

**Міністерство освіти і науки України  
Національний авіаційний університет**

**Лабораторний практикум**

**З дисципліни  
«Основи біомеханіки»  
Для студентів**

Галузь знань: 0514 "Біотехнологія"  
Напрямок підготовки: 6.051402 " Біомедична інженерія "

**2016р.**

**Міністерство освіти і науки України  
Національний авіаційний університет**

**Лабораторний практикум**

**З дисципліни  
«Основи біомеханіки»  
Для студентів  
«Біомедична інженерія»**

Галузь знань: 0514 "Біотехнологія"  
Напрямок підготовки: 6.051402 " Біомедична інженерія "

**Київ  
Видавництво Національного авіаційного університету  
«НАУ-друк»  
2016р.**

**УДК  
ББК  
Т**

**Рецензенти**

**Затверджено методично-редакційною радою  
Національного авіаційного університету**

**Основи біомеханіки. Лабораторний практикум.  
Тісов Олександр Вікторович**

**Лабораторний практикум містить завдання та опис  
методики виконання лабораторних робіт.....**

## Лабораторна робота № 1 ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ РЕЄСТРАЦІЇ РУХІВ

**Мета роботи:** ознайомитись з методами реєстрації рухів, вивчити вимоги до організації відеозйомки.

**Матеріали та обладнання:** відеокамера або фотокамера.

### Теоретичні відомості

Рух тіла вважають вивченим лише тоді, коли відомий спосіб визначення положення цього тіла у будь-який момент досліджуваного проміжку часу. З цією метою рух тіла реєструють.

При проведенні біомеханічних досліджень використовують різні методи реєстрації рухів і положень тіла. Серед них особливе місце займають оптичні та електричні методи, які часто застосовуються у комплексі, доповнюючи один одного.

**Метод кінореєстрації** досить тривалий час залишався основним методом дослідження рухів у спорті. Він забезпечував послідовну зйомку рухомих об'єктів на кіноплівку. Кіноплівка являється матеріалом для виготовлення кінограм (рис. 1, 2).

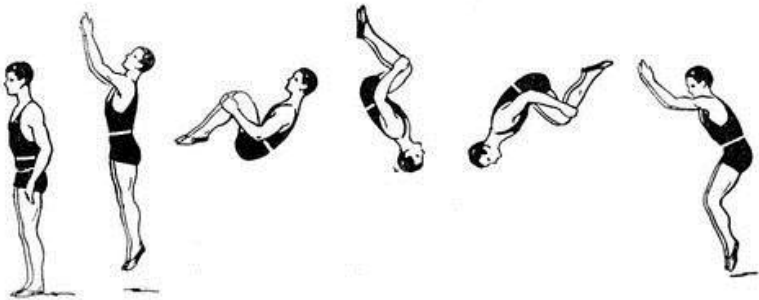


Рис.1. Кінограма заднього сальто

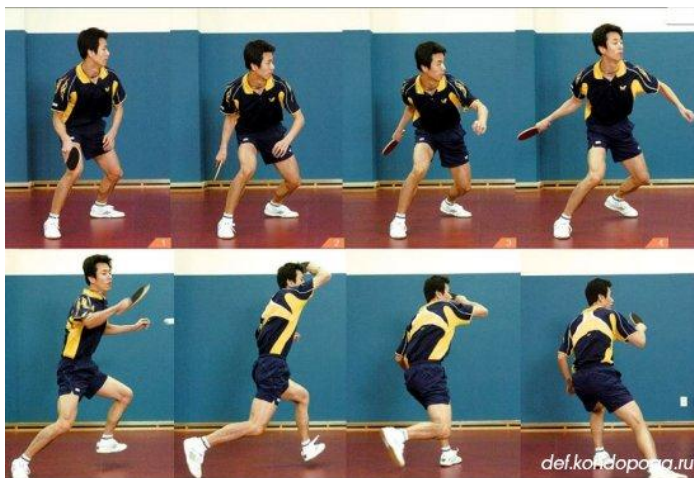


Рис. 2. Кінограма руху тенісиста

Кінограмами називають послідовні фотографічні зображення тіла спортсмена при виконанні фізичних вправ. Кінограму друкують із негативної кіноплівки, при цьому вибирають тільки ті кадри, які містять інформацію про фази руху, про найскладніші та найважливіші елементи фізичної вправи і т.п. Крім того, на кінограмі обов'язково повинна бути вказана швидкість кінозйомки (частота кадрів). Таким чином, у біомеханічних дослідженнях кінокамера використовується як вимірювальний прилад, який дозволяє одночасно вимірювати не тільки просторові, але й часові характеристики руху.

На кінограмі всі відбитки положень і поз спортсмена повинні бути пронумеровані у відповідності з їх порядковим номером на кіноплівці. Крім того, на кінограмі обов'язково повинна бути вказана швидкість кінозйомки (частота кадрів). Таким чином, у біомеханічних дослідженнях кінокамера використовується як вимірювальний прилад, який дозволяє одночасно вимірювати не тільки просторові, але й часові характеристики руху. Достатньо висока точність визначення координат точок та вимірювання інтервалів часу (особливо при використанні швидкісних кінокамер) являються основними перевагами кінометоду. До недоліків цього методу слід віднести високу вартість кіноплівки та затримку у часі

перегляду відзнятого матеріалу через необхідність фотохімічної обробки плівок.

Проблеми методу кінореєстрації, що обумовлені особливостями фотографічного процесу, можуть бути оперативно вирішені через запис та відтворенням рухів за допомогою відеотехніки. Проте суттєвою перешкодою для широкого застосування методу відеореєстрації у біомеханічних дослідженнях до останнього часу була низька роздільна здатність відеосистем, що приводило до виникнення, так званих, локалізаційно-кінематичних спотворень і проявлялось у розмиванні зображення фігури спортсмена при швидких рухах. Це знижувало точність визначення координат, а також точність розрахованих значень швидкостей і прискорень точок тіла, тобто основних кінематичних характеристик руху. Інтенсивний розвиток відеотехніки та розробка апаратного й програмного комп'ютерного забезпечення дозволяють сьогодні проводити біомеханічні дослідження на якісно новому методичному рівні – рівні відео-комп'ютерного.

**Фотографічний метод** – один із найстаріших оптичних методів. Він використовується для оцінки статичних положень тіла людини, але може використовуватись і для дослідження окремих динамічних поз рухомого тіла.

Для виготовлення кінограми тіла людини, що знаходиться в динаміці, необхідно використати режим серійної зйомки. Перед зйомкою необхідно дослідити зону руху досліджуваного об'єкта і встановити камеру на такій відстані, щоб він протягом дослідження не вийшов із її поля зору.

При зйомці послідовності рухів людини забороняється використовувати цифрове чи оптичне збільшення.

У графічному редакторі знімки переміщення досліджуваного об'єкта розміщують послідовно і нумерують. Найкраще знімки розміщувати на альбомному орієнтуванні листа у 2 рядки.

