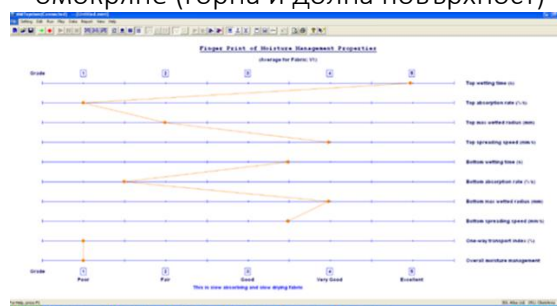
Фигура 16. Moisture Management Tester
(MMT)



Фигура 17. Графика на процеса на
омокряне (горна и долна повърхност)



Фигура 18. Графика на площта на
омокряне (горна и долна повърхност)



Фигура 19. „Пръстов отпечатък“ за
текстилни електроди без кант –
необработени

- **Уред:** Moisture Management Tester (MMT)
- **Стандарт:** AATCC 195, според който за оценка на възможността за пренос на течност в структурата на тъканта се използва 0.9% разтвор на NaCl (физиологичен разтвор).

В резултат от проведените изследвания уредът извежда графики за процеса на транспортиране на течността в тъканите.

Таблица 3. Тридименсионен пренос на течност в структурата на текстилни електроди без кант след 10 и 50 цикъла на пране

	Wetting Time Top (sec)	Wetting Time Bottom (sec)	Top Absorption Rate (%/sec)	Bottom Absorption Rate (%/sec)	Top Max Wetted Radius (mm)	Bottom Max Wetted Radius (mm)	Top Spreading Speed (mm/sec)	Bottom Spreading Speed (mm/sec)	Accumulative one-way transport index(%)	OMMC
третиран	10 цикъла на пране									
V1-11	0,187	15,187	4,0628	6,2453	5	20	17,7936	1,0849	-3337,3406	0,0071
V1-12	1,875	12	5,096	8,224	10	20	5,7645	1,8249	-3676,1331	0,1699
V1-13	2,25	4,875	7,3628	15,3815	10	20	8,8034	2,1869	-3056,9773	0,1139
Mean	1,437	10,687	5,507	9,950	8,333	20,000	10,787	1,699	-3356,817	0,097
S.Deviation	1,099	5,280	1,688	4,807	2,887	0,000	6,255	0,562	310,037	0,083
CV	0,765	0,494	0,307	0,483	0,346	0,000	0,580	0,331	-0,092	0,853
третиран	50 цикъла на пране									
V1-51	1,687	8,062	5,0134	10,7455	10	25	3,2752	3,2389	-3071,4446	0,1886
V1-52	1,406	16,313	5,4439	16,3966	10	20	3,2474	1,8588	-2825,561	0,0893
V1-53	1,228	14,367	6,528	12,8647	10	25	5,822	1,2894	-2284,986	0,0745
Mean	1,440	12,914	5,662	13,336	10,000	23,333	4,115	2,129	-2727,331	0,117
S.Deviation	0,231	4,313	0,780	2,855	0,000	2,887	1,478	1,002	402,326	0,062
CV	0,161	0,334	0,138	0,214	0,000	0,124	0,359	0,471	-0,148	0,528

Проведените експериментални изследвания за оценка на степента на омокряне и влагопренос на изследваните образци текстилни електроди без кант (електродите с кант не са подложени на това изследване, тъй като отворът в средата им, предвиден за въвеждане на кабелите, ще компрометира изследването) водят до заключението, че:

- времето за омокряне на текстилните електроди е бързо при новите и много бързо при третираните (10 и 50 цикъла на пране проби);
- скоростта им на водопоглъщане е много висока при новите електроди и ниска при третираните;
- сумарният индекс на едноросочен транспорт е много слаб и при новите и при третираните електроди;
- общият капацитет на влаготранспорт е много нисък и при новите и при третираните електроди;
- текстилните електроди имат добра абсорбция на течности и в достатъчна степен запазват своята възможност да поемат повишена влажност;
- текстилните електроди, изпълнени без кант, са годни за вграждане в интелигентна текстилна система за дългосрочен мониторинг. Качеството на придобитите биомедицински сигнали остава на необходимото ниво за използването им за диагностична и аналитична дейност, като в случая степента на омокряне води до подобряване на качествата на придобитите с тяхна помощ сигнали;
- образците на текстилните електроди, подложени на предварително третиране с перилни препарати и електролит, не регистрират значителни отклонения в характеристиките си и те остават в допустимите граници, гарантиращи коректност на изследванията, проведени с тяхна помощ, следователно могат да бъдат използвани за качествен ритъмен анализ.

