Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

«Методичні підходи до поліпшення проектування робочого одягу на основі оптимізації розмірних ознак»
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІВс24мг
спеціальності: 175 Інформаційно-вимірювальні технології
_____/ Вадим ХАРЛАН_____
(підпис) (ім'я та прізвище)
Керівник _____/ Ганна ГРІНЧЕНКО___
(підпис) (ім'я та прізвище)
Рецензент _____/_ __
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Геннадій КАНЮК_
(підпис) (ім'я та прізвище)
Нормоконтроль_____/_____
(підпис) (ім'я та прізвище)
Секретар ЕК _____/__Євгеній КЛЮЧКА_
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

Спеціальність 175 Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма «Якість, стандартизація та сертифікація»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____
(підпис)

д.т.н., проф. Геннадій КАНЮК__
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«___» _____2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувача вищої освіти _____Вадим ХАРЛАН_____
(ім'я, прізвище)

1. Тема Методичні підходи до поліпшення проектування робочого одягу на основі оптимізації розмірних ознак
затверджена наказом по академії №____від «___»_____ 20___р.

2. Термін здачі закінченої роботи «____»_____20___р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту
_____
_____

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
_ У роботі пропонується комплексне дослідження процесу створення ефективного та комфортного робочого одягу. Необхідно зробити аналіз існуючих методик проектування робочого одягу, сучасних стандартів та нормативних вимог, а також огляду підходів до оптимізації параметрів одягу з урахуванням антропометричних особливостей користувачів. У практичній частині описати методи збору та обробки даних щодо розмірів тіла, розробка моделей оптимізації розмірних ознак та застосування комп'ютерних технологій для підбору оптимальних параметрів виробів.

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

_____

_____

_____

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання«___»_____20___р.

Керівник _____ _Ганна ГРІНЧЕНКО__
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Вадим ХАРЛАН
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Розробка плану кваліфікаційної роботи, ознайомлення з літературними джерелами за темою		
2.	Написання теоретичної частини кваліфікаційної роботи		
3.	Написання аналітичної частини кваліфікаційної роботи		
4.	Написання дидактичного проєкту в рамках кваліфікаційної роботи		
5.	Перевірка чернетки кваліфікаційної роботи та внесення змін до неї керівником		
6.	Перевірка якості кваліфікаційної роботи у системі «Антиплагіат»		
7.	Оформлення кваліфікаційної роботи		
8.	Проходження нормоконтролю оформлення кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти _____ Вадим ХАРЛАН
(підпис) (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

_____ _____
(підпис) (ім'я, прізвище)

ЗМІСТ

Анотація

РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ТІЛА ЛЮДИНИ

1.1 Загальні проблеми стандартизації у виробництві одягу

1.2. Нормативне забезпечення антропометричної інформації для виробництва одягу

1.3 Сучасні методи дослідження тіла людини

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ФОРМУВАННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ РОЗМІРНИХ ОЗНАК

2.1 Обґрунтування використання матричних методів для удосконалення нормативного забезпечення розмірних ознак

2.2 Оцінка похибки вимірювання розмірів експертним методом

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗКОНТАКТНИХ ТРИВИМІРНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРНИХ ПАРАМЕТРІВ ТІЛА ЛЮДИНИ

3.1 Визначення розмірів поверхні за допомогою профілографа

3.2 Методика побудови просторових зображень

3.3 Проведення вимірювань розмірних ознак з допомогою контактних методів

3.5 Удосконалення методів визначення розмірних ознак за допомогою 3D сканування

ВИСНОВКИ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі досліджуються методичні підходи до вдосконалення процесу проектування робочого одягу з урахуванням оптимізації розмірних ознак. Обґрунтовано актуальність проблеми, пов’язаної з необхідністю підвищення ергономічності, комфорту та безпеки робочого одягу для різних категорій працівників. Проаналізовано сучасні методики проектування та нормативні вимоги до робочого одягу, проведено систематизацію існуючих підходів до визначення розмірних характеристик виробів.

У практичній частині роботи запропоновано методи збору та обробки антропометричних даних, розроблено модель оптимізації розмірних ознак та проведено комп’ютерне моделювання підбору оптимальних параметрів робочого одягу. Результати експериментальної перевірки показали, що запропоновані методики дозволяють підвищити точність підбору розмірів, забезпечують комфорт та свободу рухів, а також відповідають вимогам безпеки.

Робота має практичне значення для розробки нових моделей робочого одягу та впровадження сучасних методик оптимізації розмірів у виробничому процесі, що сприяє підвищенню ефективності та зручності експлуатації виробів.

- **Мета роботи:**

Розробка та обґрунтування методичних підходів до вдосконалення проектування робочого одягу шляхом оптимізації розмірних ознак для забезпечення підвищеного комфорту, ергономічності та безпеки працівників.

- **Завдання роботи:**
- Проаналізувати сучасні методики проектування робочого одягу та вимоги до розмірних характеристик виробів.
- Систематизувати існуючі антропометричні дані та підходи до визначення розмірних ознак працівників.
- Розробити модель оптимізації розмірних ознак робочого одягу з урахуванням анатомо-фізіологічних особливостей користувачів.

- Провести комп’ютерне моделювання та перевірку оптимальних розмірів робочого одягу для різних категорій працівників.
- Обґрунтувати методичні рекомендації щодо впровадження запропонованих підходів у процесі проектування виробів.

Об’єкт дослідження: Процес проектування робочого одягу та його розмірні характеристики.

Предмет дослідження: Методичні та аналітичні підходи до оптимізації розмірних ознак робочого одягу для підвищення його ергономічності та комфорту користувачів.

ВСТУП

Створення конкурентоспроможної продукції нині є однією з ключових проблем, оскільки від цього залежить рівень задоволеності споживачів. У сфері виробництва одягу це, перш за все, пов’язано із забезпеченням відповідності виробів пропорціям тіла людини.

Процес узгодження одягу з параметрами тіла регламентується чинними антропометричними стандартами, проте вони не завжди відображають сучасні зміни фігури споживачів. Розробка стандартів відстає, зокрема через повільне впровадження нових цифрових технологій для дослідження типорозмірів.

Сьогодні проектна документація застосовується у цифровому форматі навіть на невеликих підприємствах легкої промисловості, проте значна частина процесів потребує модернізації, включаючи автоматизацію шаблонів, методів розкрою, передачу та архівування конструкторських і технологічних рішень. Лише окремі етапи проектування автоматизовані, зокрема конструктивне моделювання та виготовлення зразків. Базова антропометрична інформація для проектування представлена дискретними характеристиками типових фігур, затвердженими стандартами.

Недостатня точність методів візуалізації зовнішньої форми одягу стимулює впровадження нових систем вимірювання та відображення геометрії об’єкта. Традиційно для визначення складних геометричних параметрів використовуються дорогі 3D-сканери. Нещодавно з’явилися доступніші рішення, наприклад, системи Kinect, що дозволяють отримувати просторову інформацію, але їх ефективність у реальному виробництві ще не досліджена.

Сучасні стандарти базуються на антропометричних даних 1970-х років, а нові нормативні документи поки що лише частково відповідають актуальному стану справ. Українська швейна промисловість зацікавлена у вдосконаленні системи стандартів.

Антропометричні вимірювання залишаються трудомісткими і вимагають високої кваліфікації. Сучасні безконтактні методи вимірювання спрощують і прискорюють процес, проте їх широке використання обмежене високою вартістю. Недорогі системи, що з’явилися останнім часом, не застосовуються через відсутність обґрунтування їх ефективності.

Традиційні методики обробки антропометричної інформації не підтверджені експериментально, хоча досі рекомендуються до використання, тоді як сучасна математична статистика пропонує ефективні способи обробки даних.

Таким чином, актуальність дослідження визначається суперечністю між сучасними вимогами до продукції, можливостями нових технологій та методик і недостатньо розробленим застосуванням антропометричних даних у проектуванні робочого одягу.

РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ТІЛА ЛЮДИНИ

1.1 Загальні проблеми стандартизації у виробництві одягу

Важливим показником ефективності швейної промисловості є рівень задоволеності споживачів виробленою продукцією, причому ключову роль відіграють показники її якості. Оцінка якості одягу є комплексним критерієм, що включає відповідність конструкції, матеріалів та технології виготовлення встановленим вимогам.

У ряді випадків вимоги до якості регламентуються нормативними документами. Оскільки метою дослідження є вдосконалення нормативного забезпечення, доцільно розглядати стандарти у напрямку від сучасних українських нормативів, через чинні та застарілі, до європейських та міжнародних вимог.

Базовим нормативним документом, який визначає якість продукції в Україні, єДСТУ2925-94 «Якість продукції. Оцінка якості. Терміни та визначення». Згідно з ним, якість продукції – це сукупність характеристик, що відображають здатність виробу задовольняти встановлені та передбачені потреби споживачів. Для одягу ці вимоги мають широкий спектр застосування, включаючи спеціальний, захисний чи формений одяг.

Для отримання достовірної інформації про якість продукції легкої промисловості слід керуватися такими нормативними документами. Стандарт [2] визначає загальні положення щодо організації, проведення та оформлення результатів вхідного контролю сировини, матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих, які застосовуються при розробці, виробництві, експлуатації та ремонті промислової продукції. Цей документ носить загальний характер і використовується у різних галузях.

Стандарт [3] регламентує номенклатуру показників якості текстильно-галантерейних виробів побутового призначення (включно з основними), що враховуються при розробці і перегляді стандартів, технічних умов та описів

продукції. Цей норматив спеціально спрямований на забезпечення якості продукції легкої промисловості.

Напрями удосконалення нормативної документації ілюструє стандарт [4], який визначає принципи розробки і затвердження зразків-еталонів продукції легкої промисловості, їх впровадження у виробництво та застосування державними, кооперативними та іншими підприємствами незалежно від форми власності.

На основі загального підходу до організації виробництва одягу можна запропонувати узагальнений алгоритм процесу проектування та контролю якості продукції, що наведено на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Алгоритм забезпечення якості при виробництві одягу

Кожен етап виробничого процесу відіграє важливу роль у формуванні загальної якості продукції. Показники якості детально визначені у джерелах [5, 6]: перший охоплює всі види швейних виробів і встановлює методи контролю готової продукції, тоді як другий визначає номенклатуру показників якості швейних виробів побутового призначення, які застосовуються у науково-дослідних роботах, при оцінці рівня якості виробів під час розробки та запуску продукції у виробництво, а також при розробці і перегляді технічної та нормативно-технічної документації.

Вплив різних стадій виробництва на кінцеву якість швейних виробів описано у [7]. На прикладі європейських підприємств показано порядок розробки виробничих процесів та підкреслена важливість системного підходу до планування і контролю. Крім того, розглядаються ключові питання щодо

створення швидких, інтегрованих і гнучких виробничих процесів. Також висвітлюються аспекти систем класифікації і термінології для окремих видів одягу, а також розвиток стандартизованих систем розмірних ознак.

У роботі [8] автори досліджують взаємозв'язок моди та дизайну з технологією оцінки одягу і антропометрією розмірів людини. Проведено огляд об'єктивних вимірювальних технологій для оцінки зовнішнього вигляду одягу та її посадки на фігуру, а також описано методи вимірювання тіла, антропометрії та калібрувальні системи.

Джерело [9] аналізує сучасні концепції калібрування систем, що застосовуються у виробництві одягу. Зазначено, що багато таких систем базуються на застарілих антропометричних даних і не враховують широкий спектр варіацій розмірів тіла та пропорцій у популяції. Водночас технологічні удосконалення дозволяють отримувати нові дані про населення, а розробки у сфері автоматизованого проектування та складних математичних і статистичних методів категоризації різних форм тіла сприяють створенню більш ефективних систем калібрування. Розглянуто можливість адаптації існуючих систем калібрування та уніфікації національних і міжнародних стандартів розмірних ознак.

Загалом можна зробити висновок, що показник якості швейних виробів безпосередньо залежить від точності вимірювань тіла людини, що потребує як вдосконалення методів вимірювання, так і удосконалення нормативного забезпечення розмірних ознак у легкій промисловості. Робота [10] додатково висвітлює напрямки підвищення якості продукції легкої промисловості.

1.2. Нормативне забезпечення антропометричної інформації для виробництва одягу

Важливим аспектом забезпечення якості одягу є вхідна інформація про розмірні характеристики тіла людини, що подається у вигляді окремих

вимірювань. Програми антропометричних досліджень для конструювання одягу охоплюють великий набір параметрів – до 60–70 різних розмірних ознак.

При виділенні типових розмірів фігури та визначенні розподілу за номерами і полнотами ключовими є провідні ознаки [11]. До них належать: обхват грудей третього рівня, що визначає периметр верхньої частини тіла; зріст, який характеризує загальну довжину тіла і визначає довжину виробу; а також повнотові ознаки: у жінок – обхват стегон із врахуванням виступання живота, у чоловіків – обхват талії.

Для масового виробництва одягу застосовуються антропометричні стандарти, які визначають оптимальні співвідношення розмірних ознак з урахуванням віку, статі та географічного положення [12]. В Україні виділяють три антропометричні зони – східну, центральну та західну, що відрізняються між собою. Антропометричні характеристики населення змінюються приблизно кожні 15–20 років.

Наразі в Україні використовуються антропометричні стандарти, розроблені в СРСР у 1970-х роках, які вже не відповідають сучасним вимогам та географічним особливостям населення.

Система розмірних стандартів України включає нормативні документи, що визначають позначення розмірів одягу та порядок застосування розмірних ознак при проектуванні виробів. Документи [13–15] встановлюють загальні принципи визначення розмірів для різних груп населення з урахуванням статі, віку та виду одягу, орієнтуючись на європейські стандарти.

Стандарт [16], який відповідає вимогам ISO (Міжнародна організація зі стандартизації), закріплює систему визначення розмірів одягу. Проте багато стандартів, що регламентують антропометричну інформацію, є застарілими і потребують суттєвої модернізації.

До таких документів належать стандарти, які визначають типові фігури різних груп населення [17–19], розроблені у 1970-х роках. Ці стандарти встановлюють типові фігури та їх розмірні ознаки, обов’язкові для проектування одягу в швейній, трикотажній, хутряній та галантерейній промисловості.

Основні вимоги цих стандартів включають: застосування контактних методів вимірювання, що потребує високої кваліфікації персоналу та значних витрат; обробку даних за допомогою класичних методів математичної статистики, що частково не відображає реальні антропометричні варіації. Основні результати – величини ключових розмірних ознак типових фігур – наведені в таблицях 1.1–1.4.

Таблиця 1.1

Величини основних розмірних ознак типових фігур жінок

Найменування розмірних ознак	Величини розмірних ознак типової фігури, см	Інтервал між розмірами, см
Зріст	146; 152; 158; 164; 170; 176	6
Обхват грудей	84; 88; 92; 96; 100; 104; 108; 112; 116; 120; 124; 128; 132; 136	4
Обхват стегон по групам:		4
1	88; 92; 96; 100; 104; 108; 112; 116; 120; 124	
2	92; 96; 100; 104; 108; 112; 116; 120; 124; 128; 132; 136; 140; 144	
3	96; 100; 104; 108; 112; 116; 120; 124; 128; 132	
4	100; 104; 108; 112; 116; 120; 124; 128; 132; 136	

Величини основних розмірних ознак типових фігур чоловіків

Найменування розмірного ознаки	Величини розмірних ознак типової, см	Інтервал між розмірами, см
Зріст	158; 164; 170; 176; 182; 188	6
Обхват грудей	84; 88; 92; 96; 100; 104; 108; 112; 116; 120; 124; 128	4
Обхват стегон по групам:		4
1	70; 74; 78; 82; 86; 90	
2	72; 76; 80; 84; 88; 92; 96; 100; 104; 108; 112	
3	78; 82; 86; 90; 94; 98; 102; 106; 110; 114; 118; 122	
4	96; 100; 104; 108; 112; 116; 120; 124	
5	106; 110; 114; 118; 122; 126; 130	

Розглянуті стандарти мають слугувати основою для розробки стандартів виготовлення манекенів [20, 21]. Проблемами удосконалення розмірної типології населення України займалися такі дослідники, як Кудрявцева Н. В., Дітковська О. А., Рябчиков Н. Л. Зокрема, у роботі [24] розглядаються питання вдосконалення стандартів типології населення України та відзначається невідповідність деяких розмірних ознак нормальному розподілу. Роботи [25, 26] демонструють напрямки модернізації нормативної документації з урахуванням особливостей типології українського населення.