Після виготовлення кінограми фотографічним способом, необхідно визначити масштаб (відношення розмірів об'єкта на знімках до реальних). З цією метою в наближених розрахунках можна використовувати зріст в випростуваному положенні. Для цього використовують формулу:

$M = H/h$ , де  $H$  – зріст, а  $h$  – зріст на фотознімку

### **Порядок виконання роботи**

1. За завданням викладача визначити об'єкт дослідження. Розробити сценарій відеозйомки.
2. Вибрати сцену зйомки, розрахувати можливі просторові переміщення спортсмена при виконанні ним фізичної вправи (на біговій доріжці, у секторах для стрибків чи метання, на ігровому майданчику і т.п.). Скласти схемурозміщення відеоапаратури.
3. Згідно до інструкції підготувати до роботи камеру. Обрати необхідний режим.
4. Записати виконання фізичної вправи.
5. Перевірити якість відеозапису. Переконалися в якості відзнятого матеріалу.
6. Виділити із запису 10 послідовних стоп-кадрів на рівних часових інтервалах, за допомогою графічного редактора розмістити їх послідовно.

## **Лабораторна робота №2**

### **Дослідження кутів відхилень кінцівок людини**

**Мета роботи:** дослідження меж відхилень верхніх та нижніх кінцівок людини у повздовжній та поперечній площинах

**Матеріали та інструменти:** лінійка, метр кравецький, косинець, транспортир, олівці, циркуль

### **Теоретичні відомості**

Тіло людини здатне виконувати дуже широку номенклатуру завдань. Значна кількість їх не природня і пов'язана із розвитком цивілізації. Наприклад, заняття спортом, гра на музичних інструментах тощо. Здатність виконувати рухливі функції обмежується, з однієї сторони, спритністю, силою, а з іншої – будовою скелета.

Скелет є основою опорно-рухової системи і забезпечує, у співпраці із м'язами, виконання всіх видів рухів. Кожен скелет є індивідуальним і неповторним творінням природи. Він складається із кісток, які поєднуються між собою двома способами: умовно нерухомим і рухомим. Умовно нерухомими з'єднаннями є сполучення кісток черепа, грудної клітки. Основне їх завдання – підтримання форми і положення внутрішніх органів, і їхні рухи є відносно невеликими, і є відповіддю на зміну положення тіла, однак самі ці кістки не можуть активно впливати на зміну положення тіла.

Інша група – рухомі сполучення кісток. Наприклад – ліктьовий, тазо-стегновий суглоби. Такі сполучення і забезпечують зміну положень тіла. При цьому різноманітні суглоби мають неоднакову рухливість. Одні можуть виконувати рух тільки в одній площині, інші – в двох. Також, слід відмітити, що і відхилення у різних напрямках не однакова, не тільки в різнойменних суглобах, але і в однойменних суглобах двох різних людей. Мірою відхилення суглобів будемо вважати максимальних кут відхилення у тому чи іншому напрямку від початкового положення – спокійного положення кінцівки. Таким чином, віссю відліку буде вертикальна лінія, що проходить через хребтовий стрижень,



оскільки спокійним положенням і верхніх, і нижніх кінцівок є саме вертикальне положення.

Для побудови моделей кінцівок можна користуватися методом фотограмметрії. Однак, ждя цього необхідно виконати для кожної кінцівки ряд фотограм (аналог кінограми, однак для її побудови використовується ряд послідовних фотознімків), однак є ряд незручностей: у кожній фотограмі буде свій масштаб, і його потрібно буде постійно уточнювати; виготовлення кінограм є праце витратним процесом. Тому, для побудови положень кінцівок скористаємося спрощеним зображенням тіла з використанням умовних графічних позначень кісток і суглобів у вигляді прямолінійних стержнів (ланок) і циліндричних чи кульових шарнірів (кінематичних пар) відповідно (рис. 2.1.).

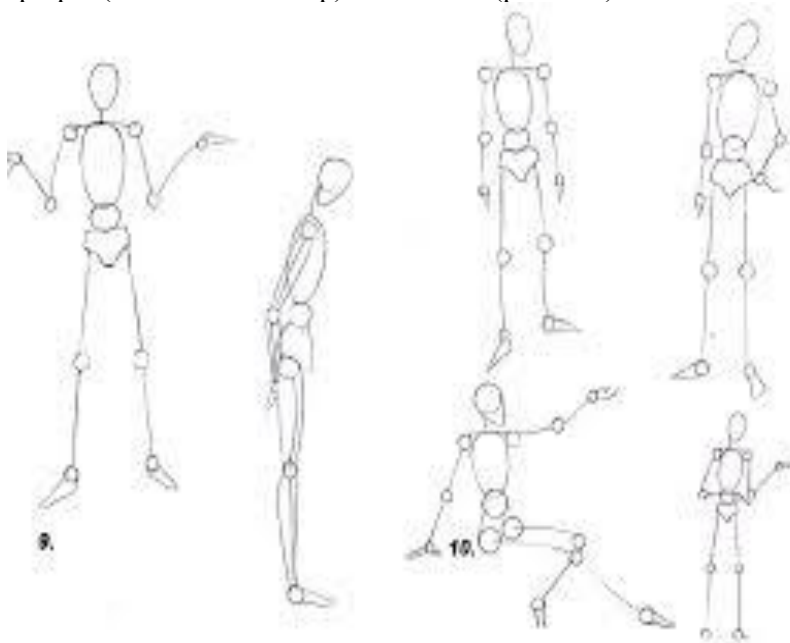


Рис. 2.1. Схема тіла людини, що побудована з використанням спрощених графічних позначень частин тіла та їх рухомих сполучень

Обрану для побудови моделі кінцівку зручно показувати у вигляді дволанкового кінематичного сполучення. Довжина ланок визначається як відстань між центрами (осями обертання) суглобів, якими закінчується кістка з обох сторін, або суглобом і її закінченням (для долоні і ступні). З цією метою необхідно буде за допомогою метра виміряти довжини відповідних кісток, а також – відстань між центрами неспільних суглобів. Таким чином, частину кінцівки спрощено можна буде представити у вигляді трикутника з відомими трьома сторонами. Після побудови такого трикутника (у масштабі, що обирається з міркувань зручності побудови) за допомогою транспортира визначаються максимальні кути відхилення кінцівки (рис. 2.2.). Зручно буде показувати на одній схемі обидва крайні положення. Нижче наведено методику побудови трикутника за трьома відомими сторонами.