Изследване на влиянието на натиска, вида на въздействието и кратността на обработка върху приложението на текстилните електроди като капацитивни сензори

В лабораторни условия е проведено изследване на параметрите на текстилни електроди при използването им за капацитивни сензори. Опитната постановка е свързана с измерване на измененията на капацитета на образците текстилни електроди от двата

изследвани модела (с кант и без кант). За измерванията е използван LCR-метър **HAMEG HM 8018** (Фигура 20).



Фигура 20. LCR-метър
HAMEG HM 8018

В заключение на извършените експериментални измервания се констатира, че изследваните опитни образци текстилни електроди запазват необходимите си функционални характеристики и осигуряват регистриране на бионапреженията с необходимите параметри за нуждите на продължителен ЕКГ мониторинг:

- „стареенето” на електродите вследствие на определен брой цикли на пране не води до големи (в рамките на порядък) разлики в измерения капацитет;
- констатира се че, капацитетът се променя в рамките на до два и половина пъти (250%), като същевременно разсейването на капацитета при измерването на няколко нови, нетретирани електрода е от порядъка на 100%. Измененията на стойностите са в рамките на нормалните отклонения;
- не се забелязва съществена промяна на капацитета при третиране на електродите с наситен воден разтвор на NaCl;
- както третирани с физиологичен разтвор сензори, така и тези, третирани с определен брой цикли на пране, остават годни за ползване за нуждите на нормалната работа на интелигентна текстилна система за непрекъснат медицински мониторинг;
- същевременно разликите в капацитетите при измерване на електроди с кант и такива без кант е значителна – около 5 пъти. Причина за това е практическата невъзможност да се осигури минимално разстояние между края на текстилния електрод - където площта е най-голяма - и медния електрод;
- отклоненията в измерените стойности гарантират, че с помощта на изследваните текстилни електроди могат да бъдат регистрирани бионапрежения с необходимото за нуждите на диагностиката и непрекъснатия мониторинг качество.

Експериментално снемане на ЕКГ сигнал с помощта на текстилни електроди, с отчитане на промяната на характеристиките им и качествата на сигналите според броя на проведените цикли на изпиране



Фигура 21. Портативна ЕКГ система
ECG_BLUE



Фигура 22. ЕКГ запис на пациент,
реализиран с помощта конвенционални
електроди



Фигура 23. ЕКГ запис на пациент, реализиран с помощта на текстилни електроди с кант (необработени и след 10 цикъл на пране)

Проведеният сравнителен анализ между качествата на регистрираните сигнали чрез текстилни електроди, изпълнени с кант, и стандартните електроди при регистриране на ЕКГ сигнал водят до следните **заключения**:

- текстилните електроди, изпълнени с окантяване, имат необходимите качества за регистриране на биомедицинските сигнали от повърхността на тялото;
- те са годни за вграждане в интелигентна текстилна система за дългосрочен мониторинг. С тяхна помощ биват осигурени биомедицински сигнали с необходимото качество за диагностична и аналитична дейност;
- третирането на текстилните електроди повишава в много ниска степен шума в стойностите на сигнала и те остават в допустимите граници, гарантиращи коректност на изследванията, проведени с тяхна помощ. Данните са съпоставими с тези, придобити с помощта на стандартни електроди;
- стойностите на отчетените биосигнали не търпят критични промени в рамките на полезния честотен диапазон, от което следва заключението, че независимо от третирането им с перилни препарати, електролити и последващите ги деформации, електродите запазват полезните си качества и получените с тяхна помощ сигнали са годни за употреба в медицинската практика;
- данните, получени с помощта на текстилни сензори, са съпоставими с тези, получени от стандартните. Наблюдава се известно зашумяване на графиката, което се „изглажда“ чрез софтуерно приложение, обработващо данните при получаването им за разчитане.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТВАНЕ НА АЛГОРИТЪМ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗРАБОТВАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТЕН ТЕКСТИЛЕН КОСТЮМ ЗА НЕПРЕКЪСНАТ МЕДИЦИНСКИ МОНИТОРИНГ В ПЕДИАТРИЯТА

След осъществяване на:

- предварителните анализи на текстилните сензори като основен елемент в конструкцията;
- подробното разучаване на необходимите биосигнали, залагани за следене от медицинските екипи при продължителен мониторинг;
- подробното разучаване на желаното качество на получените сигнали.

При конструиране на интелигентната текстилна система следва да се зложат тези конструктивни решения, при които има максимално покритие на критериите.

Специфични изисквания при проектиране на детски облекла от високотехнологичен текстил

Детското облекло се отличава с разнообразие според предназначение, използвани материали, технологично изпълнение, форма на елементите, цветови съчетания, декоративни решения и други.

Облеклото бива съобразено с особеностите на физическото, психологичното и физиологичното развитие на децата според възрастта им. При конструирането на детско облекло ключова задача пред проектанта е **да се предвиди необходимостта от осигуряване на свободата на движението им и тяхната виталност.**

Ролята на дизайнера е да предвиди достатъчно големи прибавки за свобода с цел осигуряване комфорта на децата, като се запази напълно спокойствието и мобилността им в ежеднезната активност при ползване на облеклото, респективно на ефективен мониторинг на наблюдаваните бионапрежения.