Дослідження [27] містять глибокий аналіз антропометричних характеристик дівчаток молодшої шкільної групи для потреб проектування одягу. При цьому розглядаються передумови вивчення антропометричних особливостей дитячих фігур [28], розроблена класифікація будови тіла дітей

молодшої шкільної групи [29], вивчено змінність антропометричних ознак у дітей молодшої [30] і старшої [31] шкільної груп Подільського географічного регіону. Також були створені методики оцінки різноманітності будови тіла людини щодо проектування одягу [32], описані характеристики сучасних фігур дівчаток молодшої шкільної групи за допоміжними розмірними ознаками [33] та досліджено вплив зміни розмірів фігури на параметричні характеристики базової основи одягу [34].

Незважаючи на детальне вивчення розмірних ознак дівчаток, сучасні дані для інших груп населення залишаються недостатньо дослідженими [35]. В цілому підкреслюється гостра потреба в розвитку антропометричної інформації для дослідження розмірних характеристик різних груп населення України з урахуванням європейських стандартів та антропометричних даних.

Питання відповідності пропорцій одягу потребам населення широко досліджуються у країнах Європи. Історичні дані показують, що з початку і до середини 1970-х років спостерігалося збільшення середнього зросту людей, проте у 1980-х цей процес завершився. Сучасна тенденція полягає в поступовому збільшенні маси тіла більшості людей. Антропологи та соціологи пояснюють це не лише стресами та малорухливим способом життя, а й природними інстинктами: протягом двох з половиною мільйонів років еволюції людина прагнула споживати достатню кількість їжі. До початку XXI століття кількість людей із необмеженим доступом до висококалорійної їжі значно зросла.

Важливо зазначити, що продажі компаній, які виробляють масовий одяг, напряму залежать від того, наскільки їхні вироби відповідають пропорціям середньостатистичного покупця, адже антропометричні параметри населення суттєво змінилися.

У сфері вдосконалення антропометричної інформації в Європі дослідження проводять Winks J., Bougourd J.P., Jessica M. Alleva та інші. Зокрема, у роботі [47] здійснено аналіз антропометричних вимірювань для підвищення якості одягу.

Професор Winks J. з Манчестера (Великобританія) запропонував низку напрямів міжнародної стандартизації одягу [48]. Міжнародний стандарт [49] пов'язує побудову конструкцій одягу з антропометричними даними людини. Дослідження, проведене в Німеччині [50], порівнює розміри чоловічого одягу в різних країнах, що дає змогу визначати загальні тенденції та стандартизаційні підходи.

Порівняння інтервалу розмірів чоловіків у різних країнах

Німеччина									
Розмір	44	46	48	50	52	54	56	58	
Зріст (см)	168	171	174	177	180	182	184	186	
Обхват груди (см)	88	92	96	100	104	108	112	116	
Обхват талии (см)	76	80	84	88	92	98	102	108	
Разница (см)	-12	-12	-12	-12	-12	-10	-10	-8	
Швейцарія									
Розмір	88	92	96	100	104	108	112	116	120
Зріст (см)	176	176	176	176	176	176	176	176	176
Обхват груди (см)	88	92	96	100	104	108	112	116	120
Обхват талии (см)	73	78	83	88	93	98	103	108	113
Разница (см)	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7
Франція									
Розмір	44-38	46-40	48-42	50-44	52-47	54-50	56-52		
Зріст (см)	174	174	174	174	174	174	174		
Обхват груди (см)	88	92	96	100	104	108	112		
Обхват талии (см)	76	80	84	88	94	100	104		
Разница (см)	-12	-12	-12	-12	-10	-8	-8		
Великобританія									
Розмір	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Зріст (см)	174	174	174	174	174	174	174	174	174
Обхват груди (см)	88	92	96	100	104	108	112	116	120
Обхват талии (см)	74	78	82	86	90	98	102	106	110
Разница (см)	-14	-14	-14	-14	-14	-10	-10	-10	-10
Нидерланды									
Розмір	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Зріст (см)	182	182	182	182	182	182	182	182	182
Обхват груди (см)	88	92	96	100	104	108	112	116	120

У роботі [52] проведено дослідження структури систем розмірів, зокрема порівняння трьох багатовимірних систем та оптимізацію даних відповідно до стандартів ASTM D5585-94 (Британський антропометричний стандарт). Робота [53] присвячена автоматизації процесу зняття розмірних характеристик тіла людини. У роботах [54, 56] здійснено спроби інтернаціоналізації систем розмірних ознак, тоді як особливості національних розмірних характеристик

наведені в [57]. Дослідження [58, 59] відзначають зміни в антропометрії населення, зокрема появу жіночих розмірів із негативною повнотою.

В цілому, аналіз європейських досліджень показує два паралельні процеси: спробу створення єдиної розмірної системи та одночасне вивчення національних особливостей різних країн Європи. Також підкреслюється мінливість розмірних ознак і важливість їх врахування при проектуванні одягу.

Американські вчені, серед яких Susan P. Ashdown, Loker S. та Snyder R.G., зробили вагомий внесок у розвиток антропометричних досліджень. У статті [60] досліджено способи створення одягу за стандартними таблицями розмірів із додаванням припусків на облягання (груди та стегна), а також запропоновано шляхи вдосконалення системи, що поєднує стандарт ASTM D5585-95R01 з модифікованою організацією таблиці розмірів. Для перевірки запропонованих змін було проведено тестування на 81 учаснику: виготовлено 32 комплекти курток класичного стилю у розмірах 2–16 для кожної системи. Три експерти оцінили посадку одягу, а статистичний аналіз показав, що нова система забезпечує кращу посадку.

Стаття [61] підкреслює важливість визначення форми та розмірів тіла для проектування одягу. У роботі [62] наголошується, що традиційно форми тіла оцінюють суб’єктивно або через співвідношення обхватів. У цьому дослідженні запропоновано об’єктивний метод класифікації нижньої частини жіночого тіла за допомогою кластерного аналізу, використовуючи дані SizeUSA для 2488 жінок віком 18–35 років, що дозволило виділити три основні форми.

У статтях [63–65] описані методики вимірювань для створення швейних моделей та антропометричні дані для дітей, підлітків, чоловіків і жінок, що забезпечують точне виготовлення виробів. Дослідження [66] присвячене вивченню великих розмірів одягу, а національний стандарт США [67] встановлює порядок антропометричних вимірювань для побудови конструкцій

одягу. Роботи [68, 69] розкривають підходи до масових вимірювань для вдосконалення антропометричних стандартів.

Отже, аналіз показує, що в США проведено значну кількість досліджень, спрямованих на вдосконалення розмірних стандартів для ефективного виготовлення одягу.

1.3 Сучасні методи дослідження тіла людини

Людське тіло є складною геометричною формою, яку неможливо точно описати простими фігурами. Для його вивчення застосовують як загальногеометричні, так і спеціалізовані методи та засоби.

У стандарті [89] наведені технічні вимоги до визначення геометрії об’єктів, а в [90] описані методи вимірювань та випробувального обладнання. Питання позначення розмірів одягу та процедури зняття вимірів регламентуються стандартом [91]. Основні та допоміжні розмірні ознаки описані у стандартах [92, 93]. Проте ці стандарти мають обмеження, оскільки вони базуються на контактних методах вимірювання тіла людини.

Стандарт [94] встановлює інтервали вимірів для проектування одягу, а [95] визначає взаємозв’язок між конструюванням одягу та розмірами тіла людини. Також у стандартах зазначено рекомендовані точності вимірювань і конструювання (див. табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Граничні відхилення основних вимірів детелей готових виробів від номінального розміру в міліметрах

Найменування основних вимірів	Граничне відхилення від номінальних розмірів виробу	
	для дорослих, підлітків і школярів	для дітей дошкільної та ясельної груп
Вироби плечової групи:		
ширина на рівні глибини пройми вдвічі складеного виробу	+- 10	+- 7
Вироби поясної групи:		
довжина пояса або ширина по лінії талії удвічі складеного виробу	+- 10	+- 8

Складну поверхню тіла можна досліджувати з допомогою антропометров (рис.1.2).

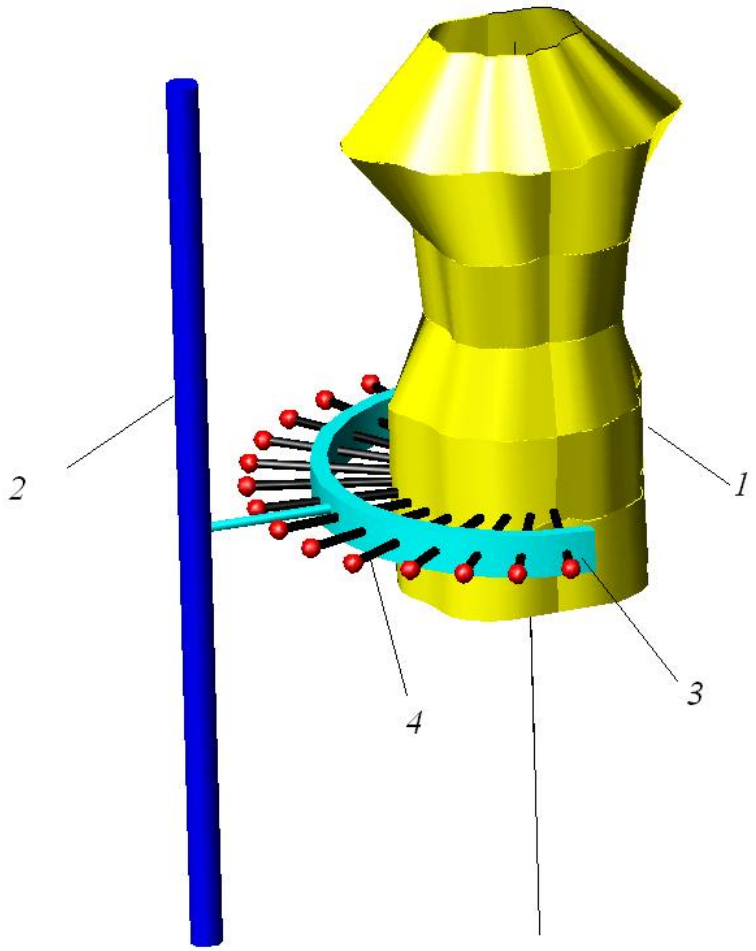


Рис.1.2. Горизонтальний антропометр.

1 – досліджуване тіло, 2 - стійка антропометра, 3 - кільце, 4-спиця

Безконтактні методи дослідження ґрунтуються на сучасних цифрових технологіях. Їх застосування у сфері антропометричних вимірювань досліджували Залкинд В.В., Рябчиков Н.Л., Петросова І.А.

Метод фотограмметрії передбачає використання цифрових фотографій для відтворення розмірів тіла людини [100–101]. У нас існує певний досвід відновлення розмірів тіла за цифровими проекціями. Для цього на людину накладається спеціальна сітка (рис. 1.5), після чого проводиться фотографування та віртуальні виміри розмірів осередків.

Нині термін «безконтактні методи вимірювання» найчастіше асоціюють із технологіями 3D-сканування. Наприклад, у роботі [102] зазначено, що

незадоволеність споживачів якістю швейних виробів на малих підприємствах значною мірою пов’язана із застосуванням застарілих методик проектування та розмірних типологій. Важливою проблемою є зміна типологічного складу населення протягом останніх 30 років через соціально-економічну динаміку, міграцію та поколінні зміни. Використання типологій можливе лише з урахуванням відмінностей у співвідношенні типових фігур. Через культурні та релігійні традиції контактні виміри серед жіночого населення викликають дискомфорт, тому особливо актуальною стає задача формування нової типології жіночого населенняза допомогою безконтактних методів вимірювання.

Особливо важливою [103] є формалізація процесу передачі параметризованої інформації, що міститься у візуальних образах моделей одягу (фотографіях, ескізах та віртуальних 3D-моделях, отриманих після сканування), на етап розробки конструктивних креслень. Відпрацювання схеми створення єдиної інформаційної бази всередині процесу дизайн-проектування доцільно проводити для масових видів одягу промислового виробництва. Одними з найбільш поширених у Китаї та інших країнах є утеплені міжсезонні куртки. Для забезпечення процесу передачі адаптованої інформації необхідна попередня параметризація двовимірних (2D) та об’ємно-просторових (3D) форм курток, а також креслень конструкцій, паралельно з розробкою нових показників властивостей матеріального пакета, що впливають на формоутворення.

Як показано в [104], контактні методи не забезпечують достатньої швидкодії та важко піддаються автоматизації. Більшість сучасних безконтактних методів дозволяє експортувати отримані дані в електронно-обчислювальні системи, проте вони мають низку обмежень, серед яких необхідність корекції даних при використанні традиційної та цифрової фотограмметрії, складність налаштування обладнання та вплив якості застосованих пристроїв на точність вимірювань.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ФОРМУВАННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ РОЗМІРНИХ ОЗНАК

2.1 Обґрунтування використання матричних методів для удосконалення нормативного забезпечення розмірних ознак

Антропометричні вимірювання є невід'ємною складовою системи стандартів, яку можна представити як динамічну модель послідовного застосування (рис. 2.1).

На схемі позначено діючі стандарти, застарілі, що потребують оновлення, а також перспективні стандарти, необхідність яких обумовлена розвитком сучасних методів тривимірного сканування та результатами експериментальних досліджень у сфері антропометрії.



Рис.2.1. Структура нормативного забезпечення

Зазначену структуру зручно представити у вигляді квадратної матриці, що вказує рівні і глибину опрацювання нормативної документації. З огляду на

рис.2.2, можна по кожному рядку і стовпцю вказати ступінь розробленості рівня або глибини опрацювання системи стандартів.