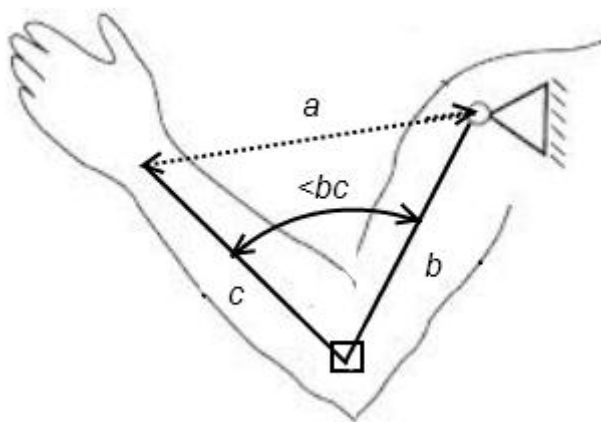


Рис. 2.2. Схема побудови спрощеної моделі кінцівки у вигляді трикутника.  $\angle bc$  – кут між сторонами  $b$  і  $c$  трикутника  $abc$ . Сторони трикутника вимірюються безпосередньо на досліджуваній кінцівці.

### **Побудова трикутника за трьома сторонами\***

Завдання. Дано три відрізки:  $a, b, c$ , що дорівнюють сторонам шуканого трикутника. Необхідно побудувати трикутник зі сторонами, що дорівнюють даним відрізкам.

У цьому випадку перед початком побудови необхідно переконатися, чи виконується нерівність трикутника (довжина кожного відрізка менша від суми довжин двох інших відрізків), і ці відрізки можуть бути сторонами трикутника.

**\*Інформація для довідки. Для тих, хто в школі погано вчився)**

Приклад:

Якщо так, то виконати такі дії (рис. 2.3.):

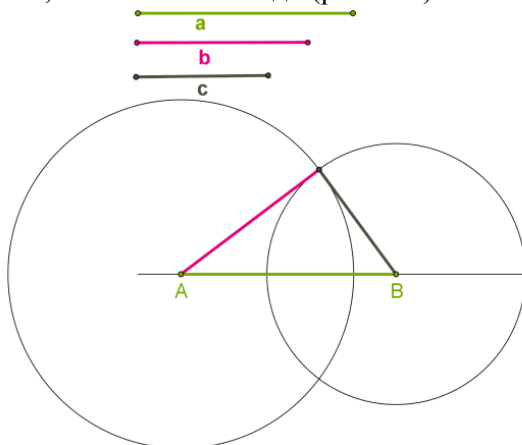


Рис. 2.3. Схема побудови трикутника за трьома відомими сторонами

1. Провести пряму.
2. На прямій від обраної точки A відкласти відрізок, що дорівнює даному відрізку a, і зазначити інший кінець відрізка B.
3. Провести коло з центром A і радіусом, що дорівнює відрізку b.
4. Провести коло з центром B і радіусом, що дорівнює відрізку c.
5. Точка перетину кіл є третьою вершиною шуканого трикутника.

Згідно з ознакою рівності трикутників за трьома сторонами, побудований трикутник дорівнює всім трикутникам, які мають дані сторони.

<http://www.yaklas.com.ua/p/geometria/7/sp-vv-dnoshennia-m-zh-storonami-kutami-trikutnika-13639/pobudova-trikutnik-v-za-troma-elementami-13646/re-07ee8d45-7913-4975-a140-5382d8ea513f>

### Хід роботи

1. Побудувати модель лівої верхньої кінцівки (вид з боку). Зобразити вимірювання кута відхилення вперед і назад. Визначити сумарний кут відхилення.
2. Побудувати модель лівої руки (вид з переду). Зобразити відхилення максимально вправо і максимально вліво. Визначити сумарний кут відхилення.
3. Поставивши руку горизонтально, провести вимірювання кута відхилення між кістками плеча і передпліччя. Віссю відліку прийняти осьову лінію кістки плеча.
4. Побудувати модель сполучення передпліччя з долонею у двох площинах, і виміряти кути відхилення долоні вліво-вправо, вперед-назад. Заміряти кути відхилення.
5. Повторити вимірювання для правої руки.
6. Побудувати модель лівої нижньої кінцівки (вид з боку). Зобразити вимірювання кута відхилення вперед і назад. Визначити сумарний кут відхилення.
7. Побудувати модель лівої ноги (вид з переду). Зобразити відхилення максимально вправо і максимально вліво. Визначити сумарний кут відхилення.
8. За побудованою моделлю визначити кути відхилення колінного суглоба. Віссю відліку вважати осьову лінію стегнової кістки.
9. Побудувати модель голеностопного суглоба (вид з боку і вид зверху). Визначити відхилення стопи у горизонтальній і вертикальній площинах.
10. Повторити вимірювання для правої ноги.

Результати вимірювань занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

**Результати вимірювань граничних кутів відхилення  
нижніх та верхніх кінцівок**

| №  | <b>Ліва рука</b>                      |              |        |        |       |
|----|---------------------------------------|--------------|--------|--------|-------|
| 1  | Кут відхилення плечового суглоба      | Вгору вліво  | вправо | вперед | назад |
| 2  |                                       |              |        |        |       |
| 3  | Кут відхилення ліктьового суглоба     | вгору        | назад  | –      | –     |
| 4  |                                       |              |        |        |       |
| 5  | Кут відхилення кисті руки             | вліво        | вправо | вперед | назад |
| 6  |                                       |              |        |        |       |
| 7  | <b>Права рука</b>                     |              |        |        |       |
| 8  | Кут відхилення плечового суглоба      | Вгору вправо | Вліво  | вперед | назад |
| 9  |                                       |              |        |        |       |
| 10 | Кут відхилення ліктьового суглоба     | вгору        | Назад  | –      | –     |
| 11 |                                       |              |        |        |       |
| 12 | Кут відхилення кисті руки             | вліво        | вправо | вперед | назад |
| 13 |                                       |              |        |        |       |
| 14 | <b>Ліва нога</b>                      |              |        |        |       |
| 15 | Кут відхилення тазостегнового суглоба | вліво        | вправо | вперед | назад |
| 16 |                                       |              |        |        |       |
| 17 | Кут відхилення колінного суглоба      | назад        | –      | –      | –     |
| 18 |                                       |              |        |        |       |
| 19 | Кут відхилення стопи                  | вліво        | вправо | вгору  | вниз  |
| 20 |                                       |              |        |        |       |

|    |  |       |        |        |       |
|----|--|-------|--------|--------|-------|
| 21 | <b>Права нога</b>                      |       |        |        |       |
| 22 | Кут відхилення тазо-стегнового суглоба | вліво | вправо | вперед | назад |
| 23 |  |       |        |        |       |
| 24 | Кут відхилення колінного суглоба       | назад | –      | –      | –     |
| 25 |  |       |        |        |       |
| 26 | Кут відхилення стопи                   | вліво | вправо | вгору  | вниз  |
| 27 |  |       |        |        |       |

Висновки: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Питання для самоконтролю

## **Лабораторна робота №3** **Побудова кінематичної схеми тіла людини**

**Мета роботи:** навчитися будувати кінематичну схему людини на основі вимірювання антропометричних даних

**Матеріали і інструменти:** лінійка, олівець, циркуль, метр  
кравецький

### **Теоретичні відомості**

Одними з перших спроб уявити тіло людини у вигляді сукупності механізмів були зроблені ще в епоху відродження. Представлення тіла людини у спрощеному кінематичному вигляді дозволяє спрощено вивчати можливі положення при виконанні тих чи інших вправ, оцінити переміщення кінцівок та центрів мас. Такий підхід спрощує аналіз, оскільки рисунок (креслення) не перевантажене деталями, якими можна знехтувати. Зокрема, під час загального оцінювання можливих рухів не обов'язково точно зображувати м'язи.