Дефинирани са:

Асортиментът на детското облекло е разнообразен, както по предназначение, използвани материали и технологично изпълнение, така и по отношение на форма на елементите, цветови съчетания, декоративни решения и други. Облеклото отчита особеностите на физическото, психологичното и физиологичното развитие в различните етапи от растежа на децата. Модата в детското облекло се проявява косвено. Не се наблюдават чести и резки смени на форми, силуети и обеми. Конструкциите се отличават със стабилност в сравнение с тези при възрастните, като влиянието на времето и модата се усеща сновно в детайлите и заключителните обработки.

Стилове в детското облекло – предвид особеностите на поведение и ежедневни навици на децата, в техните облекла са се развили основно три стила – **спортен, романтичен, унисекс.**

Функции на детското облекло. Най-общо функциите на детското облекло могат да се групират по следния начин:

- **утилитарно-защитни:** защита срещу различни неблагоприятни въздействия – физични, химични, физиолого-психологични, включително на околната среда и други;
- **утилитарно-практични:** предоставяне на физическа възможност за нормални действия и движения на децата;
- **социално-естетични:** морални, етични, комуникативни, образователни и други функции, включително стимулиране на умствената дейност;
- **художествено-естетични:** чувствено-емоционално удовлетворение от композицията в облеклото, както и неговата хармония с околната среда.

Размери на детското облекло. По форма и пропорции на частите си **детското облекло се различава значително от облеклото за възрастни.** Различията се дължат на неустойчивите и бързо променящи се пропорции между частите на детското тяло. Това налага вниманието на дизайнера в конкретния случай да отчете различните пропорции на детската фигура в процеса на проектиране на интелигентния текстилен костюм.

Избор на текстилни материали и компоненти

Водещ в избора на текстилните компоненти при изработване на специализиран детски костюм за медицински мониторинг следва да бъде критерият за максимално удобството и комфорт на децата пациенти, наред с осигуряването на тяхната безопасност.

За целта всеки материал, предвиден за използване в реализацията на интелигентната система за медицински мониторинг, се подлага на анализ за пригодност за спазване на специфичните изисквания за ползването от деца-пациенти.

В разгледаната теоретична част са описани строгите критерии, които се налага да се спазват при проектиране на детско облекло по принцип и в частност на специализирано облекло, особено предназначено за ползване в болнична обстановка.

Специфичните изисквания към детските Като пациентска група децата са специфична категория с уникални характеристики и изисквания към заобикалящата ги среда (особено в болнична обстановка), интериорния дизайн, облеклото, динамиката, която налагат в ежедневието си. Следователно дизайнерът следва да съобрази множество допълнителни фактори при конструиране на костюма за детски телеметричен мониторинг.

Текстилни материали за детски облекла. Детски облекла се изработват както от естествени, така и от синтетични материали. Необходимо е да се вземат предвид слоевете на облеклото и възрастта на детето.

Първият слой облекло (в пряк досег с тялото) трябва да бъде изработен само от естествени материали.

Във втория и третия слой е възможно да се използват смесени и синтетични материали. В момента има голям брой съвременни материали, характеризиращи се с добри дишащи, ветроупорни, водоустойчиви, огнеупорни и други характеристики.

Платовете за детски облекла са многообразни по цвят и десен. Универсални в производството на облекла за деца са платове с малък и среден размер орнаментален мотив. Това са тъкани с класически рисунък на точки, райета, карета. Много често се използва и природно-растителен или друг тематичен орнамент. Това са мотиви, които са познати и разбираеми за децата, взети от песни, приказки и детски филми. Те стимулират въображението на децата и провокират любопитството им.

Материалите, от които се изработват детските облекла, следва да бъдат леки, меки, да не предизвикват механично претриване и дразнене на кожата и алергични реакции. Те следва да не отделят неприятен мирис и химически вещества, вредни за детския организъм. Препоръчва се облеклата да са в подходящи светли тонове, а бельото до 1 година (пелени, камизолки, гащи, пликчета, чорапи, чорапогащи и други) да не се оцветява.

Физичните свойства на текстилните материали, имащи хигиенно значение (порьозност, въздухопропускливост, паропроницаемост, водопоглъщаемост и други), следва да съответстват на физиологичните особености на детския организъм и да не се променят съществено в процеса на носене – пране, химическо чистене и гладене.

Цветовите в тъканите за детски облекла понякога доминират върху тъканта, но запазват основната функционалност. Децата обичат всичко ярко и колоритно, поради което, според съветите на психолозите, облеклата им трябва да бъдат възможно най-многоцветни. Това насърчава развитието на мозъчната дейност на детето, води до оптимистично поведение и възприемане на ежедневните ситуации. Преобладаването на цветове в различните изделия и модели стимулира интереса и провокира творческите мисли и комбинативност у детето.