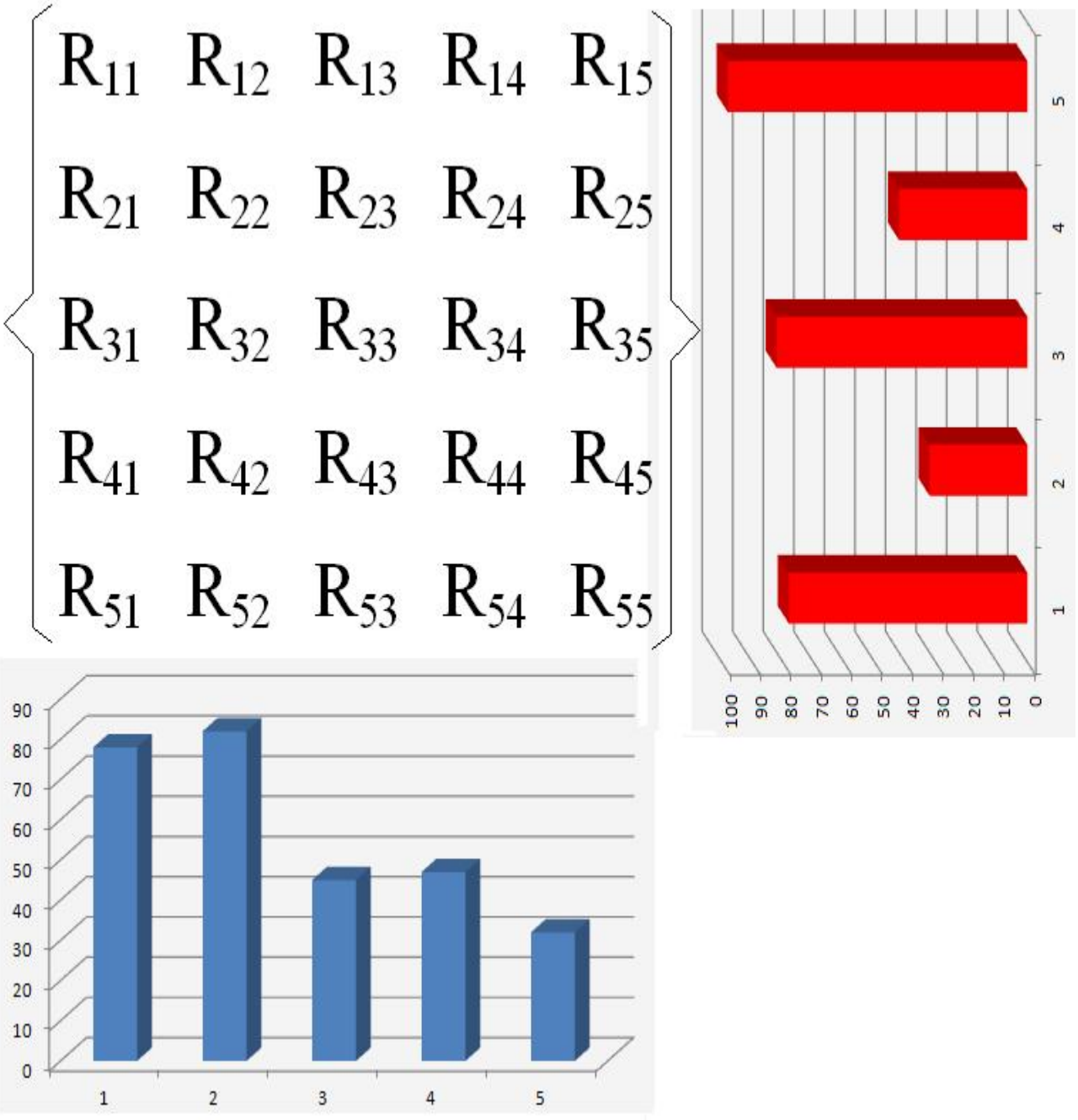


Рис.2.2. Структура нормативного забезпечення у вигляді матриці

У цьому випадку ступінь відповідності кожного нормативного документа зі схеми 2.1 може бути розглянутий, як твір відповідної рядка на стовпець. В результаті матриця забезпечення антропометричних вимірів у числовому виразі має вигляд.

$$R = \begin{matrix} 0{,}764 & 0{,}328 & 0{,}64 & 0{,}25 & 0{,}608 \\ 0{,}804 & 0{,}344 & 0{,}672 & 0{,}262 & 0{,}64 \\ 0{,}441 & 0{,}189 & 0{,}369 & 0{,}144 & 0{,}351 \\ 0{,}461 & 0{,}197 & 0{,}385 & 0{,}15 & 0{,}367 \\ 0{,}314 & 0{,}134 & 0{,}262 & 0{,}102 & 0{,}25 \end{matrix} \quad (2.1)$$

Отримані результати показують ступінь нерозробленості нормативного забезпечення різних рівнів та необхідність їх вдосконалення.

2.2 Оцінка похибки вимірювання розмірів експертним методом

Мета цієї роботи передбачає проведення комплексних вимірювань розмірних ознак різними методами. Як буде показано у другому розділі, найбільш доцільним є застосування безконтактних методів вимірювання. Водночас точність використання таких методів раніше не досліджувалася.

Традиційно при антропометричних дослідженнях застосовують контактні методи, зокрема вимірювальні стрічки, ростоміри, циркулі для товщини та ширини. Використання цих методів вимагає високої кваліфікації й може самостійно вносити похибки.

Метою цього підрозділу є розробка методики прогнозування похибок вимірювання розмірних ознак групою експертів для подальшого застосування при оцінюванні похибок безконтактних кінект-систем.

При проведенні антропометричних досліджень одним із ключових результатів є визначення ймовірнісного розподілу виникнення конкретних розмірних ознак. Загальноприйнятою є гіпотеза про нормальний розподіл цих ознак.

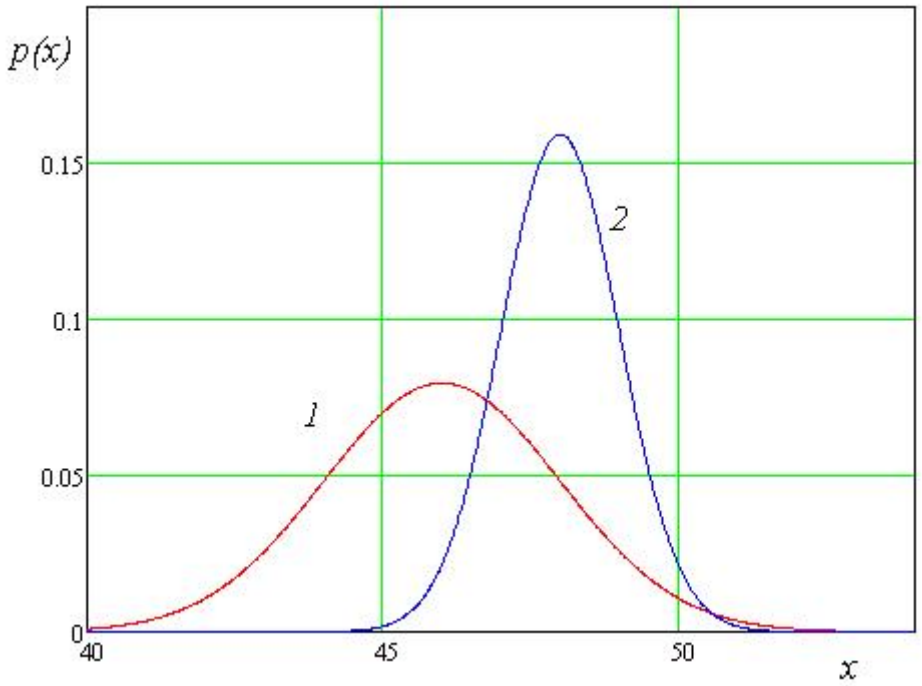


Рис.2.3. Щільність розподілу ймовірності розмірної ознаки. 1 – реальна, 2 - ймовірність точного визначення групою експертів

Експеримент буде організовано наступним чином: група респондентів підлягає вимірюванню командою експертів, причому кожен експерт вимірює кожного респондента.

У результаті можна отримати два типи розподілів: розподіл розмірних ознак, визначений кожним експертом окремо, та розподіл розмірних ознак конкретного респондента, визначений усією групою експертів.

При цьому можуть виникати два види похибок, які схематично зображені на рис. 2.4.

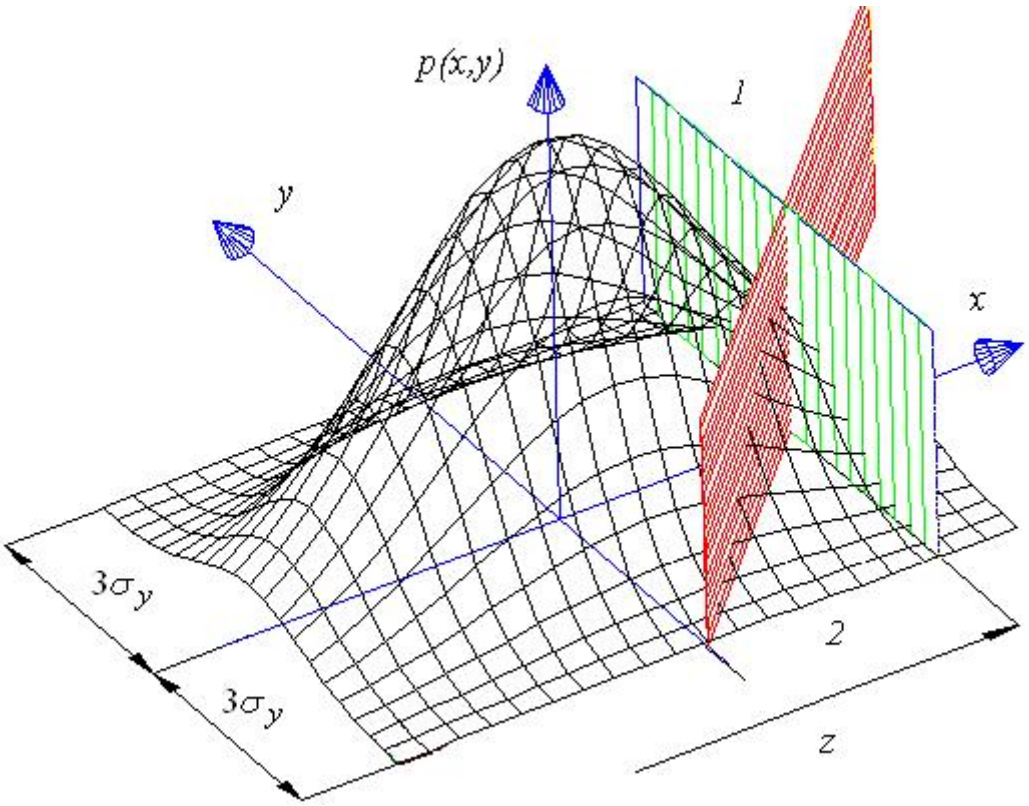


Рис.2.4. Розподіл розмірних ознак, отримане групою експертів

Зона 1 визначає ймовірність неправильного вимірювання розміру в бік його збільшення. Назвемо це похибкою першого роду. Зона 2 визначає ймовірність неправильного визначення розміру в бік зменшення.

У загальному вигляді залежність двовимірного нормального розподілу виглядає так

$$ц(x,y) = \frac{1}{2p y_x y_y \sqrt{1-c^2}} \; exp - \frac{1}{2(1-c^2)} \left(u_x^2 - 2c\; u_x\; u_y + x_y^2\right), \qquad (2.2)$$

де $u_x = \frac{x_i - \bar{x}}{y_x}$, $u_y = \frac{y_i - \bar{y}}{y_y}$,

$\bar{x}, \bar{y}$ - фактичне середнє значення розмірного ознаки та відхилення від нього виміряного значення,

y_x^2, y_y^2 - середні квадратичні відхилення від фактичного середнього значення розмірного ознаки і від фактичного значення ознаки при вимірі відповідно,

$$c = \frac{M_{xy}}{y_x \; y_y}$$

$$M_{xy} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}}{n},$$

n – кількість вимірів.

Створимо систему координат XY з центром у точці , що відповідає середньому значенню контрольованого параметра (малюнок 2).

$$z = \frac{X_{max}}{y_x}, \qquad s = \frac{y_y}{y_x}. \tag{2.3}$$

$$\tilde{x} = \frac{X}{y_x}, \;\; \tilde{y} = \frac{Y}{y_y}. \tag{2.4}$$

Обєм фігури I и I' (рисунок 4),

$$F_I(s,z,c) = \frac{s}{2p\sqrt{1-c^2}} \int_{0}^{z} \int_{z-\tilde{x}} exp - \frac{s\left(\tilde{x}^2 - 2c\;\tilde{x}\;\tilde{y} + \tilde{y}^2\right)}{2\left(1-c^2\right)}\, d\tilde{y} d\tilde{x} \tag{2.5}$$

Обєм фігури II и II'

$$F_{II}(s,z,c) = \frac{s}{2p\sqrt{1-c^2}} \int_{0}^{z-\tilde{x}} \int_{z} exp - \frac{s\left(\tilde{x}^2 - 2c\;\tilde{x}\;\tilde{y} + \tilde{y}^2\right)}{2\left(1-c^2\right)}\, d\tilde{y} d\tilde{x} \tag{2.6}$$

Нами були проведені пробні вимірювання групою експертів з 27 осіб, вимірювання розмірних ознак своєї групи респондентів. Проведення аналізу за вищенаведеною методикою показало похибка вимірювання групою експертів основних розмірних ознак (ріст 0,5%, обхват грудей третій - 2,1%, обхват стегон -1,4%), які демонструють можливість зіставлення показників вимірювання цієї групи експертів в якості базових показників при визначенні похибки вимірювання kinnect системами.

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗКОНТАКТНИХ ТРИВИМІРНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРНИХ ПАРАМЕТРІВ ТІЛА ЛЮДИНИ

3.1 Визначення розмірів поверхні за допомогою профілографа

Для оцінки ефективності перспективних безконтактних методів було проведено вимірювання складної поверхні манекена за допомогою горизонтального профілографа.

У цьому випадку визначаються значення радіус-векторів поверхні на різних висотах у циліндричній системі координат.

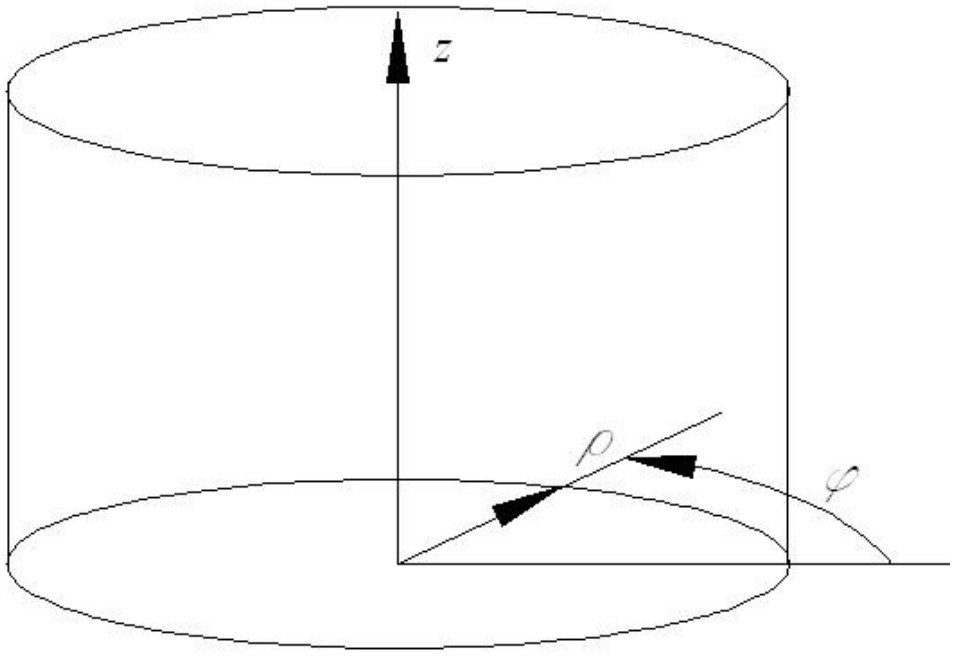


Рис.3.1. Цилиндрична система координат

Вимірюючи довжину спиць, можна знайти параметри поверхні на різній висоті. Дані по вимірюванню радіус-векторів манекена наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Радіус вектори поверхні манекена

φ		5	0	5	0	5	0	05	20	35	50	65	80
	5	00	10	20	25	10	30	35	35	35	40	30	35
00	5	095	10	15	20	15	25	40	35	40	45	35	40
00	05	05	10	10	20	15	25	40	30	30	30	10	25
00	0	00	00	05	05	0	5	00	00	0	5	0	5
00	5	10	20	25	05	05	10	10	10	10	10	0	5
00	10	15	05	20	40	45	80	80	50	20	10	5	0
00	5	5	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0

Окремі перетину поверхні можна моделювати у програмі тривимірного моделювання методами сплайн інтерполяції, при цьому типові перерізу будуть мати вигляд (рис.3.2)

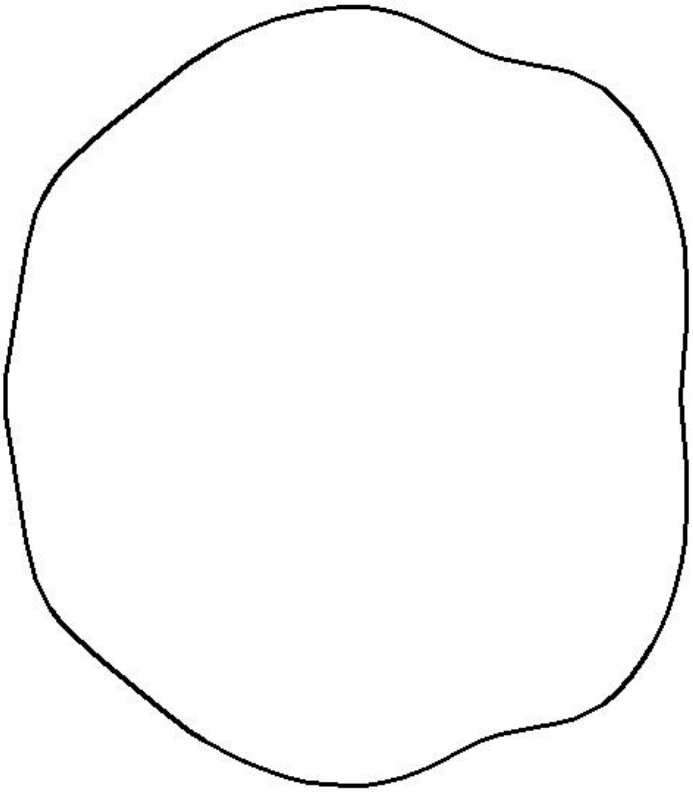


Рис.3.2. Перетин поверхні, виконане методами сплайн інтерполяції

Зображення ряду перерізів на різній висоті дає зображення, подібне рис.3.3.