Рис. 3.1. Приклад кінематичної схеми тіла людини

Зображення тіла людини можна виконати з використанням умовних графічних зображень кісток (ланок) і суглобів (кінематичних пар). При цьому кістки зображуються за допомогою прямолінійних відрізків, а суглоби – у вигляді сферичних і циліндричних шарнірів. Рухомими сполученнями хребта можна знехтувати і зобразити його у вигляді прямолінійного стрижня.

Приклад такого зображення наведено на рис. 3.1.

Вимірювання розмірів кісток проводять, заміряючи відстань між центрами суглобі, що її обмежують, або від центра суглоба до завершення частини тіла (наприклад, від центра зап'ясткового суглоба до ліктьового – для вимірювання довжини передпліччя, і від центру зап'ясткового суглоба до закінчення середнього пальця – для визначення довжини долоні.

Розміри голови визначають за результатами вимірювання окружності черепа і зображають у вигляді овала чи кола із усередненим діаметром.

Кінематичну схему будують в двох проекціях – вид з переду і вид збоку. Далі, на ній позначають відхилення кінцівок у відповідні сторони. Для цього необхідно скористатися таблицею 2.1., у якій знаходяться результати вимірювання кутів відхилення кінцівок.

На виді з переду позначають відхилення рук і ніг вліво-вправо, а на вигляді збоку – вперед-назад. Відхилення ліктьового, колінного, гомілко-стопного і зап'ясткового суглобів показують у вертикальному положенні кінцівок.

Після того, як кінематичну схему побудовано, і позначено відхилення суглобів, необхідно також позначити відповідні кути.

Для того, щоб зручно було будувати схему, необхідно обрати правильний масштаб. Схему будують на листі А4 у книжному орієнтуванні сторінки. Масштаб знаходять за формулою:

$$M=h/H,$$

Де  $h$  – висота схеми на кресленні,  $H$  – зріст студента із витягнутою догори рукою. Розмір  $h$  необхідно обирати так, щоб від схеми до меж листа залишалось 2-2,5 см вільного поля. Також, необхідно пам'ятати, що відхилення ноги теж може вийти за межі листа.

З урахуванням цього масштабу, необхідно перерахувати усі визначені розміри для їх зменшення. З цією метою реальні розміри необхідно помножити на масштаб



## Хід роботи

1. Виміряти горизонтальну відстань між тазостегновими і плечовими суглобами.
  2. Виміряти довжину окружності черепа за допомогою кравецького метра.
  3. Провести визначення розмірів кісток. Занести дані в табл. 3.1.
  4. Визначити масштаб кінематичної схеми. Перерахувати усі розміри, помноживши їх на масштаб. Дані занести в таблицю.
- $M =$
5. Побудувати кунематичну схему у двох проекціях. Вказати розміри кінцівок на кресленні.
  6. Зобразити кутові відхилення кінцівок. Показати кути на кресленні.
  7. Для полегшення креслення, можна розміри показувати, для прикладу, з лівої сторони, а кутові відхилення – з правої.

**Таблиця 3.1.**

### **Лінійні розміри тіла людини\***

| № | Назва частини тіла | Дійсний розмір, см | Розмір на схемі, мм |
|---|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 2                  | 3                  | 4                   |
| 1 | Долоня             |                    |                     |
| 2 | Передпліччя        |                    |                     |
| 3 | Плече              |                    |                     |
| 4 | Стегно             |                    |                     |
| 5 | Гомілка            |                    |                     |
| 6 | Стопа              |                    |                     |



Кінематична схема. Вид з боку.

M=

Кінематична схема. Вид з переду.

M=

**Лабораторна № 4**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ЦЕНТРУ**  
**ТЯЖІННЯ ТІЛА ЛЮДИНИ ГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ**  
**(складання сил тяжіння)**

**1. Мета роботи**

Навчитися визначати положення центрів тяжіння ланок та загального центру тяжіння тіла людини.

**2. Матеріали і обладнання**

15-ланкова кінематична схема положення тіла у симетричному положенні, лінійка, циркуль, олівці, результати вимірювань з л.р. 2, 3.

**Короткі теоретичні відомості**

Руховий апарат людини – це саморухомий механізм, який складається із 600 м'язів, 200 кісток, декількох сотень сухожиль. Ці цифри є приблизними, через те, що деякі кістки (наприклад, кістки хребта, грудної клітини) зрослися одна з одною, а багато м'язів мають декілька частин (наприклад, двоголовий м'яз плеча, чотирьохголовий м'яз стегна) або поділяються на багато пучків (дельтаподібний, великий грудний, прямий м'яз живота та ін.).

Вважається, що рухова діяльність людини є порівняною за складністю з мозком людини і є найбільш досконалим творінням природи. І подібно до того, як вивчення мозку починають з дослідження його елементів (нейронів), так і в біомеханіці поперед усього досліджують властивості елементів рухового апарату.

Руховий апарат людини складається з ланок. *Ланкою* називається частина тіла, яка розташована між двома сусідніми суглобами або між суглобом і дистальним кінцем. Наприклад, ланками тіла є: кисть, передпліччя, плече, голова тощо.

Важливим поняттям при розгляді рухової діяльності людини є *центр тяжіння ланки (ЦТ)* тіла та *загальний центр тяжіння (ЗЦТ)*. Центр тяжіння має велике значення при оцінці виду рівноваги тіла. Залежно від розташування точки опори або опорної поверхні у відношенні до центру тяжіння розрізняють стійку, нестійку і байдужу рівновагу.

Визначення центру мас окремих ланок виконують на основі вмінь визначати рівнодійну системи паралельних сил, що

прикладені до тіла.

Першим етапом виконання роботи буде побудова кінематичної схеми тіла в обраному положенні. Найпростішим буде симетричне положення. Наприклад: Руки витягнуті в сторони, ноги – на ширині плечей, стрижень хребта рівний. У цьому випадку центр тяжіння знаходиться на поздовжній осі симетрії. У інших положеннях знаходження центру тяжіння буде складнішим.

Якщо положення обрано симетричним, то необхідно буде визначити центр тяжіння тільки, наприклад, лівих ноги і руки. З правої сторони відповідний центр ваги є симетричним.