Характеристика на детските облекла в зависимост от възрастовата група. Детските облекла могат условно да се организират в следните групи:

- облекла за деца от бебешката група – до 1 година;
- облекла за деца в ясления период – от 1 до 3 години;
- облекла за деца в доучилищна възраст – от 3 до 6 години;
- облекла за деца в училищна възраст – от 7 до 11 години;
- облекла за деца в училищна възраст – от 12 до 15 години
- облекла за деца в юношеска възраст – от 16 до 17 години.

Разделението и оразмеряването при конструиране на костюма се налага поради отчитане на различните специфични изисквания и нужди на децата според възрастта им.

Вземат се предвид чисто физиологичните различия в размерите и пропорциите на тялото, характерни за съответната възрастова група, степента на физическа активност и нейните особености, съответстващи за конкретната възраст.

Биомедицинските сигнали, обект на мониторинг в разработваната интелигентна текстилно базирана система са: *Сърдечен ритъм, Пулс, Респирация - честота, дълбочина и ритъм на дишане, Температура*

Разгледани са конструктивни фактори при проектиране на детски костюм за непрекъснат медицински мониторинг, както и е аргументиран избора на системата в изпълнение с помощта на меки текстилни електроди.

Текстилните материали, както и вложените в системата електронни компоненти са тествани за влиянието на различни експлоатационни фактори като:

- влияние на влагата при регистриране на биомедицински сигнали;
- влияние на електролитите върху качествата на регистрираните сигнали;
- влияние на нарастващ брой цикли на изпиране (в частност избора на перилен препарат, програмата за изпиране) върху качествата на текстилната материя и на електронните компоненти;
- влияние на придружаващи експлоатацията на интелигентната текстилна система процедури – влаготоплинна обработка, сушене, химическо чистене и други;
- влияние на механичните натоварвания върху интелигентната текстилна система за непрекъснат мониторинг - опън, драпируемост и други;
- влияние на компресията върху качествата на получените с помощта на текстилни сензори данни.

Тези фактори трябва да бъдат взимани под внимание при проектиране на интелигентна система за непрекъснат on-line мониторинг.

Оразмеряване - съществува разнообразие от алгоритми за геометрично разгъване повърхността на облеклото на плоскост. В съответствие с вида и предназначението на облеклото създаването на една стандартна конструктивна основа е пряко свързано с:

- телесните измерения, характеризиращи пропорциите и формите на човешкото тяло в неговата динамика;
- вида, структурата и свойствата на площните текстилни материали, от които ще се изработва проектираното изделие.

Плетените платове се характеризират с бримковия си строеж, определящ относително голямата им деформируемост при опън. Плътнo прилягащите изделия се проектират без прибавки за свобода, без свивки или с относително по-малки напречни размери от тези при класическите тъкани.

При оразмеряване на конструкциите, предназначени за плетени платове, боравенето с тяхната големина не може да бъде задавана без предварителни изследвания. Прибавки за свобода имат еднакви стойности за всички съставни линии и конструктивни участъци от мрежата, разположени в една и съща равнина. Това затруднява точното дефиниране на прибавките за свобода при стандартни конструктивни основи за плетени платове. Те зависят в значителна степен от разтегливостта на платовете и способността им да дублират размерите и формата на човешката фигура.

Еластомерните трикотажни материали се характеризират с по-голяма деформируемост при опън, т. е. по-висока структурна подвижност и разтегливост. Това свойство е в основата на лесното приемане на форми, съответстващи на изразените изпъкналости и вдлъбнатости от човешката фигура. В горните опорни участъци изделията

се приближават към формата на човешкото тяло и се характеризират с относително стабилни размери. Формирането на долните участъци се извършва за сметка на разтягането на изделията в съответните опорни повърхности от фигурата. Различната степен на деформиране за различните видове материали в областта на ниските натоварвания изисква определянето на напречните и надлъжни относителни деформации.