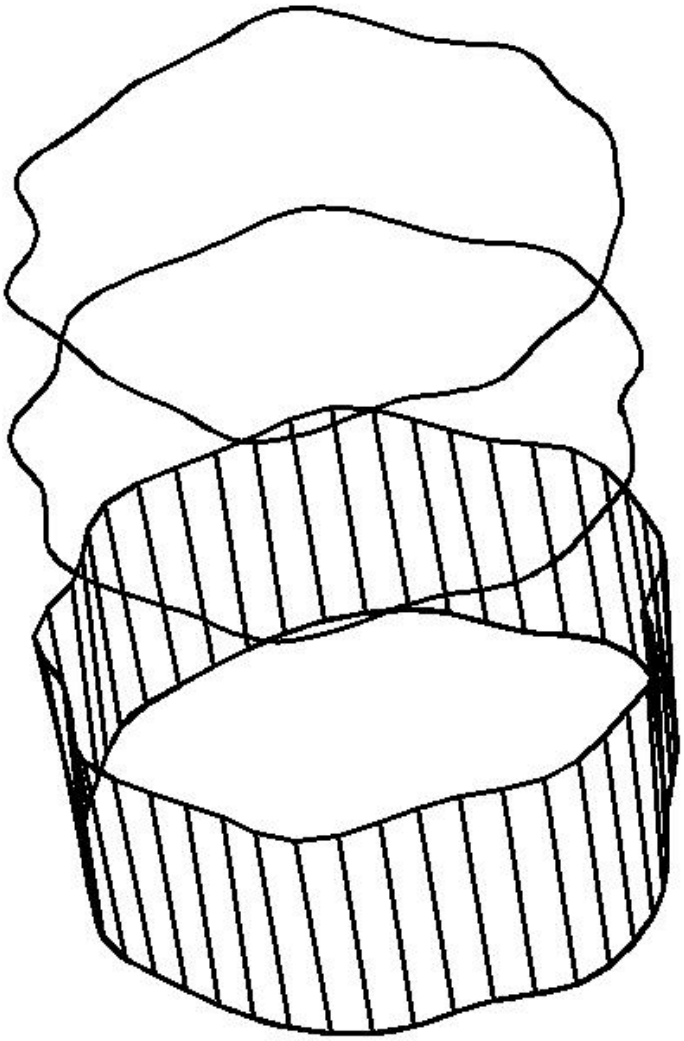


Рис.3.3. Зображення ряду перерізів поверхні

Після з'єднання окремих перетинів можна отримати віртуальне зображення поверхні (рис.3.4), яке в подальшому будемо розглядати в якості базового. Такі дії досить трудомісткі. Вони дають можливість побудувати віртуальну поверхню, а також знайти необхідні розмірні ознаки, однак час для реалізації даних дій значно. Очевидно, даний метод може бути розглянутий, як базовий, але не може застосовуватися в масових дослідженнях.

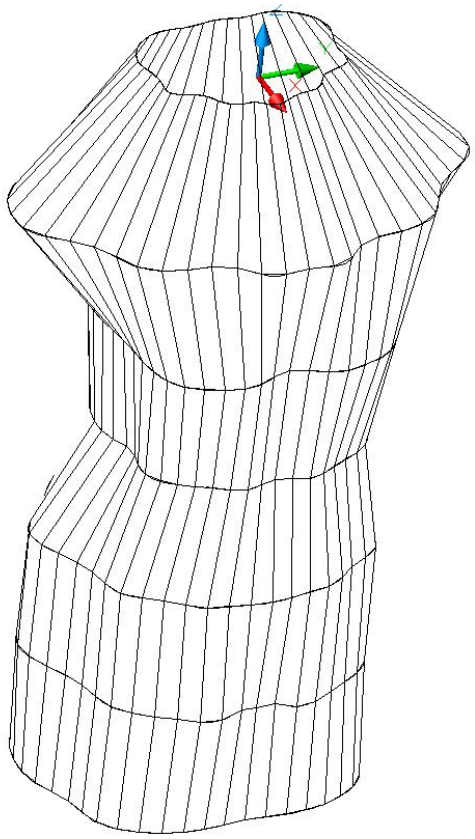


Рис.3.4. Віртуальне зображення базової поверхні

Надалі дані результати будемо використовувати для порівняння. Поки спробуємо їх застосувати для побудови розгортки поверхні плечової області. Виділимо ділянки поверхні так, як показано на рис. 3.5.

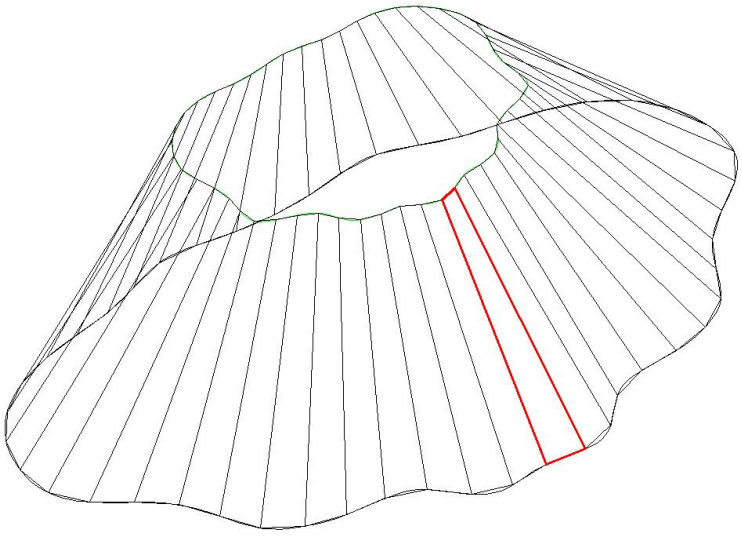


Рис.3.5. Виділення елемента поверхні

Введемо позначення точок елемента так, як показано на рис. 3.6

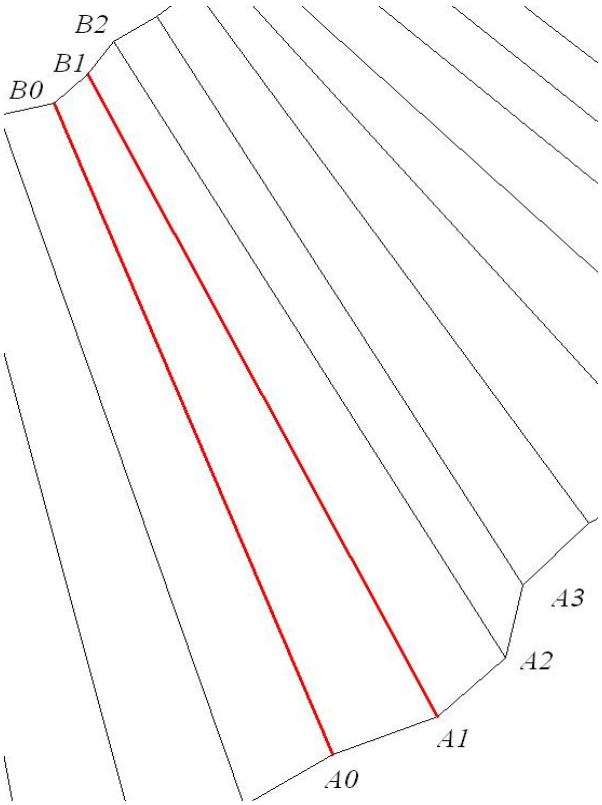


Рис.3.6. Визначення координат точок поверхні

Довжини нижніх горизонтальних ділянок

$$L_0 = \sqrt{\left(xA_{i+1} - xA_i\right)^2 + \left(yA_{i+1} - yA_i\right)^2 + \left(zA_{1+i} - zA_i\right)^2} \qquad (3.1)$$

Довжини верхних горизонтальних ділянок

$$L_1 = \sqrt{\left(xB_{i+1} - xB_i\right)^2 + \left(yB_{i+1} - yB_i\right)^2 + \left(zB_{1+i} - zB_i\right)^2} \qquad (3.2)$$

Довжини вертикальних ділянок

$$L_2 = \sqrt{\left(xB_i - xA_i\right)^2 + \left(yB_i - yA_i\right)^2 + \left(zB_i - zA_i\right)^2} \qquad (3.3)$$

Довжини діагоналей

$$L_3 = \sqrt{\left(xB_{i+1} - xA_i\right)^2 + \left(yB_{i+1} - yA_i\right)^2 + \left(zB_{i+1} - zA_i\right)^2} \qquad (3.4)$$

Після чого поверхня може бути розгорнута методом тріангуляції [175, 176]. Розгортка може мати вигляд (рис.3.7).

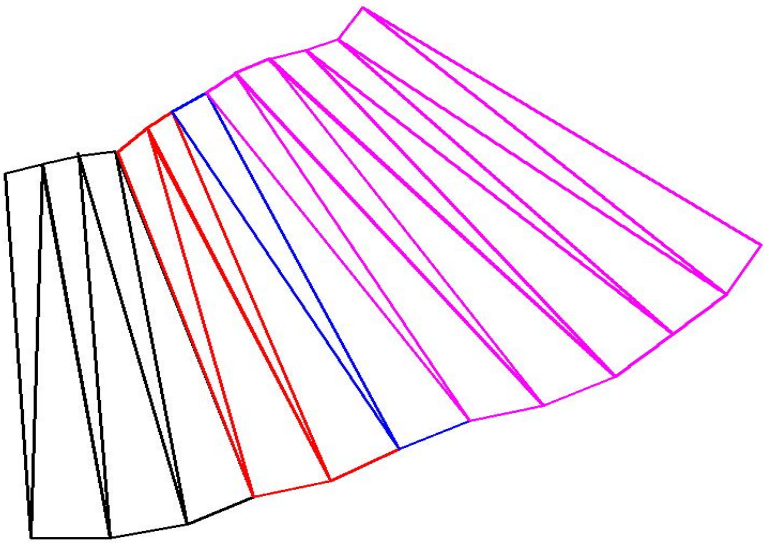


Рис.3.7. Розгортка частини поверхні

В результаті даного підрозділу можна визначати будь-які розміри складної поверхні, будувати віртуальні зображення, розробляти розгортки поверхонь, на підставі чого визначати розмірні ознаки для їх оформлення в якості базових для подальшого порівняння безконтактними методами.

3.2 Методика побудови просторових зображень

Як показано в попередньому пункті, контактні методи вимірювання займають значний час і не підходять для масового використання. Існуючі технології тривимірного сканування поки що залишаються дорогими і потребують обґрунтованого застосування в антропометричних дослідженнях. Водночас з’явилися недорогі Kinect-системи, які спочатку використовувалися як безконтактні контролери для ігор.

Застосування таких систем у поєднанні зі спеціалізованим програмним забезпеченням дозволяє відновлювати віртуальну поверхню об’єкта. Проте дослідження точності відтворення цієї поверхні майже не проводилися, що обмежує їх використання в антропометрії. Використання Kinect-систем є

економічно доступним, але висуває певні вимоги до комп'ютерного обладнання. Згідно з нашим досвідом, основні вимоги такі:

- відеопам'ять не менше 1 Гб;
- операційні системи Embedded Standard, Windows 8 або Windows 8.1;
- 64-розрядний процесор (x64);
- оперативна пам'ять 4 Гб або більше;
- двоядерний процесор з тактовою частотою не менше 3,1 ГГц;
- контролер USB 3.0 для Kinect-датчика;
- відеоадаптер із підтримкою DX11.

Сканування проводиться за допомогою Kinect Xbox. Спочатку встановлюються драйвери Kinect та безкоштовна програма ReconstructMe. Для первинного редагування просторового зображення і конвертації у потрібний формат використовується MeshLab, а для остаточного редагування — ліцензійна версія AutoCAD 2013.

Після налаштування фокусу об'єкт обертається навколо своєї осі для отримання тривимірного зображення в ReconstructMe, яке зберігається у форматі OBJ для подальшої роботи в MeshLab. У безкоштовній версії програми можуть з'являтися зайві елементи, що видаляються командою filter_select.dll. Після цього файл конвертується в універсальний формат DXF, сумісний із потужними 3D-графічними програмами.

У даному дослідженні обробка файлу проводилася в AutoCAD 2013. У вкладці «Вид» перевіряється, щоб поверхня розташовувалася без нахилів і зсувів; при необхідності виконується корекція за допомогою відповідних функцій програми (рис. 3.8).

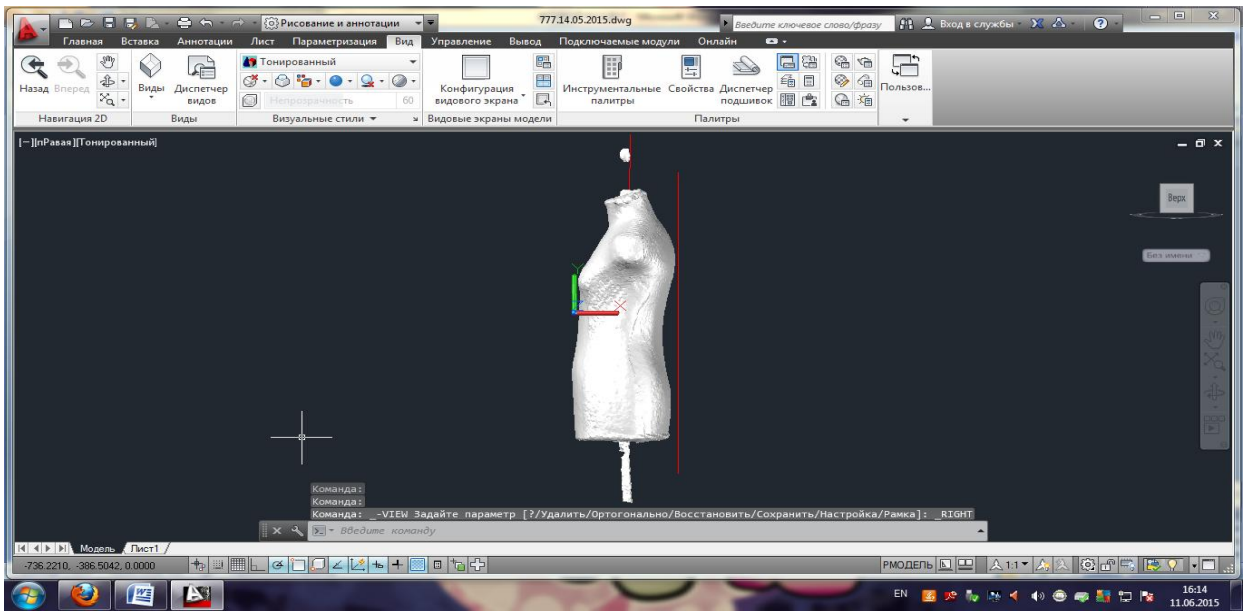


Рис.3.8. Корректировка расположения сканированной поверхности

Отже, манекен вирівняний по всіх площинах. Після цього можна приступати до безпосереднього моделювання. Спочатку необхідно визначити січні площини на поверхні манекена. Виносячи їх у бік за допомогою інструменту «Полілінія», ми відображаємо їх периметр для візуального сприйняття «зверху». Подібним чином створюються всі інші січні та обхвати. Для зручності окремі перетини тимчасово виділяються кольором.