Після знаходження центрів ваги кінцівок, знаходять центр ваги тулуба і голови. У даному випадку сили діятимуть вздовж однієї прямої, і їх можна переміщувати вздовж цієї лінії. Однак, цього не роблять, оскільки при русі вперед (назад) сили інерції діятимуть уже в горизонтальному напрямку на центр ваги, і його положення по висоті не є байдужим. Тому, центр ваги двох частин визначають за пропорційністю відповідних сил (так, ніби вони діють не вертикально, а горизонтально)).

Останнім кроком буде знайти рівнодійну 5 сил – суму ваги тулуба і 4 кінцівок. У симетричному положенні завдання спрощується до суми 3 сил.

### **Хід роботи**

1. Центр тяжіння тіла – це уявна точка, до якої прикладена рівнодіюча сил тяжіння усіх ланок тіла. Експериментальним шляхом визначено середні дані про вагу ланок тіла і про положення їх центрів тяжіння.

#### ***Визначення маси ланки методом відносних мас***

Для практичного застосування використовують округлені величини

ваги ланок (табл. 4.1.).

Таблиця 4.1.

**Відносні ваги ланок тіла і розташування їх центрів тяжіння**

| № | Назва частини тіла | Відносна маса | Маса, кг | Відносне положення центру маси          | Положення центру маси |
|---|--------------------|---------------|----------|---|-----------------------|
| 1 | Долоня             | 0,01          |          | На відстані 0,37 від зап'ястя           |                       |
| 2 | Передпліччя        | 0,02          |          | На відстані 0,43 від ліктьового суглоба |                       |
| 3 | Плече              | 0,03          |          | На відстані 0,45 від плечового суглоба  |                       |
| 4 | Стопа              | 0,02          |          | На відстані 0,44 від п'яти              |                       |
| 5 | Гомілка            | 0,05          |          | На відстані 0,41 від колінного суглоба  |                       |
| 6 | Стегно             | 0,12          |          | На відстані 0,45 від стегнового суглоба |                       |
| 7 | Голова             | 0,07          |          | Над верхнім краєм слухового проходу     |                       |
| 8 | Тулуб              | 0,43          |          | На відстані 0,51 від плечової кістки    |                       |

2. Для визначення рівнодійної двох паралельних сил з'єднують прямою лінією точки їх прикладення. При додаванні сил тяжіння двох ланок ця лінія з'єднує їх ЦТ. На цій лінії розташовано ЦТ двох ланок. Наприклад, загальний центр тяжіння плеча і

передпліччя розташовано на лінії, яка їх з'єднує (рис. 4.1).

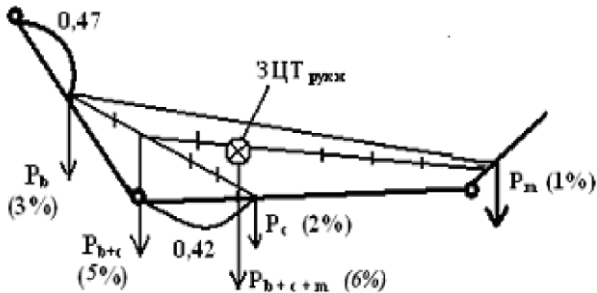


Рис. 4.1. Визначення ЦТ ланки (верхньої кінцівки)

$P_b$ ,  $P_c$ ,  $P_m$  – вага плеча, передпліччя, кисті відповідно (виражено у відсотках до загальної ваги тіла), прикладено в місцях розташування ЦТ кожної ланки. Числа (0,47; 0,42; 0,37) вказують на місце розташування ЦТ відповідної ланки від проксимального суглобу згідно з таблицею 4.1.

$P_{b+c}$ ,  $P_{b+c+m}$  – сумарна вага двох та трьох ланок, прикладена в місцях розташування ЦТ двох та трьох ланок (місце розташування цих ЦТ знаходиться розрахунковим методом).

Оскільки вага плеча складає близько 3 %, а передпліччя – 2 % ваги тіла, то цю лінію потрібно поділити на  $2+3=5$  частин. ЦТ двох ланок розташований ближче до більш важкої ланки (співвідношення відрізків лінії 2:3, рахуючи від плеча). Таким же чином потрібно додати усі сили тяжіння інших ланок.

Положення ЗЦТ і ЦТ ланок потрібно визначити при аналізі умов рівноваги в статичному положенні. Зміною траєкторії руху центру тяжіння визначити дію зовнішніх сил, які прикладені в цілому, або зовнішніх сил відносно відповідної ланки.

#### 4. Завдання

1. Визначити положення ЦТ ланок тіла.

Для цього:

- на схемі положення людини, користуючись анатомічними даними, отриманими в попередніх ЛР, відмітити положення проєкцій суглобів;

- за даними довжини ланки та даних про відносне розташування

ЦТ ланки визначити положення ЦТ кожної ланки тіла людини



за схемою, проміжні дані розрахунків занести у таблицю;

– визначити масу кожної ланки методом відносних мас і за результати занести в таблицю;

– користуючись цими і анатомічними даними, рисунком 4.1 нанести на схему ЦТ усіх ланок.

2. Знайти рівнодійну усіх сил тяжіння. Зручно знайти спочатку сил тяжіння плеча і передпліччя. Далі, додавши вагу кисті, знайти ЗЦТ всієї руки. Таким же чином послідовно додати ваги ланок ноги. Якщо положення є симетричним, то ЦТ обох рук розташовані однаково, так як і обох ніг. Якщо положення рук не симетричне, то центр ваги визначається окремо для кожної з них.

Визначаючи положення ЦТ тулуба (якщо воно є розігнутим, чи зігнутих) правильно його положення наносити не на зігнутий подовжній осі, а на прямій лінії, яка з'єднує плечовий і тазостегновий суглоби.

3. Визначивши положення ЗЦТ голови і тулуба (50 % ваги тіла), а також усіх кінцівок (друга половина ваги), названі дві точки з'єднують відрізком, який поділяють навпіл. У цій точці і розташовано ЗЦТ тіла (рис. 2.2.).

4. Позначити на схемі ваги усіх ланок тіла, визначених за методом відносних мас.

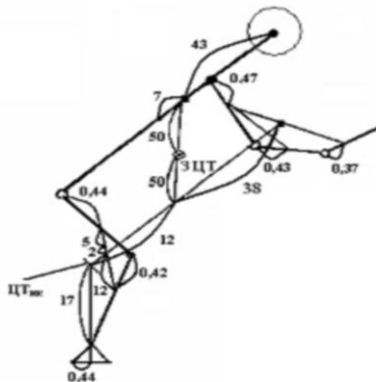


Рис. 4.2. Визначення ЗЦТ усього тіла (усі позначення аналогічні рис. 4.1.)

**Висновки:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Примітка. З метою отримання високої оцінки обирають несиметричне положення. Для отримання базової оцінки можна обрати симетричне положення тіла.