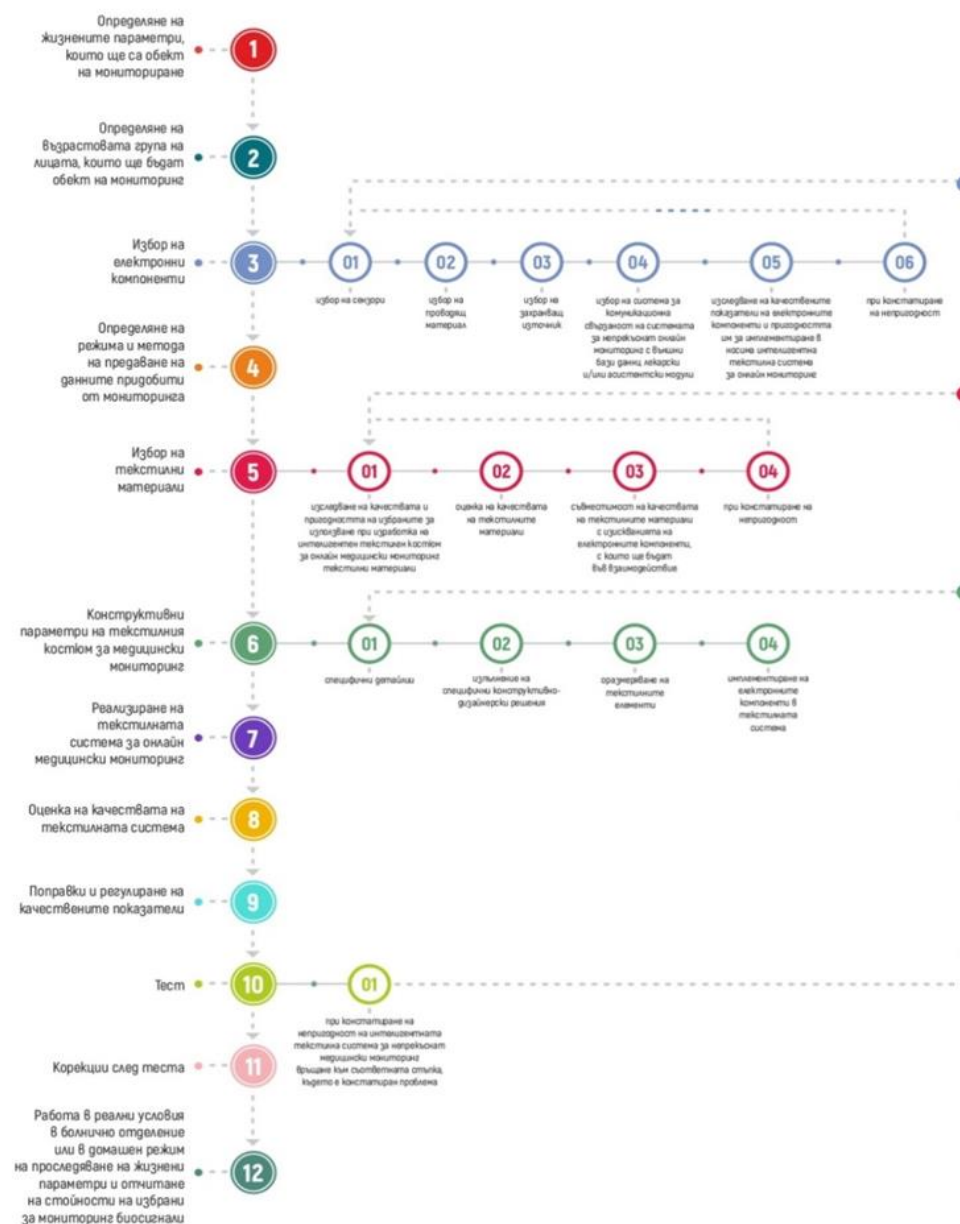
Известни са различни класификации на плетените платове, като от гледна точка на конструирането на облекла съществено значение като фактор има т. нар. условно-остатъчна деформация. Тя служи за определяне на коригиращите коефициенти по бримков ред и бримков стълб. С тяхна помощ се извършва относително преобразуване на съставните линии и на конструктивните участъци, отнесени към тези за класическите тъкани. Те имат и косвено значение за представянето и изчертаването на криволинейните контури в основните детайли от конструкцията.

При проектиране на плътно прилягащо по тялото плетено облекло се налага обиколните размери на изделието да бъдат по-малки от действителните размери на тялото. Разликата е в пряка връзка с деформационните свойства на плетените платове. Целта е намиране на еднотипни зависимости за оразмеряване на конструкциите, приложими за дадена група платове, при избягване на изключения и специални случаи. С използването на тези зависимости изделието трябва да осигурява:

- обвиване на всички изпъкналости и вдлъбнатости от повърхността на тялото, за които то е проектирано;
- упражняване на външен натиск, по-нисък от допустимия, върху телесните повърхности с оглед осигуряване на комфорт при носене;
- запазване на възприятието за равнина композиция на плата при деформиране, особено когато отсъства нарочен акцент върху някоя част от облеклото.

Разработен е алгоритъм за конструиране на изделие от високотехнологичен текстил, предназначено за непрекъснат медицински мониторинг

ОПИСАНИЕ НА ПРОЦЕС ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТЕН ТЕКСТИЛЕН КОСТЮМ ЗА ОНЛАЙН МЕДИЦИНСКИ МОНИТОРИНГ



Фигура 24. Алгоритъм за построяване на Интелигентен текстилен костюм за онлайн медицински мониторинг

ГЛАВА 5. КОНСТРУИРАНЕ НА ИЗДЕЛИЕТО

Специфичните изисквания към естеството на детското облекло налагат към изработваното изделие да се подхожда детайлно във всеки негов аспект.