Після завершення цього етапу слід перейти у режим «3D-моделювання». Використовуючи інструмент «За перетином» у вкладці «Поверхня», усі перетини об’єднуються послідовно для формування тіла моделі.

Іноді інструмент «За перетином» не працює. Це може бути з двох причин: 1) лінії січних не замкнуті, 2) на кожній січній надто багато вершин. У першому випадку слід уважно перевірити січні у збільшеному масштабі та усунути розрив. У другому випадку на поверх кожної січної створюється додаткова замкнута полілінія з меншою кількістю вершин. Аналогічним чином опрацьовуються всі інші перетини, після чого за вже існуючим алгоритмом будується повна 3D-модель тіла (рис. 3.10).

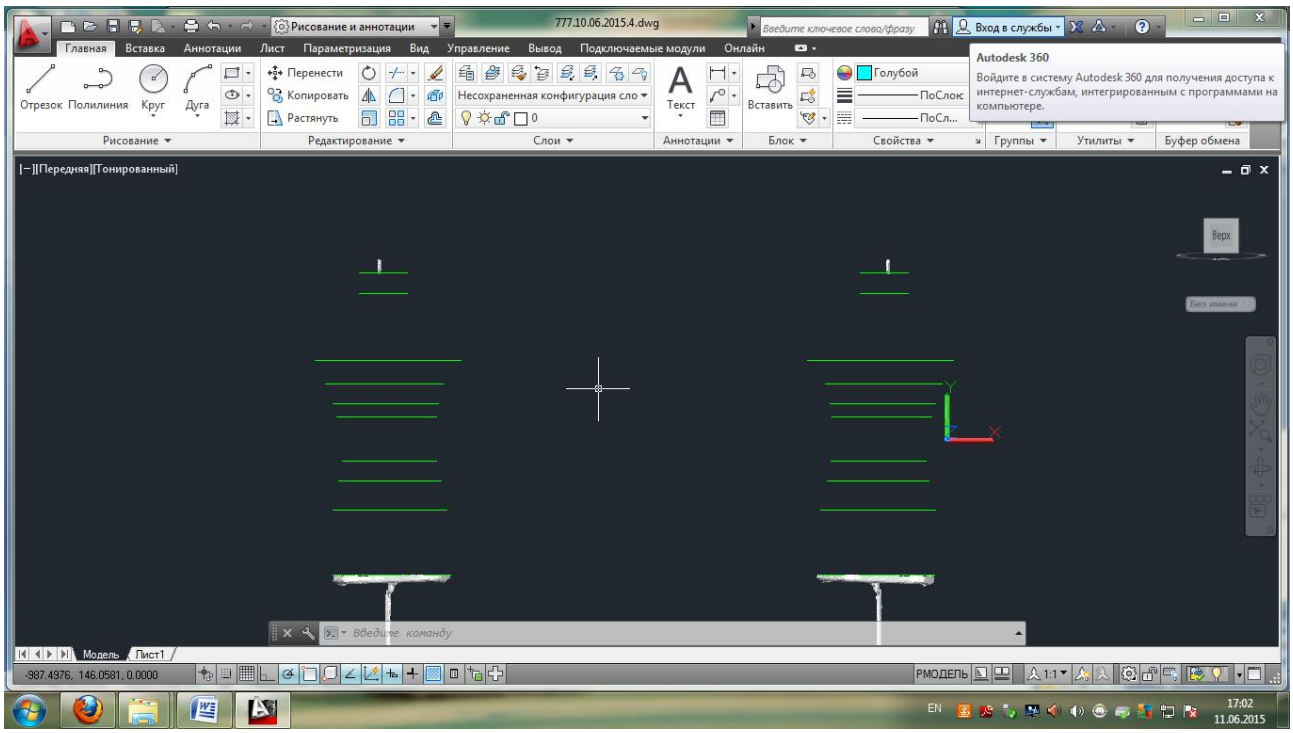


Рис.3.10. Розбиття поверхні на перерізу

Неважко переконатися, що в пункті 2.1 нами застосований метод синтезу, коли з окремих вимірювань нами отримана ціла поверхню, а в пункті 2.2 метод аналізу, коли з поля точок, сканованих кінект системою отримано ряд перетинів поверхні.

Зіставлення вимірювань, проведених за допомогою кінект вашої системи і за допомогою горизонтального профілографа дає відхилення. Якщо за базове значення прийняти радіус вектор, визначений профілографи ρр, значення для порівняння - радіус вектор, знайдений кінект системою ρк, відносну похибку вимірювань будемо визначати, як

$$\delta = \frac{\rho_p - \rho_k}{\rho_p} 100\% \quad . \qquad (3.5)$$

Таблиця 3.2

Відхилення безконтактного методу від контактного

φ		5	0	5	0	5	0	05	20	35	50	65	80
	,47	,58	,84	,68	,29	,59	,47	,00	,43	0,48	0,11	,49	,28
00	,21	,05	,58	,77	0,34	,32	,25	,00	,83	,41	,24	,33	0,19
00	0,65	,51	,46	,40	0,08	,92	,30	,92	,00	0,24	,93	0,11	,05
00	,09	,92	,16	,60	,46	,14	,33	,49	,88	,09	,38	,99	,66
00	,65	,18	,51	,09	,94	,28	,47	0,29	,88	,42	,27	,58	0,47
00	,62	,74	,32	,19	,02	,86	,19	,15	,38	,06	,14	,78	,11
00	0,02	,74	,12	,80	,55	,82	,99	,67	,49	,52	,65	0,87	,06

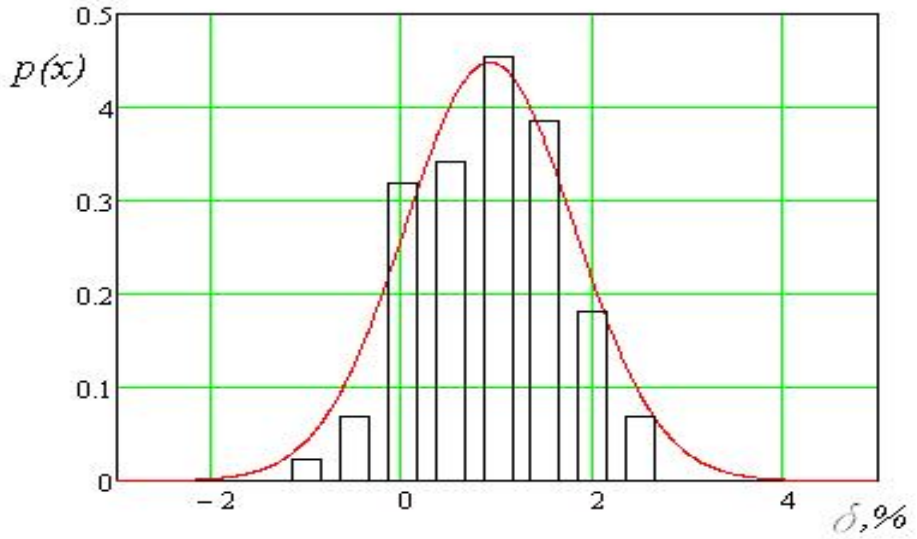


Рис.3.11. Порівняння гістограми відхилень контактного і безконтактного вимірювання з нормальним розподілом

Математичне сподівання для системи вимірювань може бути знайдено, як сума всіх значень, деоенное на колическтво вимірювань μ = 0,78%, Дисперсія системи вимірювань D = 0,35, середньоквадратичне відхилення σ = 0,59. Використання правила трьох сигм дає точність застосування кінект ситем при вимірюванні поверхні.

3.3 Проведення вимірювань розмірних ознак з допомогою контактних методів

У процесі експерименту було виміряно 25 респондентів. Дані для розмірних характеристик представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

№п/п	Р	$О_{гш}$	$О_{т}$	$О_{б}$	$О_{пл}$	$О_{зап}$	$Д_{рзап}$	$Д_{сб}$	$Д_{тош}$	$Ш_{с}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	163	88	66	98	28	16	54	106	83	31
3	160	80	58	89	24,5	14	59	104	83	31
4	165	98	80	103	30	16	60	109	83	35
5	170	92	70	95	27	14	62	107	80	32
6	168	90	68	91	27	14,5	59	112	75	38
7	165	108	89	109	35	16,5	59	107	83	39
8	164	80	62	95	27	14	55	107	74	35
9	159	88	68	95	27	14	55	100	77	32
10	166	103	88	104	35	17,5	59	111	82	45
11	169	91	69	101	30	15,5	58	114	80	37
12	173	84	68	96	28	14,5	58,5	114	87	46
13	158	80	64	88	26	14,5	55	103	75	34
14	162	99	85	103	32,5	13,5	58	103	69	35
15	160	86	70	90	26,5	15	56	103	75	35
16	158	79	62	84	25	13	53	97	69	30
17	165	95	84	115	35	15,5	53	110	81	39
18	167	85	68	97	28	14	61	108	80	35

19	168	86	67	99	28	14,5	60	108	82	36
20	160	103	85	106	35	15,5	58	105	83	39
21	165	84	64,5	92	26	14,5	58	112	79	34
22	158	92	75	103	31,5	16	57	102	75	36
23	165	86	68	89	24,5	14	58	108	76	32
24	157	93	74	95	31	15	56	101	80	34
25	174	85	61	95	27	15	62	112	84	35

Дані вимагають значних затарат часу для отримання. Їх точність визначається кваліфікацією і компетенцією людини, який вимірює. Проте в роботі вони потрібні для зіставлення з даними, отриманими безконтактним способом.

Після сканування зображення заноситься в програму MeshLab для обробки і редагування отриманої моделі (рис.3.15).

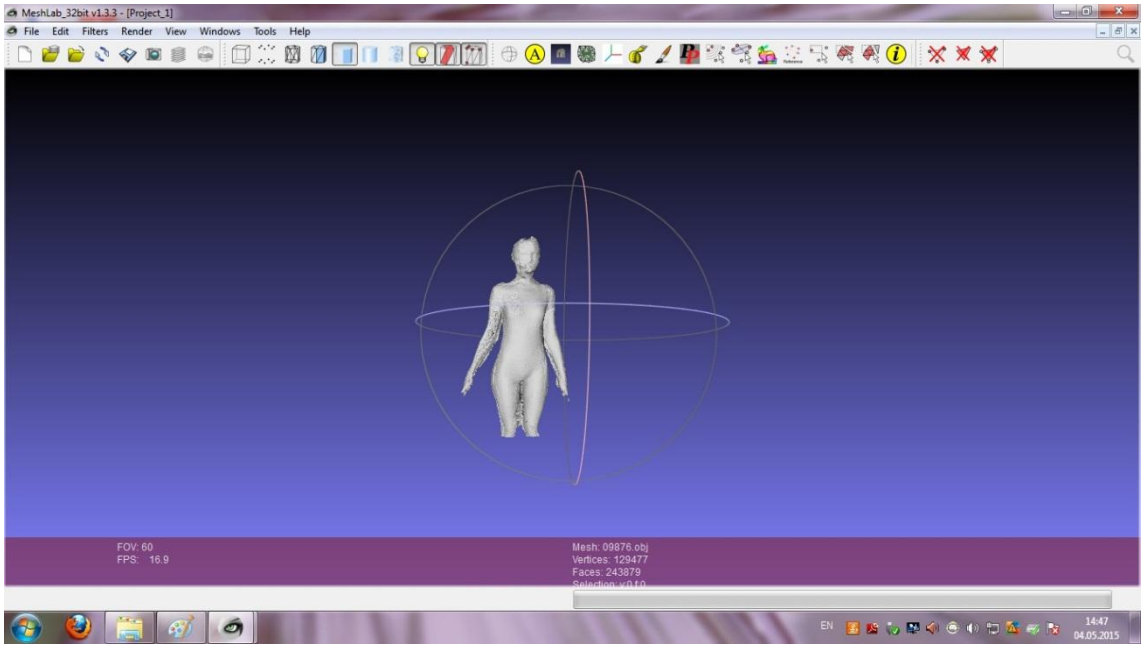


Рис.3.15. Тривимірна модель тіла людини в програмі MeshLab

Зображення зберігається у форматі DXF, який відкривається графічними системами. Нами використовувалася програма обробки графічних зображень AutoCad (рис.3.16).

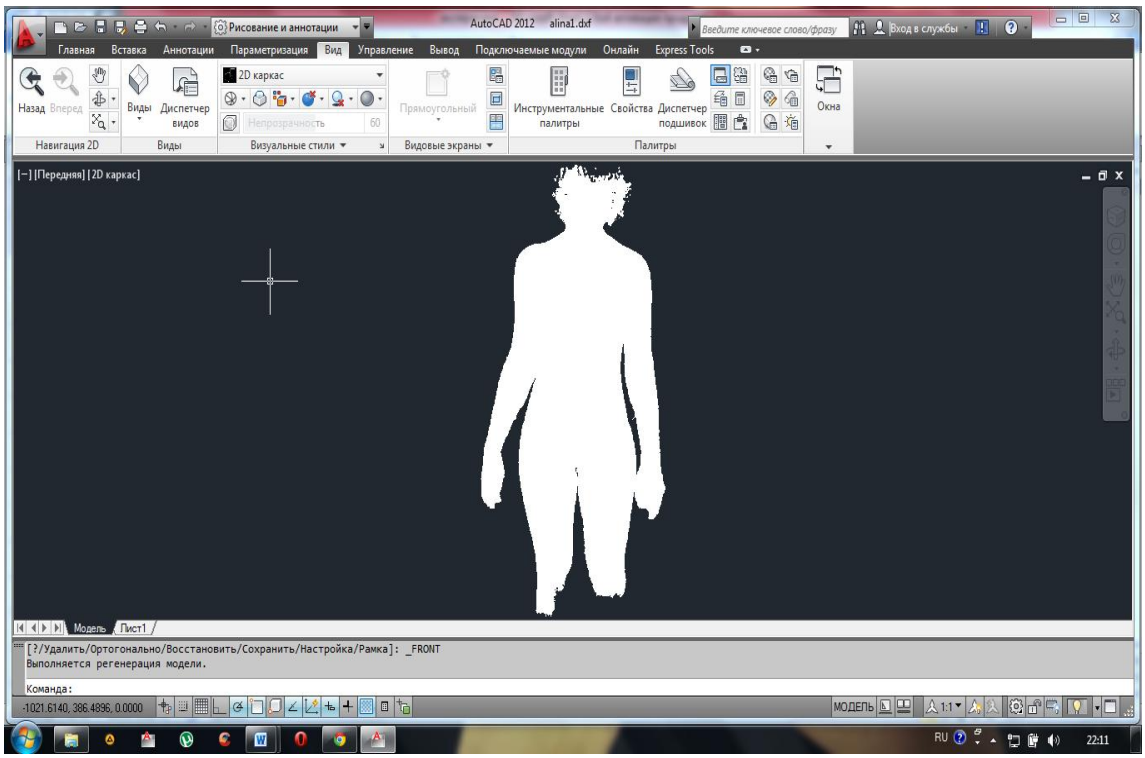


Рис.3.16. Тривимірна модель в програмі AutoCad

Одержання розмірних ознак включало такі етапи. Вимірювання зросту людини проводилося складанням довжини ноги і довжини тулуба (рис.3.17)