Визначення центру маси. Вид з боку.

M=

Визначення центру маси. Вид з переду.  
M=

## **Лабораторна робота №5**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРУ ВАГИ ТІЛА АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ**

**Мета роботи:** навчитися вираховувати центр ваги аналітичним методом на основі знання мас окремих частин тіла і їх центрів ваги  
**Інструменти і обладнання:** лінійка, олівець, таблиця даних центрів мас і ваги окремих частин тіла людини

#### **Короткі теоретичні відомості**

Загальним центром ваги тіла людини називається точка дії рівнодійної всіх сил ваги складових його частин (ланок тіла). Кожна частина тіла людини при визначеній масі і специфічному розташуванні її має власний центр ваги.

Оскільки ланки тіла людини навіть при звичайному вертикальному його положенні (а особливо при рухах) не розташовуються строго вертикально одна над іншою, між ними в області з'єднань утворюються кути. Тому центр ваги рідко знаходиться на вертикальній осі симетрії. Він буде постійно відхилятися залежно від положення тіла. Також, на його положення впливатимуть зовнішні сили (пориви вітру, взяті в руки вантажі тощо).

Знаючи положення центра ваги ланки, можна визначити навантаження, що діють на суглоби і реакції, які в них виникають. ЗЦВ тіла служить показником розподілу маси тіла в організмі людини. Адаже ні обхвати, ні лінійні розміри, звичай уживані в антропометричній практиці, не є достатнім показником тієї кількості маси, що відповідає цим розмірам.

Чим вище розташований ОЦТ тіла, тим маса верхньої половини тіла більше. Наприклад, у гімнастів він розташований вище, ніж у легкоатлетів-бігунів, тому що великі фізичні навантаження в гімнастів приходяться на м'язи верхніх кінцівок, а в бігунів - на м'язи нижніх кінцівок. Така ж нерівність присутня у жінок і чоловіків.

Коли говорять "центр тяжіння людського тіла, то мають на увазі не геометричну точку, а лише сферу, у якій ця точка розташована. У залежності від особливостей кровообігу, дихання, травлення у кожен момент часу усередині тіла відбувається

перерозподіл його маси, що позначається і на положенні ЗЦВ: він постійно трохи переміщається в ту або іншу сторону. Орієнтовно можна вважати, що діаметр сфери, усередині якої відбувається переміщення ОЦТ тіла при спокійному положенні тіла, дорівнює 5-10 мм.

Існує велика кількість методів, як можна його визначити. У попередній роботі ми ознайомилися із методом додавання векторів сил (ваги) кожної ланки. Він зведений то так званого методу відносних мас.

Сьогоднішнє завдання – визначення положення центру ваги координатним (аналітичним) способом.

З теоретичної механіки відома методика знаходження координат центру довільної системи паралельних сил.

$$x_c = \frac{\sum x_i F_i}{\sum F_i}; \quad y_c = \frac{\sum y_i F_i}{\sum F_i}$$

Оскільки у нашому випадку кожна паралельна сила – це вага ланок (частин тіла), то рівносильним буде таке перетворення:

$$x_c = \frac{\sum x_i m_i g}{\sum m_i g}; \quad y_c = \frac{\sum y_i m_i g}{\sum m_i g}$$

Далі, вносимо відомі величини за знак суми:

$$x_c = \frac{g \sum x_i m_i}{g \sum m_i}; \quad y_c = \frac{g \sum y_i m_i}{g \sum m_i}$$

Отримуємо кінцеві вирази для визначення координат центру системи паралельних сил.

$$x_c = \frac{\sum x_i m_i}{\sum m_i}; \quad y_c = \frac{\sum y_i m_i}{\sum m_i}$$

Хід виконання роботи

1. Побудувати кінематичні положення тіла (вигляд з боку і з переду) у вибраному положенні
2. Нанести на схему координатні осі. Проградуювати їх у міліметрах (рис. 5.1).

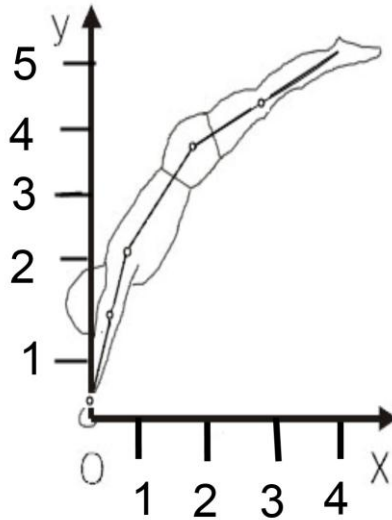


Рис. 5.1. Побудова системи координат навколо точки обертання при виконанні фізичної вправи.

3. Використовуючи дані з попередньої лабораторної роботи, нанести центри ваги окремих ланок тіла на схеми
4. Визначити координати центрів ваги окремих ланок.
5. Занести координати центрів ваги ланок у табл. 5.1.
6. Розрахувати координати центру ваги тіла в двох площинах
7. Нанести центр ваги тіла на кінематичну схему (в двох площинах)
8. Порівняти отримані результати з результатами попередньої лабораторної роботи
9. Зробити висновок

Таблиця 5.1.

## Дані для визначення центру ваги тіла

| № | Назва частини тіла | Маса, кг | Координати центру ваги, вид збоку |       | Координати центру ваги, вид з переду |       |
|---|--------------------|----------|-----------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|
|   |                    |          | X, мм                             | Y, мм | X, мм                                | Y, мм |
| 1 | Долоня             |          |                                   |       |                                      |       |
| 2 | Передпліччя        |          |                                   |       |                                      |       |
| 3 | Плече              |          |                                   |       |                                      |       |
| 4 | Стопа              |          |                                   |       |                                      |       |
| 5 | Гомілка            |          |                                   |       |                                      |       |
| 6 | Стегно             |          |                                   |       |                                      |       |
| 7 | Голова             |          |                                   |       |                                      |       |
| 8 | Тулуб              |          |                                   |       |                                      |       |

Положення центру маси тіла (вид з переду)

$X_c =$

$Y_c$

Положення центру маси тіла (вид з боку)

$X_c =$

$Y_c$

**Висновки:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



Визначення центру маси. Вид з боку.

M=

Визначення центру маси. Вид з переду.

M=

## Лабораторна робота №6

### Визначення реакцій в опорах балки

**Мета роботи:** навчитися складати рівняння рівноваги балки; навчитися вираховувати моменти сил відносно точок опори; навчитися визначати реакції в опорах.

**Інструменти і обладнання:** лінійка, олівець, калькулятор.

Короткі теоретичні відомості

#### Завдання

1. Побудувати схему балки враховуючи конструкцію опор
2. Визначити відстані між точками прикладення навантаження.
3. Прикласти всі сили та моменти до балки.
4. Побудувати аналітичну схему балки в горизонтальній і вертикальній площинах.
5. Побудувати рівняння рівноваги балки відносно точки А у горизонтальній і вертикальній площинах
6. Визначити реакції в опорі В.
7. Побудувати рівняння рівноваги балки відносно точки В у горизонтальній і вертикальній площинах
8. Визначити реакції в опорі А.
9. Зробити висновки по роботі.