Изделието следва да осигурява безпроблемната подвижност и активността на децата, да бъде функционално издържано по отношение на важните критерии, отнасящи се към детското облекло. То трябва да осигурява, свобода, комфорт и независимост на децата, които се налага да бъдат подложени на непрекъснат медицински мониторинг. Не трябва да допуска внасянето на смущения в регистрираните бионапрежения.

Друг важен аспект е, че изделието следва да покрива високи критерии относно хигиенните свойства. Материалът, от който ще бъде изработен интелигентният текстилен костюм, следва да осигурява висока степен на проветривост, влагопропускливост, гъвкавост, еластичност и мекота при допир.

Освен посочените специфични изисквания към детските облекла и с оглед реализиране на основната идея в труда, проектираните изделия трябва да удовлетворяват някои общи условия като:

- да се предлагат в разнообразен асортимент – бодита, бюстиета, бандаж, ластични колани и колани с презрамки, опорни ленти и др., в различни моделни варианти и подходящо технологично изпълнение;
- изделията да съответстват на измененията в пропорциите на детските телосложения и на техните размерни признаци, организирани в съответните стандарти;
- облеклата да са предназначени за многократна употреба в болнична и извън болнична среда и да предоставят възможност за прилагане на различни обработки и други.

Техническо описание

– **обосновка за избор на изделието** (в резултат на заключенията от литературното проучване, проведени консултации с медицински специалисти и проведени изпитания на образци от текстилни сензори, смятам, че максимално функционално и покриващо критериите текстилно изделие, отговарящо на условията за непрекъснат on-line мониторинг, е модел на детско боди с имплементирана в него система за непрекъснато регистриране и интерпретация на бионапрежения. Системата ще бъде изпълнена във вариант 1 – със сензори, възможен е също така и вариант 2 - с бродирани сензори от проводим конец, който засега остава като бъдещ проект);

- изглед на изделието (Фигура 25);



Фигура 25. Изглед на изделието

– **описание на изделието** (Изделието представлява детско боди за многократна употреба, предназначено за клинично или за домашно лечение. То позволява извършването на различни по характер и допустими по предписание движения, както на тялото, така и на горните крайници.

В зависимост от възрастовата група и моментното състояние на детето, от гледна точка на подвижност на горните крайници, изделието може да се облича самостоятелно, или с чужда помощ на близък или на болничен персонал.

В общия случай методиката за проектиране е предназначена за оразмеряване и геометрично построение на основните детайли за всички стандартни типоразмерни групи. Алгоритъмът за конструиране позволява проектиране и за детски фигури с отклонения от условно приетите за нормални размерни признаци.

Изделието е с къси/дълги (според сезона) ръкави и покрива тялото от вратната извивка през гръдната област и талията до подчаталния участък. По линия на дължината закопчаването на дъното е с обикновени или пружинкови копчета тип „тик-так“. Броят им – две или три (при къс ръкав) и пет (при дълъг ръкав) и диаметърът им – 10,0, 12,5 или 15,0 mm са в зависимост от размероръстовата група.

Цялото изделие е с ляво или дясно закопчаване съобразно предписанията за движение на горните крайници и типа на провежданото лечение.





Фигура 26. Закопчаване

Двата основни детайла – предна част и гръб са цели, без допълнителни срязвания и свивки и трайно съединени в единия страничен шев. По линиите на вратната извивка и на дължината бодито е с окантоваща лента.

Единият ръкав е срязан по линията на външния и на вътрешния шев, където са предвидени също закопчавания с копчета. Другият ръкав е едношевен съгласно илюстрираното на Фигура 26.

Съединяването на двете части на ръкава по вътрешния шев е с копчета тип „тик-так“, които продължават в целия страничен шев между предната част и гръба. Закопчаването по рамото и по външния шев на единия ръкав е също с тик-так копчета – две в рамото и три, или четири на ръкава.

За осигуряване на по-плътно прилепване на бодито към тялото по линия на единия страничен шев двата основни детайла трайно са съединени с шев, а в другия е предвидено закопчаване, което е продължение на закопчаването на ръкава. Закопчаването може да се изпълни със скрит, с обикновен цип с фини пластмасови зъби, но при този вариант, лентата на която са разположени зъбите в подмишницата ще стане двойна и ще създава дискомфорт при носене. Същото се отнася и за закопчаване с велкро. По тази причина най-подходящо е закопчаването и по страничния шев да бъде изпълнено с помощта на копчета „тик-так“, както е илюстрирано на Фигура 26.