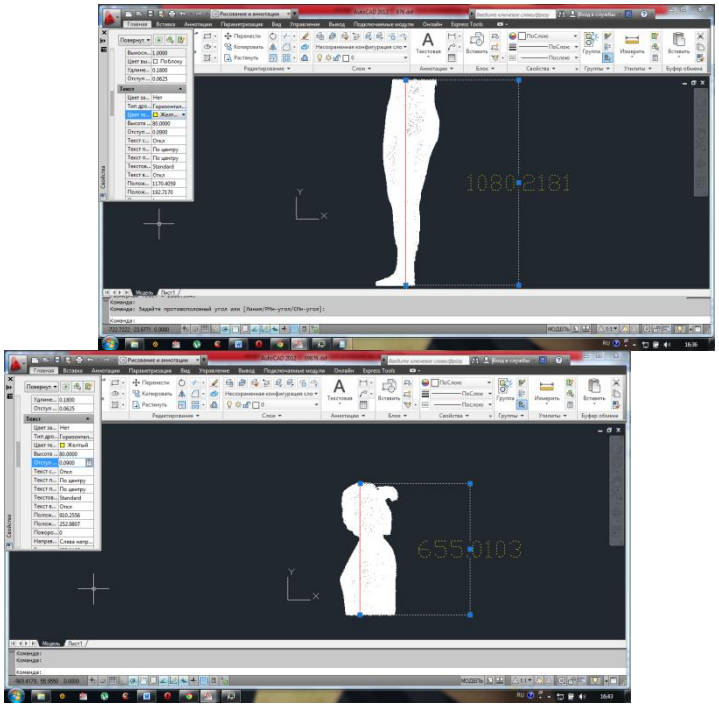


Рис.3.17. Визначення зростання на основі безконтактних методів

Визначення обхоплювальних розмірних ознак є більш складним завданням. Для визначення розмірного показника «Обхват грудей третій» спочатку визначається лінія грудей, яку відзначають за допомогою інструменту «Відрізок». Частини зображення за межами цього відрізка видаляються. Слід зазначити, що масив точок, що формує зображення, складається з 2–3 млн точок, для кожної з яких фіксуються три координати, колір та інші характеристики, що ускладнює безпосередню роботу з усім масивом даних.

Видаляючи непотрібні ділянки поза вимірюваною областю, можна суттєво зменшити обсяг даних, що покращує умови для визначення розмірів. Отримане перетинання являє собою хаотично розташований набір точок. Методи їх упорядкування та автоматизованої обробки будуть описані далі. Поки варто відзначити, що безпосереднє використання такого набору точок ускладнене.

При розгляді перетину у вікні «Вид згори» можна за допомогою графічного редактора обвести точки, використовуючи графічний примітив «Полілінія», уточнивши при цьому порядок і вид вимірювань (рис. 3.18). Полілінія є єдиним суцільним об’єктом, що може складатися з довільної кількості відрізків і дуг. У діалоговому вікні «Властивості» відображаються параметри цієї полілінії, яка в даному випадку визначає обхват грудей.

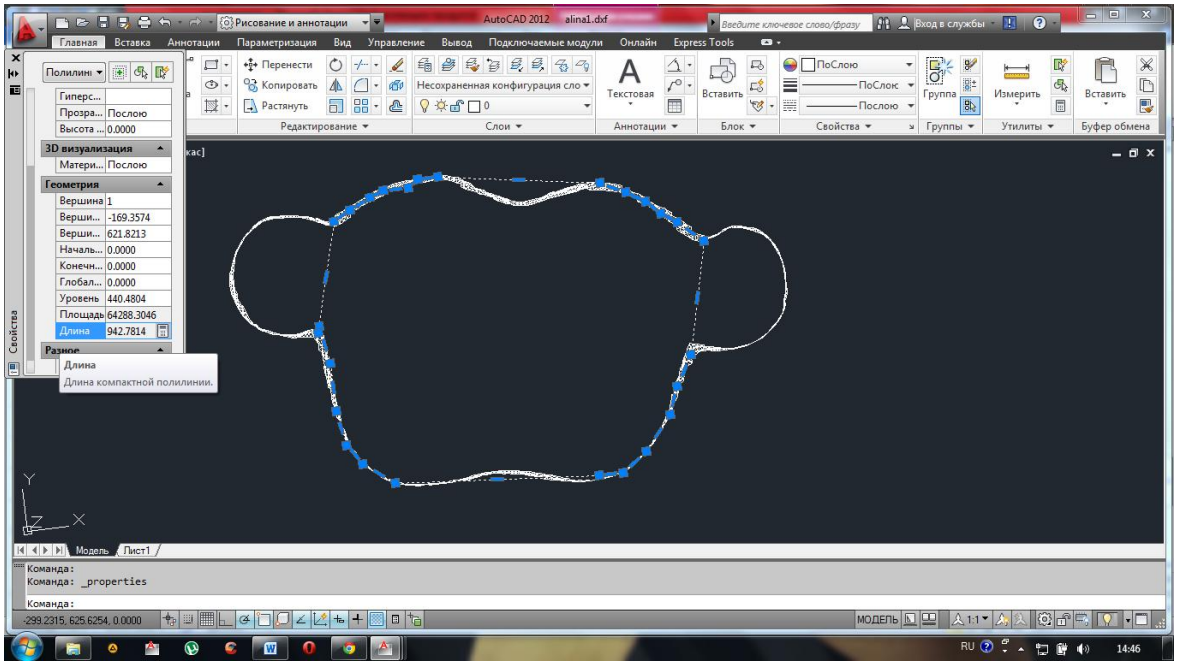


Рис.3.18. Визначення обхвату грудей засобами графічного редактора

Аналогічно може бути визначений обхват талії (рис.3.19), обхват стегон (мал.3.20), обхвату плеча (рис.3.21) і інших розмірних ознак.

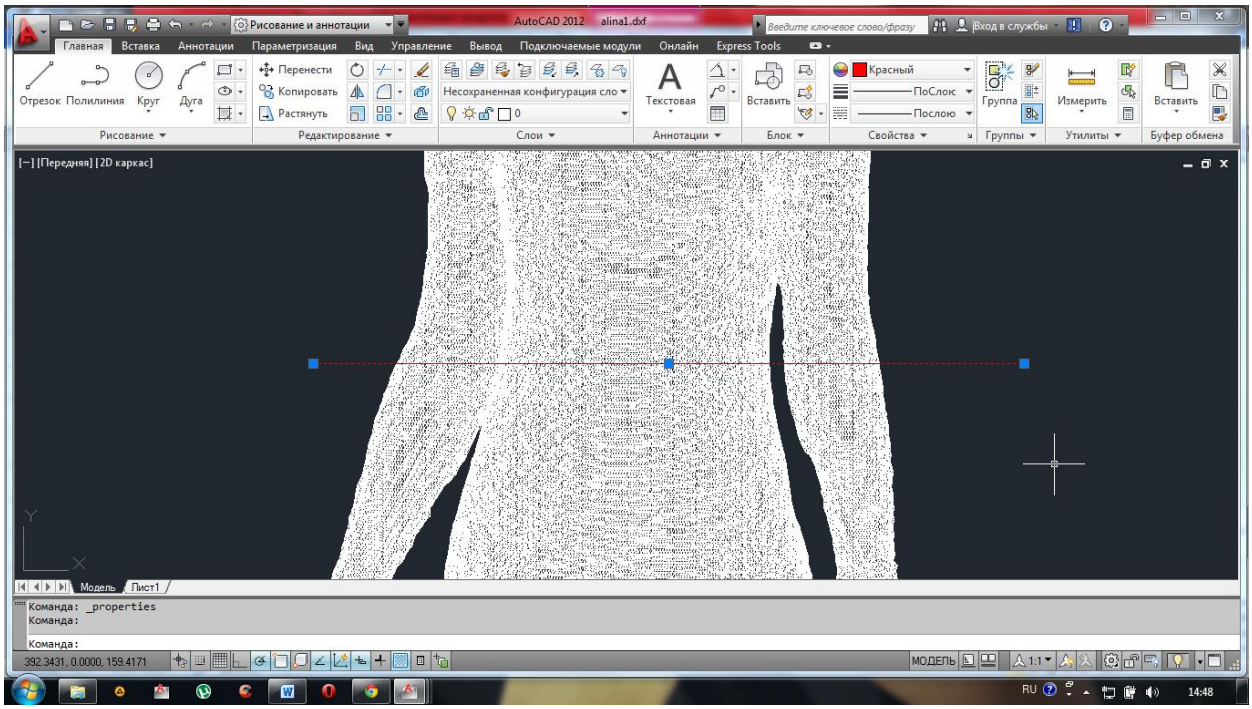


Рис.3.19. Определение обхвата талии

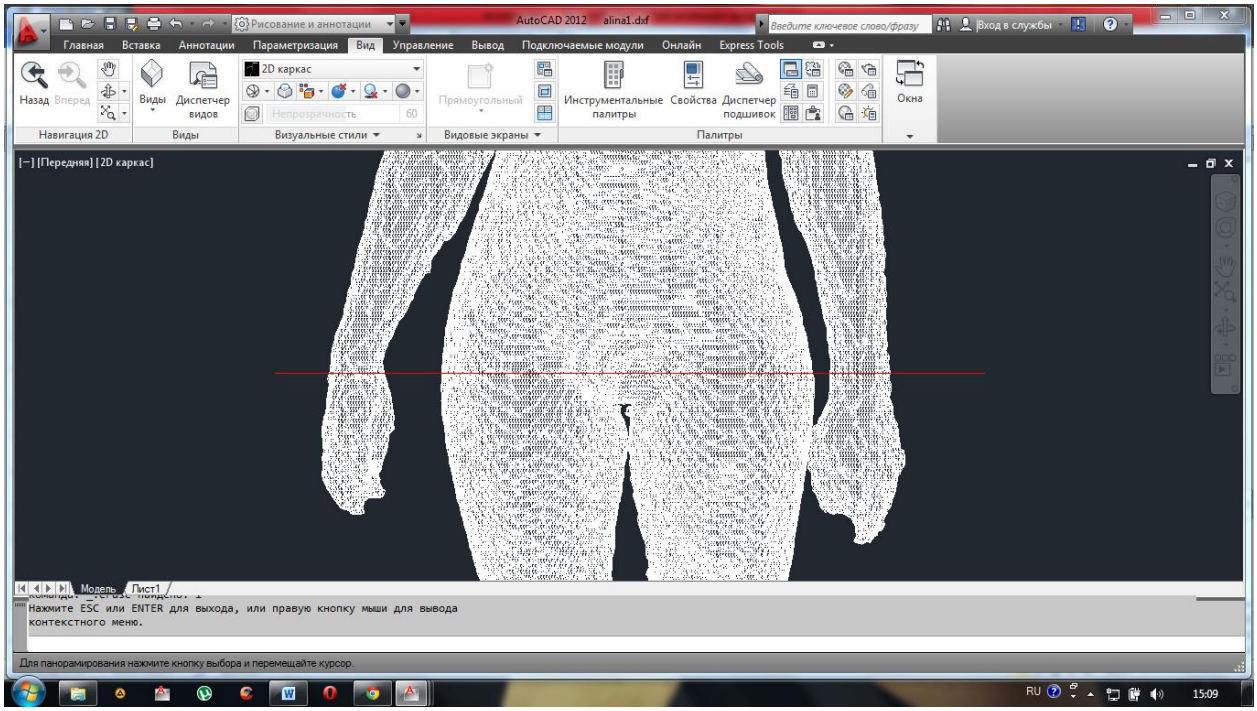


Рис.3.20. Определение обхвата бедер

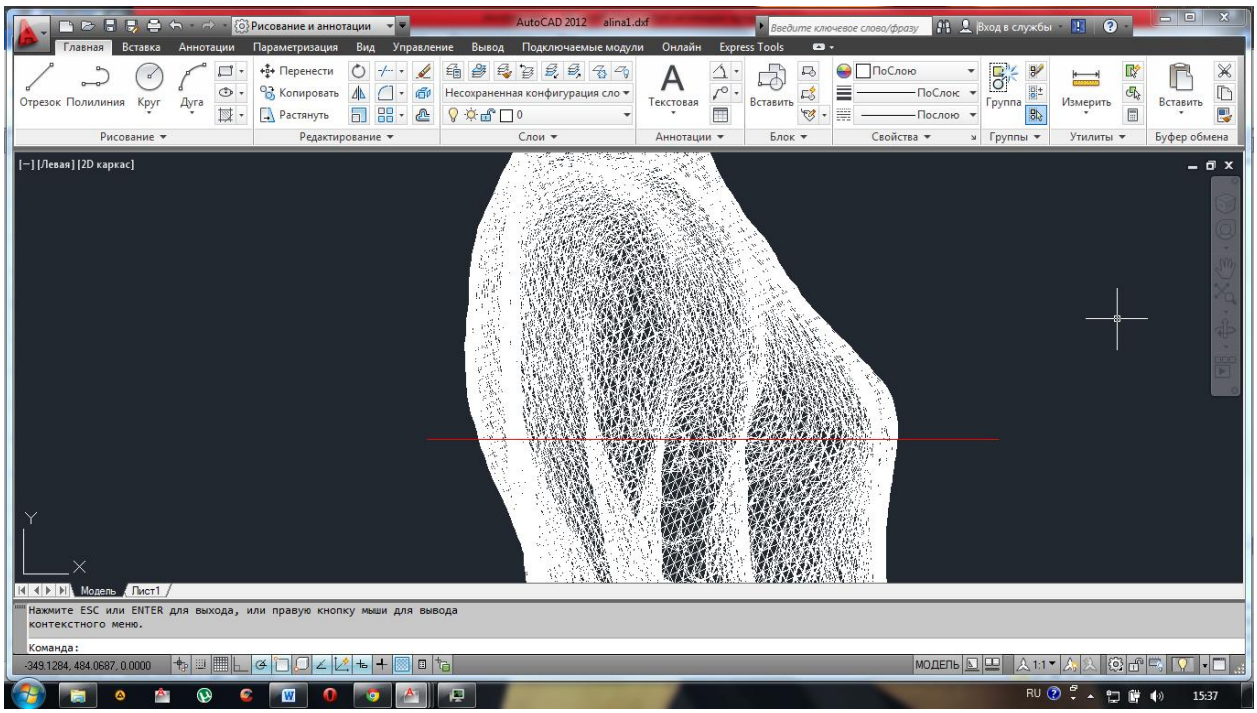
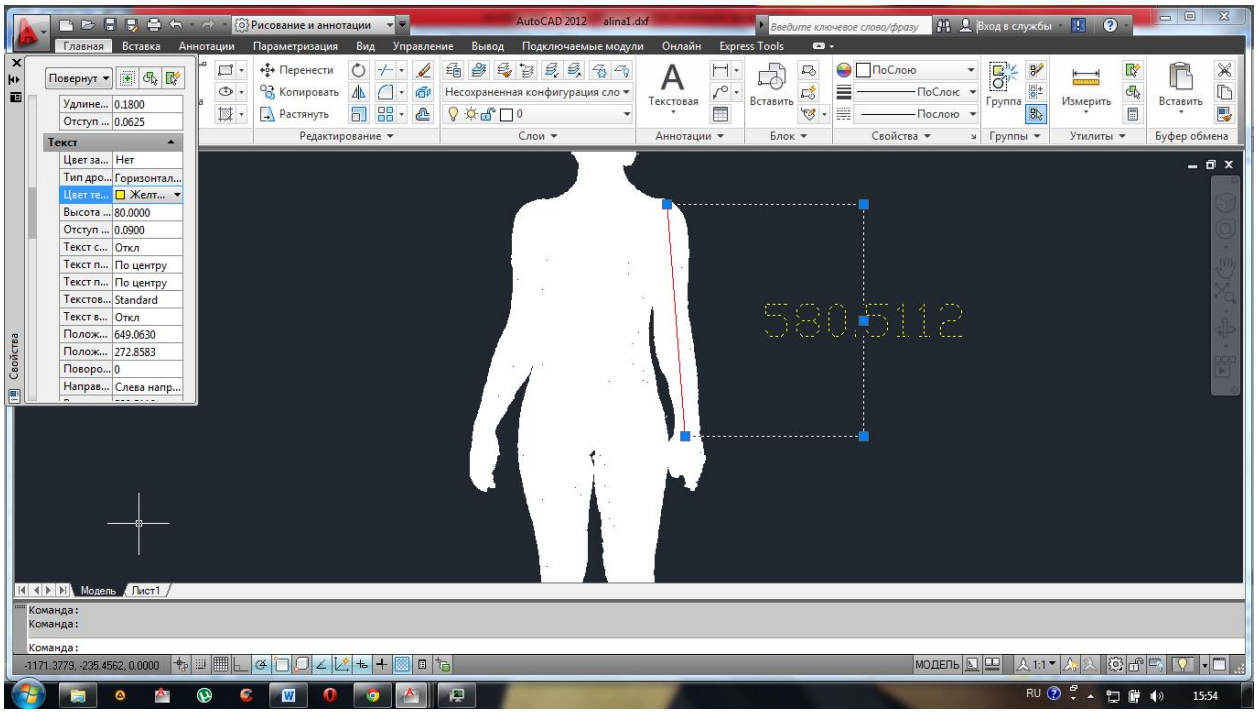


Рис.3.21. Визначення обхвату плеча

Аналогічними способами визначаємо лінійні розміри (наприклад, довжину руки до зап'ястя - рис.3.22).