## Лабораторна робота №7

### Визначення згинальних моментів балки

**Мета роботи:** вивчити метод перерізів і навчитися ним користуватися; навчитися складати рівняння згинальних моментів; навчитися будувати епюри згинальних моментів; навчитися визначати небезпечний переріз балки.

**Інструменти і обладнання:** лінійка, олівець, калькулятор.

### Короткі теоретичні відомості

#### Завдання

1. Побудувати схему балки враховуючи конструкцію опор.
2. Визначити відстані між точками прикладення навантаження.
3. Прикласти всі сили, реакції та моменти до балки.
4. Побудувати аналітичну схему балки в горизонтальній і вертикальній площинах.
5. Скласти рівняння згинального моменту для кожного перерізу балки в горизонтальній площині;
6. Побудувати епюру згинальних моментів у горизонтальній площині;
7. Скласти рівняння згинального моменту для кожного перерізу балки у вертикальній площині;
8. Побудувати епюру згинальних моментів у вертикальній площині;
9. Визначити сумарний згинальний момент
10. Побудувати епюру сумарних згинальних моментів балки
11. Визначити небезпечний переріз балки.
12. Зробити висновки по роботі.

## **Лабораторна робота № 8** **НАПИСАННЯ АНОТАЦІЇ ДО НАУКОВОЇ СТАТТІ**

**Мета роботи:** ознайомитись з методами наукового пошуку інформації наукового характеру.

**Матеріали та обладнання:** ПК, обрана наукова стаття, словники.

### **Теоретичні відомості**

Біомеханіка є наукою, що вивчає причини руху, а також - їх наслідки. Біомеханіка є прикладною наукою, яка безперервно розвивається. Наукові наслідки

Значна кількість досліджень у світі спрямована на поліпшення стану здоров'я. Постійно виникають нові питання, активно вирішуються нові. Знаходяться прогресивні рішення на проблеми, які, здавалося, вже давно вирішені. З цією метою ведеться велика кількість наукових досліджень, результати яких висвітлюються у наукових і науково-популярних журналах.

Дана лабораторна робота спрямована на написання анотації (короткого змісту) наукової статті з тематики біомеханіки, біосумісних матеріалів. Це допоможе вам, як майбутньому спеціалісту, краще ознайомитися з методами наукового пошуку, і що саме головне, навчитися визначати суть викладеного матеріалу, самостійно формувати висновки і визначати можливість практичного використання результатів статті.

### **Завдання:**

1. Визначити область інтересів (кардіологія, механіка твердих чи м'яких тканин)
2. Проглянути 2 останніх випуски одного журналу, або не менше 10 статей за темою інтересів.
3. Вибрати статтю для написання анотації
4. Сформувати анотацію
5. Дати відповіді на запитання.

### **Запитання**

1. Яка область біомеханіки (біоматеріалознавства) Вас найбільше зацікавила?

2. Вкажіть автора статті, її назву наукової установи, країну.
3. Наведіть і прокоментуйте 3 цитати із статті, які Вам здаються найбільш цінними
4. Обговоріть різноманітність доступних джерел (багато, мало, всі галузі, лише одна галузь, статті тільки одного дослідного центру, тільки один журнал...)
5. Наведіть три найбільш цінних, на Вашу думку, журналу (інших джерела), які висвітлюють інформацію за Вашими інтересами.

### **Написання анотації статті**

Обсяг – 1 сторінка А4, шрифт – 14, міжрядковий інтервал – 1. Абзацний відступ – 1 см.

Анотація повинна містити оригінальну назву статті, імена авторів, після цього, йдуть назва статті українською мовою (для англomовних і інших статей). Далі, через один міжрядковий інтервал йде анотація статті. Анотації, виконані з англomовних видань, оцінюються на «відмінно» автоматично (за умови відсутності «автомобільного» перекладу).

До протоколу лабораторної роботи додається роздрукований варіант статті, яка анотувалася.

Висновки \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Лабораторна робота № 9 ВИЗНАЧЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Мета роботи:** ознайомитись з методами трибологічних досліджень за методом паралельних циліндрів, навчитися вимірювати коефіцієнт тертя

**Матеріали та обладнання:** трибометрична машина 2070 СМТ-1, ПК, мультиметр, тримач зразків, набір зразків, ключі «ріжкового» типу.

### Теоретичні відомості

Тіло людини складається із понад 200 кісток, які сполучаються між собою за допомогою хрящової тканини. Значна кількість з них є рухомо сполучена і забезпечує рухливу функцію опорно-рухової системи. Суглоб складається із суглобової сумки, яка обмежує його розміри. Усередині сумки знаходяться контактні поверхні кісток. Сумка заповнена синовіальною рідиною, яка має кілька функцій, серед основних – забезпечення мащення суглоба, зменшення зношування.

Зміна значення коефіцієнта тертя в суглобі має дві основні мети: діагностична і технологічна.

З діагностичною метою зростання коефіцієнта тертя здорового суглоба може розцінюватися як ознака початку патологічного процесу, а під час лікування хвороби його зменшення може свідчити про оздоровлення суглоба.

З технологічною метою значення коефіцієнта тертя використовується для створення матеріалів для заміщення нативних тканин при протезуванні.

Для визначення біотрибологічних характеристик суглобів людини необхідно використовувати спеціалізоване обладнання, яке може забезпечити режим тертя, близький до режиму роботи суглоба. Таке обладнання називається «трибометричними машинами», оскільки крім безпосередньо режиму тертя здатні забезпечувати вимірювання і автоматичну реєстрацію параметрів тертя. У якості матеріалів кістки людей використовуються рідко, як з етичних причин, так і тому, що хрящова тканина ВРХ мало чим відрізняються від людської за трибологічними характеристиками, і її значно легше отримати у необхідній кількості.

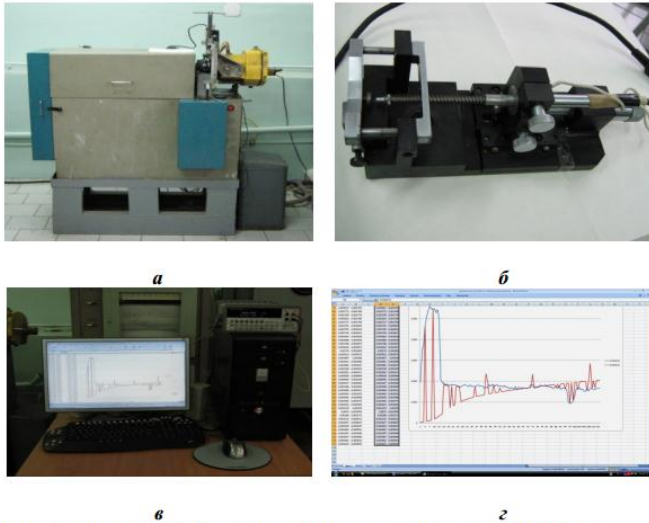
У якості рідин для досліджень (для моделювання мастильного середовища) використовуються синовіальна рідина суглобів тварин, плазма крові або штучні білкові комплекси, які за складом близькі до білкових комплексів синовіальної рідини. У якості «нульової» reference point використовується дистильована вода або фізрозчин.