По този начин бодито има само един фиксиран шев, от едната си страна. Това освен че облекчава максимално обличането и събличането му, осигурява закрепването на персонализирана еластична лента с широчина (5,0 - 6,0) cm от вътрешната страна на бодито. Лентата изпълнява ролята на бандаж на гръдния кош, тя е сменяема и съответства на телесните особености на детското тяло в тази област. Има възможност за подходящо позициониране спрямо телесната повърхност и с предоставен обхват за контролирано пристягане.

Там е поместен сензора, който е фиксиран към тялото на детето, посредством система от илици и копчета. Два от тези илици-копчета са фиксирани към страничните шевове и осигуряват относителна неподвижност, установявайки по този начин местоположението на лентата, осигуряват плътен непрекъснат контакт с повърхността на тялото на детето (Фигура 27).

От вътрешната ѝ страна е поместен сензор, който преминава през третия изплетен илик (в централната част на гръдния кош) и се фиксира към тялото на детето. По този начин се установява местоположението му и се осигурява плътен непрекъснат контакт с повърхността на тялото, необходими за извличане на биосигнали с нужното за мониторинга качество.

В стационарният ръкав има изработен „вътрешен джоб“, в който е поместен ламиниран блок състоящ се от контролер и захранваща батерия (Фигура 27). По единия ръб на еластичната лента е изработен „тунел“, през който преминава кабел, свързващ контролера от ръкава със сензора в гръдната област.

Конструирано по този начин бодито може да бъде обличано и събличано бързо, лесно и без необходимост от излишни движения на детето.



Фигура 27. Сензори и контролер

Системата на укрепване от типа илик-копче осигурява сигурно позициониране на сензора и плътен контакт с тялото, също и възможност лентата да бъде сваляна от основния текстилен носител (в случая боди) и да се подлага на смяна, пране и тн)

Материалът, от който ще бъде изработен интелигентният текстилен костюм, следва да осигурява висока степен на проветривост, влагопропускливост, гъвкавост, еластичност и мекота при допир. Друг важен аспект е, че изделието следва да покрива високи критерии относно хигиенните свойства.

Състава на материалите от които се изработва лентата, е полиамидна основа и еластомер.

Елементите, предвидени за имплементиране в текстилната система и предназначени за регистриране на бионапреженията (или бродираните сензори), ще бъдат разположени в предната горна част на изделието, в областта на слънчевия сплит,

на границата на диафрагмата и долният край на гръдната кост. Разположението им е съобразено с максимално улесняващ обслужването и дейността им начин.

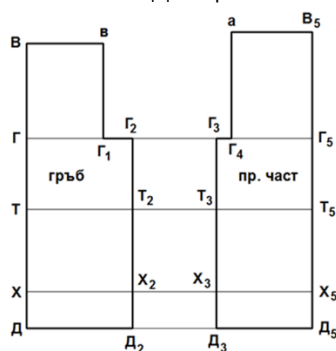
Захранващият елемент (батерия) следва да бъде поставена в специален джоб (S-образен с цип), тъй като при пране и други необходими поддържащи процедури ще се налага отстраняването и от системата с цел запазване на функционалността ѝ.

Контролерът, който осигурява регистрирането и трансфера на биомедицинските сигнали от текстилната система към лекарския модул (персонален асистент) и обратно, следва също да подлежи на отстраняване по време на хигиенни процедури във връзка с безпроблемното си функциониране. Всички електронни компоненти и кабелите, осъществяващи необходимата връзка между тях, ще бъдат разположени на места, които не нарушават комфорта на пациентите, както и ще са обезопасени от волно или неволно отстраняване от текстилната система от страна на пациентите.

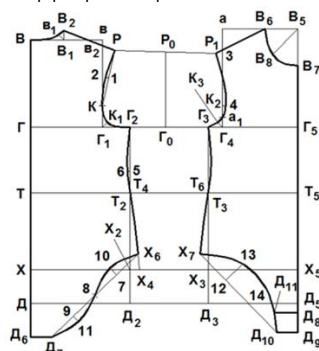
Конструктивно това ще бъде постигнато най-добре, като окабеляването и батериите бъдат имплементирани в областта по дължината на страничните шевове, като при нужда се използват и шевове на извивката на яката. За контролера според размера му ще бъдат ползвани същите места или ще бъде разположен в предната част в областта на гърдите.

Начините на обличане, събличане и закопчаване ще са изцяло съобразени със специфичните изисквания към модела. Предвид презумпцията, че децата, подлежащи на on-line мониторинг, в повечето случаи ще са с травматични проблеми, в следоперационна фаза или пък трудно подвижни поради спецификата на заболяването си, обличането, събличането и обслужването на електронните компоненти ще налага минимално движение от тяхна страна.