Рic.3.22. Визначення довжини руки

Методика визначення розмірів, що передбачає вимірювання відстаней між антропометричними точками через виступаючі частини тіла, має свої особливості. Прикладом такої розмірної ознаки є відстань через плече від передньої до задньої лінії талії (ознака Дтош). Для її визначення спочатку позначають лінію талії відрізком та переміщуються в положення «Права частина». Потім за допомогою полілінії з'єднують зазначені точки на талії, проводячи її по виступаючих частинах тіла через плече (рис. 3.23).

У графічних редакторах існує функція визначення довжини полілінії, а через властивості можна обчислити довжину дуги від передньої до задньої лінії талії безконтактним методом. Подібними способами можна визначати будь-які інші розмірні ознаки.

Основною перевагою цього підходу є розділення ролей оператора та вимірюваного: кваліфікація оператора потрібна лише на етапі позначення розмірів, тоді як процес масового зняття розмірів безконтактним методом не потребує високої кваліфікації. Разом із тим, такий процес займає значний час і потребує подальшої автоматизації для підвищення ефективності.

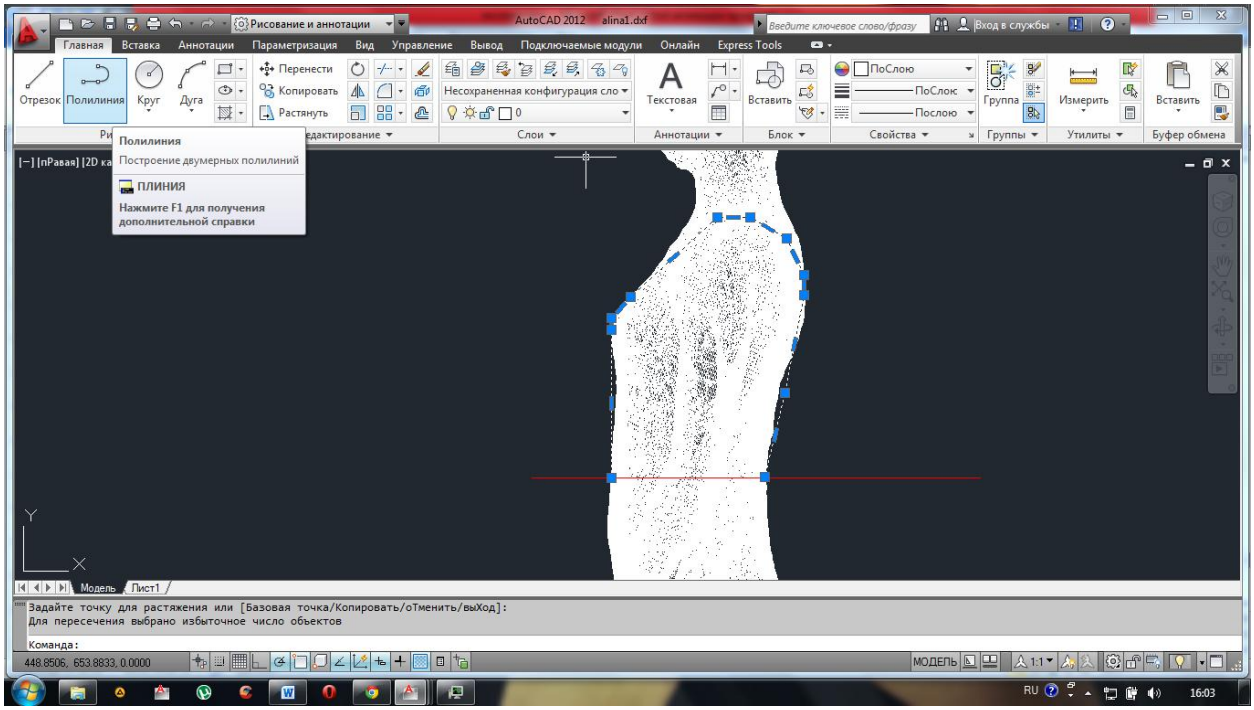


Рис.3.23. Визначення довжини дуги від лінії талії спереду до лінії талії ззаду

Таблиця 3.4

Розмірні характеристики, отримані безконтактним методом

№п/п	Р	$О_{гШ}$	$О_{т}$	$О_{б}$	$О_{пл}$	$О_{зап}$	$Д_{рзап}$	$Д_{сб}$	$Д_{тош}$	$Ш_{с}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	173	94	77	99	29	16	58	108	85	32
2	163	100	82	107	34	20	58	104	85	36

Були визначені відхилення різних розмірних ознак в сантиметрах і відсотках. Відхилення при измерених контактними і безконтактними способами наведені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5

Отклонения бесконтактного метода измерения

Размерный признак	Эксперимент 1, контактный	Эксперимент 1, бесконтактный способ	Отклонение, см	Отклонение в %	Эксперимент 2, контактный	Эксперимент 2, бесконтактный способ	Отклонение, см	Отклонение в %
1	2	3	4		5	6	7	
Р	170	173	+3	1,01	163	163	0	0
$О_{гШ}$	92	94	+2	1,02	98	100	+2	1,02
$О_{т}$	74	77	+3	1,04	80	82	+2	1,03
$О_{б}$	96	99	+3	1,03	104	107	+3	1,03
$О_{пл}$	27	29	+2	1,1	31	34	+3	1,1
$О_{зап}$	14	16	+1	1,2	15	16	+1	1,1
$Д_{рзап}$	58	58	0	0	58	58	0	0
$Д_{сб}$	108	108	0	0	105	105	0	0
$Д_{тош}$	82	85	+3	1,03	83	85	+2	1,02
$Ш_{с}$	32	32	0	0	35	36	+1	1,02

Помилка за даними експериментів не перевищує 2%. Це доводить, що сучасний безконтактний спосіб вимірювання, а саме пристрій Kinekt із залученням сучасних графічних програм раціонально використовувати в індивідуальних і масових вимірах. Таким чином, дані пристрої раціонально використовувати при вдосконаленні антропометричних стандартів, призначених для виробництва одягу.

3.5 Удосконалення методів визначення розмірних ознак за допомогою 3D сканування

Розмірні ознаки тіла людини становлять основний обсяг вихідних даних, необхідних для розрахунку креслень конструкцій швейних виробів. Вони визначаються антропометрією — комплексом методів антропологічних досліджень, що включають вимірювання та опис тіла людини загалом та його окремих частин.

Масові антропометричні дослідження дозволяють оцінювати мінливість ознак у різних групах великої кількості індивідів і порівнювати їх. На основі таких досліджень розробляються стандарти для типових фігур, які слугують основою для конструювання одягу. За даними [177], подібні дослідження рекомендовано проводити кожні 15 років. Вони є трудомісткими, потребують залучення великої кількості виконавців і поки що здійснюються з використанням досить традиційних вимірювальних засобів.

Використання сучасних комп’ютерних технологій здатне суттєво підвищити ефективність таких досліджень. Однією з актуальних задач у дизайні одягу є автоматизація збору інформації про параметри тіла на етапі розробки креслень конструкцій. Об’єднання систем автоматизованого проектування (САПР) з системами автоматичного сканування (САС) фігур та одягу в єдиний вимірювально-проектний комплекс дозволяє інтегрувати всі етапи проектування в одну середу.

Подібні можливості реалізовані у 3D бодісканерах [178], проте ці системи досі досить дорогі. Як правило, 3D-сканери формують хмару точок, що відображає поверхню тіла людини, проте отримання стандартних розмірних ознак із таких даних залишається окремим завданням.

Метою даного підрозділу є розробка методики визначення обхоплювальних розмірних ознак із застосуванням 3D-сканування. В Українській інженерно-педагогічній академії функціонує відносно недорогий 3D-сканер на базі системи Kinect. Дослідження проводяться шляхом обведення вимірюваного об’єкта приладом, при цьому точки фіксуються комп’ютером і відображаються на екрані у вигляді поверхні (рис. 3.24).

Насправді безпосереднє використання отриманих даних ускладнене, оскільки поверхня (рис. 3.24) складається з великої кількості незв’язаних точок — близько двох мільйонів. Навіть сучасні комп’ютери працюють із такими обсягами інформації з труднощами.



Рис.3.24. Поверхня точок, отримана за допомогою 3D сканера

У зв'язку з цим можна поставити ряд завдань по використанню даного пристрою. Перша полягає в побудові реальної поверхні фігури або одягу для

використання в цілях дизайну або подальшого отримання розгорток. Друге завдання - визначення реальних розмірних ознак для реального конструювання.

Займемося поки другим завданням і зосередимося на найбільш складної частини - визначенні обхоплювальної розмірів.

З'ясуємо спочатку, яку інформацію можна витягти з отриманих даних. При збереженні даних з 3D сканера у вигляді DXF файлу, останній можна відкрити за допомогою текстових програм. Кожна точка в ньому виділяється визначником POINT, після чого слід ряд даних (номер, колір і т.д.). Нас найбільше цікавлять координати точок. Так, після визначника 10 в файлі розташовується число абсциса точки, після визначника 20 - ордината точки, після визначника 30 - аппликата точки.

З огляду на наше прагнення визначати обхоплювальної ознаки, які розташовуються на певній висоті, спробуємо позбутися однієї координати. Для цього розіб'ємо загальну поверхню точок поперечними перетинами з відстанями між ними Δz на ряд областей, кожна з яких близька до плоскої фігури (рис.3.25).

При цьому в кожну область потрапляють точки, які належать до певної висоти вимірювань. Можна визначити положення площини, яке відноситься до певного розмірного ознакою. Можна також дослідити всі отримані області, після чого виділити ті які найбільш підходять під визначення розмірних ознак (найбільші або найменші обхвати). У будь-якому випадку кожна точка обраної області має в DXF файлі три координати, причому аппликата в досліджуваній області лежить в межах

$$z_i - \frac{\Delta z}{2} \le z \le z_i + \frac{\Delta z}{2} \qquad (3.6)$$



Рис.3.25. Розбиття поверхні поперечними перетинами

Для отриманого поля точок можна визначити координати і побудувати аппроксимирующую криву в будь-якій програмі обробки даних. На рiс.3.27., Наприклад, побудована крива, яка з'єднує отримані точки. З даного малюнка слід, що точки, що характеризують розглянутий переріз, розташовуються в DXF файлі довільним чином. Тому перед проведенням подальших дій їх необхідно впорядкувати. При виборі алгоритму сортування масиву даних спочатку необхідно вибрати параметр сортування.

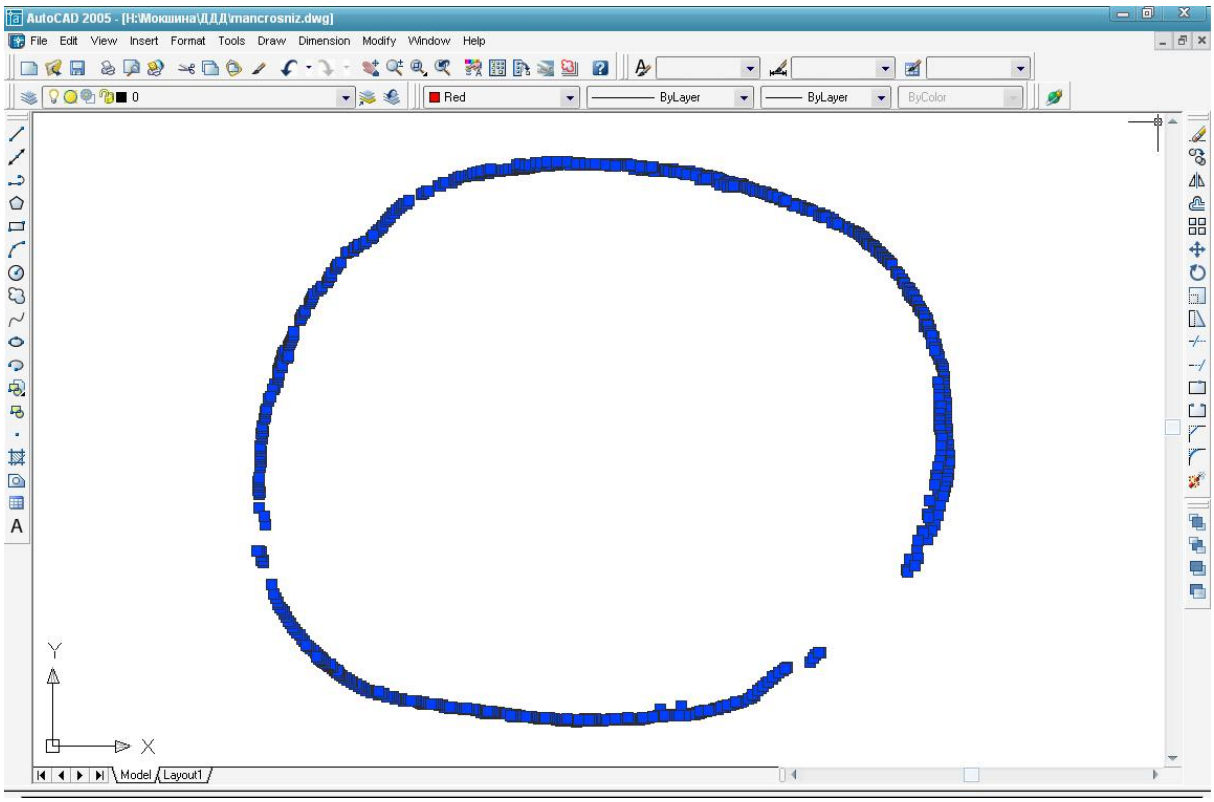


Рис.3.26. Плоске поле точок окремого перерізу, отриманого 3D сканером

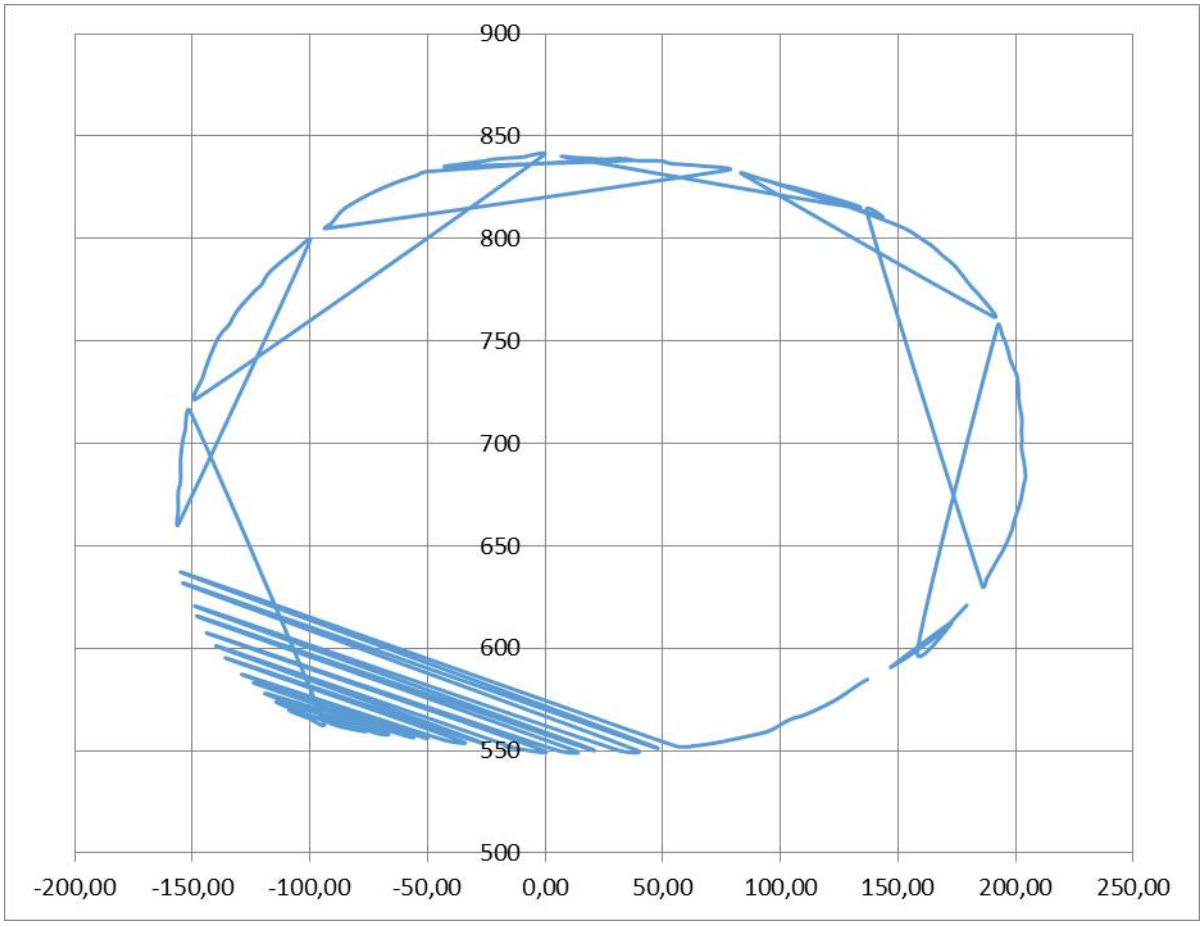


Рис.3.27. Контур перерізу, отриманий за даними вихідного DXF файлу

Очевидно, що в якості такого параметра нераціонально використовувати наявні в розпорядженні декартові координати точок.

Звертаємо увагу, що шукана крива - замкнута, тому абсциса і ордината кожної точки зустрічається принаймні два рази.

Спроба розташувати точки в порядку зростання або зменшення декартових координат, тому, призведе до ще більшого їх перемішування.

Перейдемо на час до полярних координат. Для цього спочатку визначимо максимальне і мінімальне значення абсциси і ординати для поля точок. Розмістимо полюс полярної системи координат в центр розглянутого перетину.

У полярних координатах застосовуються дві координати - радіус вектор$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ и полярний угол $\varphi = arctg\frac{y}{x}$.

Обчислимо полярний кут кожної точки і розташуємо всі координати в порядку його зростання.

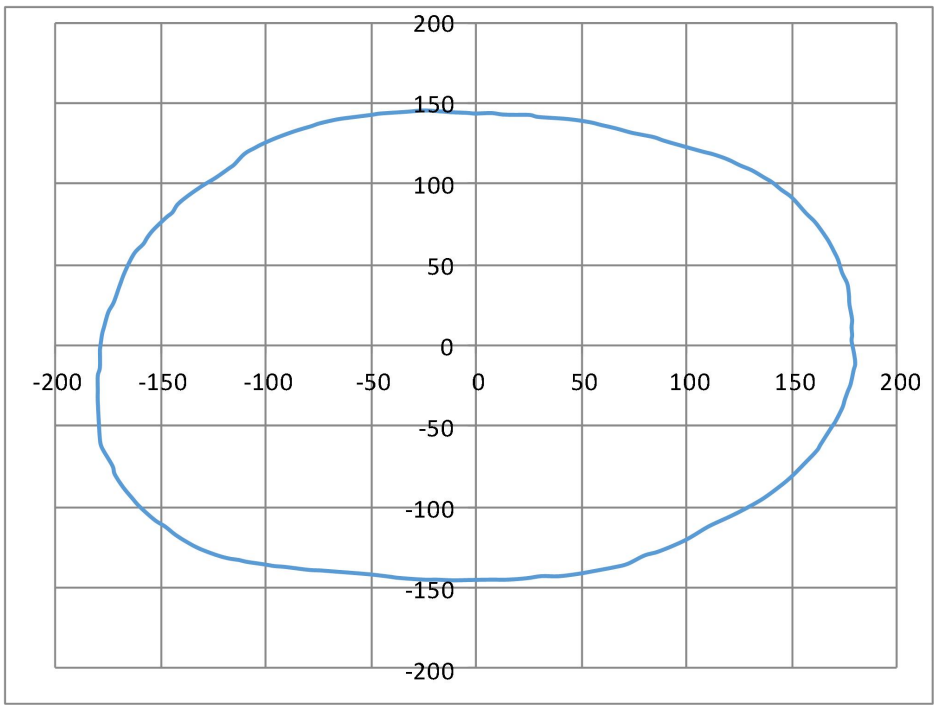
Аппроксимационная крива, побудована за даними точках має вигляд шуканого перерізу (рис.3.28).

Після проведення сортування відстань між найближчими точками визначається за теоремою Піфагора, а загальна довжина кривої, яка дорівнює обхвату фігури на даній висоті

$$Об = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (3.7)$$

Таким чином, у даному розділі розроблена методика визначення дугових розмірних ознак, виходячи з результатів 3D сканування тіла людини.

На підставі методики розробляється прикладна програма, яка безпосередньо визначає дугового розмір на довільній висоті.



Мал. 3.28. Перетин, отримане після сортування по полярному куту

Підвищення ефективності вимірювань повинно зв'язуватися. Перш за все з автоматизацією процесу сортування даних, точної апроксимацією кривої, що імітує перетин, коректним виміром її довжини.

Проведемо ці дії в наступному порядку. Після виділення перетину, обхват якого вимірюється, отримане перетин має вигляд безладно розкиданих точок, які групуються навколо якоїсь замкнутої кривої (рiс.3.29).

Для приведення до полярної системі координат спочатку потрібно знайти полюс - центр поля. У прийнятій системі координат визначаємо максимальне і мінімальне значення по двох осях

$$X_0 = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}, \quad Y_0 = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2}. \qquad (3.8)$$

Зрушуємо систему координат на знайдену величину. В полярній системі координат знаходимо радіуси і кути

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \qquad (3.9),$$

$$\varphi_i = arctg \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \qquad (3.10)$$

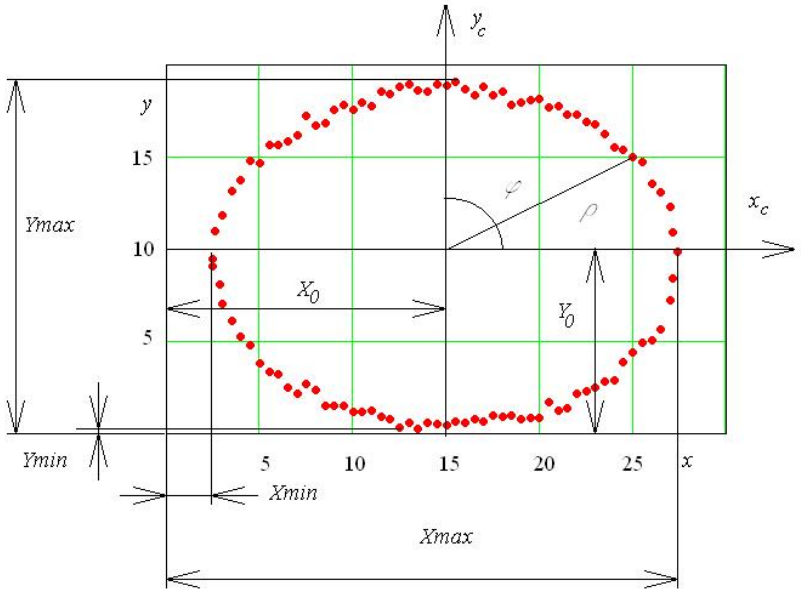


Рис.3.29. Невпорядковане поле точок в перерізі

Для сортування точок по зростанню кутів скористаємося одним з ефективних алгоритмів сортування.

Алгоритм бульбашкового сортування складається з повторюваних проходів по сортованого масиву. За кожен прохід елементи послідовно порівнюються попарно і, якщо порядок у парі невірний, виконується обмін елементів. Проходи по масиву повторюються N-1 раз або до тих пір, поки на черговому проході не опиниться, що обміни більше не потрібні, що означає - масив відсортований. При кожному проході алгоритму по внутрішньому циклу, черговий найбільший елемент масиву ставиться на своє місце в кінці масиву поруч з попереднім «найбільшим елементом», а найменший елемент переміщається на одну позицію до початку масиву («спливає» до потрібної позиції як бульбашка у воді, звідси і назва алгоритму).

Після сортування точки розташовуються по зростанню, але мають певну ступінь розкиданості.

Нам би хотілося отримати рівномірно розташовані точки для подальшої апроксимації кривими.

Такого роду проблеми раціонально вирішувати методами згладжування.

Лінійне згладжування по п'яти точках - операція усереднення за допомогою інтерполяційних многочленів, що забезпечує отримання уточненого значення ординат по його заданого значення і ряду прилеглих значень, відомих з випадковою похибкою.

Лінійне згладжування по п'яти точках виконується за допомогою наступних формул:

$$\overline{\rho}_0 = \frac{3\ \rho_0 + 2\ \rho_1 + \rho_2 - \rho_4}{5} \qquad (3.11),$$

$$\overline{\rho}_1 = \frac{4\ \rho_0 + 3\ \rho_1 + 2\ \rho_2 - \rho_3}{10} \qquad (3.12),$$

$$\overline{\rho}_i = \frac{\rho_{i-2} + \rho_{i-1} + \rho_i + \rho_{i+1} + \rho_{i+2}}{5}, 2 \quad i \quad N-2 \qquad (3.13),$$

$$\overline{\rho}_{N-1} = \frac{4\ \rho_N + 3\ \rho_{N-1} + 2\ \rho_{N-2} - \rho_{N-3}}{10} \qquad (3.14)$$

$$\overline{\rho}_N = \frac{3\ \rho_N + 2\ \rho_{N-1} + \rho_{N-2} - \rho_{N-4}}{5} \qquad (3.15),$$

де N - номер останньої точки (радіуса ρі).

Згладжування даних дає пари чисел, перше з яких визначає полярний кут φі, друге - «згладжений» радіус-вектор.

Після цих процедур виходить упорядкований за значенням кута ряд точок, згладжених за середнім значенням.

Отриманий ряд точок можна апроксимувати гладкої кривої, використовуючи, наприклад, ряди Фур'є. Будемо вважати перетину для визначення обхоплювальної ознак симетричними щодо саггитальной площині.

Тоді функцію досить будувати в межах від нуля до π. Будемо виходити з радіуса в точці з координатою φ0 = 0. Тоді функцію, аппроксимирующую отримані точки можна записати у вигляді

$$\rho = \rho_0 + \sum_{j=1}^{M} a_j \sin j\varphi$$

, где M – количество членов ряда (3.16).

У випадку неперервної функції невідомі коефіцієнти Фур'є визначаються з інтегральних залежностей

$$a_j = \int_0^{\pi} \rho(\varphi)\ \sin(j\varphi) d\varphi \qquad (3.17).$$

У нас є ряд дискретних значень радіус-вектора. Тому значення коефіцієнтів ряду визначаємо, як суму

$$a_j = \sum_{i=1}^{N} \sin\frac{j\ (\varphi_i + \varphi_{i+1})}{2}\quad \frac{\rho_i + \rho_{i+1}}{2}\quad (\varphi_{i+1} - \varphi_i) \qquad (3.18).$$

Довжина напівобхват для розглянутого перерізу може бути знайдена, як інтеграл

$$l = \int_0^{\pi} \rho(\varphi) d\varphi \qquad (3.19).$$

Підставивши вираз для функції у вигляді ряду, можна отримати

$$l = \pi\ \ \rho_0 + 2\sum_{j=1}^{M} \frac{a_j}{j} \qquad (3.20).$$

або

$$l = \pi\ \ \rho + \sum_{i=1}^{N} \sin\frac{j\ (\varphi_i + \varphi_{i+1})}{2}\quad \frac{\rho_i + \rho_{i+1}}{j}\quad (\varphi_{i+1} - \varphi_i) \qquad (3.21).$$

Використовуючи ці дані можна визначати ознаки безпосередньо з даних DXF файлів, які описують поле координат точок поверхні фігури.

ВИСНОВКИ

На основі проведених комплексних досліджень була розв’язана важлива науково-технічна задача щодо вдосконалення системи антропометричних стандартів для потреб легкої промисловості. Це досягнуто шляхом застосування сучасних безконтактних методів вимірювання з урахуванням адекватної обробки статистичних даних.

На підставі аналізу існуючої нормативної бази розмірних характеристик тіла людини створено матричну структуру, яка охоплює стандарти, що визначають розміри одягу, методи вимірювань, способи обробки результатів, антропометричні стандарти та порядок їх застосування при виробництві одягу. Визначено стандарти, що потребують удосконалення, а також нормативні документи, які слід розробити: щодо визначення геометричних параметрів тіл складної форми, забезпечення безконтактних методів вимірювань та норм точності тривимірних методик. Встановлено умови проведення замірів групою експертів та розроблено методику оцінки похибок для групи.

Обґрунтовано оптимальні умови застосування безконтактних тривимірних пристроїв для визначення розмірних характеристик тіла людини. Показано доцільність використання систем Kinect у антропометричних дослідженнях. Розроблено алгоритм визначення розмірів із застосуванням Kinect та програмне забезпечення для виконання дугових вимірювань із використанням згладжувальних функцій. Похибка вимірювань не перевищує 1,5% для дугових та 0,8% для лінійних вимірів.

Розроблено адекватні математичні методи обробки результатів антропометричних вимірювань для формування раціональної нормативної бази. На основі функції Вейбулла створено універсальну математичну модель, що описує розподіл розмірних ознак залежно від віку.

Запропоновано рекомендації щодо планування оптимальної програми виробництва швейної продукції з використанням удосконаленої нормативної бази. На основі розподілів розмірних ознак визначено програми випуску для

різних вікових груп споживачів. Наприклад, застосування стандартних розподілів без урахування оновлених даних може призводити до похибки в плануванні виробництва на рівні 12–27%.