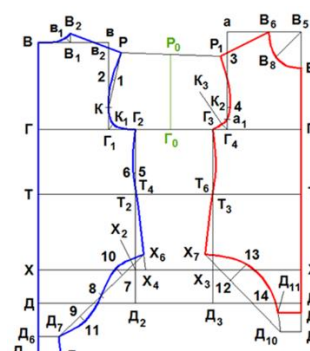
Извършени са изчисления и геометрично построение на работен модел на интелигентна текстилна система предвазначена за онлайн телеметричен мониторинг в областта на педиатричните грижи за деца пациенти.



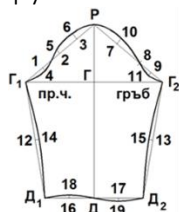
Фигура 28. Мрежа на конструктивния чертеж



Фигура 29. Чертеж на гърба и предната част



Фигура 30. Основни детайли



Фигура 31. Едношевен ръкав на детско боди



Фигура 32. Построение на ръкав на детско боди

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси

1. Анализирани и систематизирани са експлоатационните характеристики и качествените показатели на текстилни електроди, предназначени за имплементиране в интелигентна текстилна система (тип wearable) .
2. Получени са нови данни за два вида текстилни електроди относно честотните им характеристики в диапазона от 0 до 20 000 Hz и приложимостта им за регистриране на биомедицински сигнали.
3. Получени са нови данни относно поведението на текстилните електроди при натиск в широк диапазон на изменение на налягането - от 0,1 до 17 kPa. Изчертани са деформационните криви, дефинирани са характерни зони и е издигната хипотеза за поведението им.
4. Оценена е ефективността и пригодността на текстилните електроди при използването им за дългосрочно телеметрично измерване чрез прогнозиране посредством статистически анализ и екстраполация на изведените зависимости.
5. Изследвано и оценено е влиянието на големината на натиска, вида (пране и обработка с електролит) и кратността на обработка (брой цикли на пране) върху възможността за приложение на текстилните електроди като капацитивни сензори.

Приложни приноси

6. Проведени са експериментални изследвания и са получени нови данни относно:
 7. способността на текстилните електроди да се омокрят и да транспортират влага;
 8. въздействието на различни обработки (пране и обработка с електролит)
 9. върху качествените характеристики на биосигналите.
10. Извършени са замервания на сигнали на ЕКГ от пациент с помощта на текстилни електроди (необработени и прани) и е направен сравнителен анализ на записите с конвенционални и текстилни електроди в реални условия.
11. Разработен е алгоритъм за проектиране на облекла от високотехнологичен текстил за непрекъснат мониторинг в областта на педиатрията.
12. Проектирано, изработено и валидирано е облекло от високотехнологичен текстил с медицинско предназначение за типова детска фигура.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

[A1]Hadzhigenova E., *Application of Textile Electrodes in Medical Telemetry*, May 2019,Conference: 2019 X National Conference with International Participation (ELECTRONICA),DOI:10.1109/ELECTRONICA.2019.8825637

[A2]Hadzhigenova E., Nikolov G., Gieva E., IlievI., *Experimental Investigation of Washing Effects on the Properties of Textile Electrodes*, May 2020,,Conference: 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE),DOI:10.1109/ISSE49702.2020.9120885

[A3]Nikolova E., Tabakov S., *Investigation of the properties of textile electrodes in order to apply them as capacitive electrodes*,September 2020,Conference: THE XXIX INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "ELECTRONICS ET 2020", DOI: 10.1109/ET50336.2020.9238216

[A4]Germanova-KrastevaD., Nikolova E., *Deformation behaviour of textile electrodes during compression*, September 2020, Conference: 25th Scientific Conference on PowerEngineering and PowerMachines (PEPM'2020), DOI:10.1051/e3sconf/202020703002

SUMMARY

In recent years, good medical practices have increasingly relied on the prevention, diagnosis and remote monitoring of high-risk patients using telemetry systems for continuous online monitoring.

A key factor in the introduction of such follow-up is to ensure maximum convenience and comfort of the patient, as the monitoring mode is as close as possible to their daily lives.

Textile-based sensors, conductive textiles and intelligent textile systems are undoubtedly among the best solutions in this case.

In this regard, the main goal of the present dissertation is their research and the creation of an algorithmic sequence for the design of an intelligent system for continuous monitoring of patients in pediatric wards.

OBJECTIVE: To define general and specific requirements (physical-mechanical, chemical, compositional, structural, structural, color, etc.), on the basis of which to create an algorithm for design, technical design and quality assessment of intelligent textile clothing, including e-clothing.

CHAPTER ONE: is dedicated to Research and analysis of the state of the problem

CHAPTER TWO: is related to defining requirements for the elements that make up the intelligent textile systems for medical monitoring

CHAPTER THREE: studies have been performed on the suitability of textile electrodes for use in e-clothing

CHAPTER FOUR: dedicated to the development of an algorithm for the design and manufacture of intelligent textile suit for continuous medical monitoring in pediatrics

CHAPTER FIVE: construction of the product, as well as a model