При формуванні дослідної пари тертя використовується два тіла – зразок і контрзразик. Як правило, зразок має зручну для дослідження форму, а контрзразок забезпечує необхідну форму контакту (лінія, точка, площина). Коли визначають зношування, вимірюють зміну лінійних розмірів зразка, або зміну маси. Вона, доречі, може як спадати (як правило) так і зростати. Не останню увагу приділяють і загальному вигляду поверхні тертя – рівномірна, чи з виривами, заглибинами та іншими нерегулярностями. Важливим показником також буде і зміна хімічного складу поверхневого шару – збіднення чи збагачення елементами чи речовинами. У випадку з хрящовою тканиною, визначають саме зміну хімічного складу досліджуваної тканини і змащувальної речовини, у яких визначають наявність продуктів розпаду колагену.

У якості зразка, зрозуміло, використовують хрящову тканину, а от у якості контрзразка дуже часто використовується хірургічна неіржавійна сталь – 30X13. Тут, звичайно, є певні недоліки, але і є суттєва перевага – один контрзразок можна використовувати фактично нескінченно довго. Така апроксимація виправдовує себе при порівняльних дослідженнях.

У лабораторній роботі використовуватиметься трибومترічна машина 2070 СМТ-1. Вона містить комплекс обладнання, що дозволяє реєструвати параметри процесу тертя, зокрема – коефіцієнт тертя. Всі дані обробляються багатоканальним мультимеіром, передаються на ПК, де обробляються і записуються на магнітний носій. Навантаження може змінюватися від 2 до 200Н, що прикладається через спеціальну пружину. Частота обертання привідного валу реєструється тахографом, а момент тертя – індуктивним індикатором. Загальний вигляд машини, та деяка технічна інформація подані на рис. 9.1, 9.2.





Загальний вигляд модернізованої трибологічної машини 2070 СМТ-1: а – машина; б – датчик зносу; в – комп'ютерна система; г – типові графіки зміни моменту тертя та зносу у часі  
 Рис. 9.1.

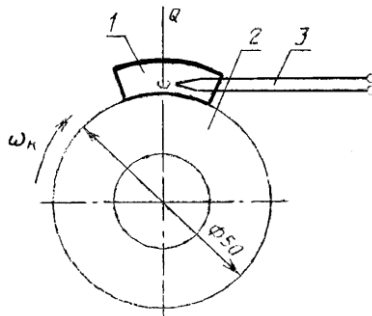


Рис. 9.2. Схема контакту при трибологічних випробуваннях.

### Завдання:

6. Виготовити зразки для досліджень
7. Встановити зразки на трибологічну машину.
8. Провести дослідження (вимірювання коефіцієнта тертя) за схемою паралельних циліндрів у режимі ковзання; у якості мастильного середовища

використовувати дистильовану воду, фізрозчин, тертя без мащення

### **Запитання**

6. Що таке тертя?
7. Що таке зношування?
8. Поясніть різницю між нормальним і патологічним процесом тертя?
9. Що таке трибологія? Біотрибологія?
10. Що таке сила тертя? Як формується адгезійна і механічна складові сили тертя?
11. Що таке тертя ковзання, тертя кочення, коефіцієнт тертя?
12. Що таке змащування? Яким є його вплив на процес тертя?
13. Назвіть і поясніть режими мащення?

Висновки \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## **Лабораторна робота № 10** **Втомна міцність біоматеріалів**

**Мета роботи:** 1. Вивчити особливості втомної міцності матеріалів. 2. Ознайомитися з методикою проведення випробування матеріалів на втому. 3. Провести випробування на втому зразка, виготовленого із цільної кісткової тканини

**Матеріали і обладнання:** установка для втомних випробувань плоских зразків, набір плоских зразків, виготовлених із щільної кісткової тканини, тримачі, хомути.

### **Теоретичні відомості**

Багато деталей машин і елементів конструкцій та інших створених людиною виробів в процесі роботи зазнають динамічних навантажень, які змінюються за величиною і напрямком.

В найпростішому випадку навантаження можуть змінюватися за синусоїдальним законом. Що стосується біологічних систем, то він може мати довільний характер.

В умовах дії знакозмінних напружень в матеріалах відбувається зародження і поступовий розвиток тріщин, що викликає повне руйнування деталі. Цей вид руйнування особливо небезпечний, тому що відбувається під дією напружень, набагато менших за міцність матеріалу, і ці тріщини розвиваються невизначений період часу. Є матеріали, що руйнуються через кілька десятків годин роботи, інші в тих самих умовах можуть працювати нескінченно довго. Навіть для двох зразків однакового розміру час напрацювання до руйнування буде різним.

Процес поступового нагромадження ушкоджень в матеріалі під дією циклічних навантажень, що приводить до зменшення довговічності через утворення тріщин і руйнування, називають *втомою*, а властивість протистояти втомі - *витривалістю*. Приклад втомного руйнування матеріалу показано на рис. 10.1.

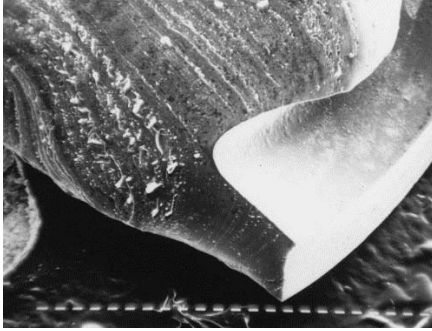


Рис.10.1. Втомне руйнування деталі. Добре помітний «терасоподібний» рель'єф на поверхні зламу.

Руйнування матеріалів при втомі відрізняється від руйнування при однократних або малоповторюваних навантаженнях і характеризується наступними особливостями:

- втомне руйнування відбувається без зовнішніх ознак пластичної деформації навіть у самих пластичних матеріалів;
- втомне руйнування відбувається при напруженнях, не тільки менших границь міцності і текучості, але менших границі пружності;
- для втоми характерно те, що на міцність впливає суттєво концентрація напружень (обробка матеріалу, структура тощо).

### **Природа втоми**

Природа втоми залишається багато в чому нез'ясованою, тому що немає єдиної теорії, яка б дозволила пояснити поведінку матеріалу під дією динамічного навантаження і причину виникнення втомного зламу. Однак в результаті проведення численних досліджень стало можливим зробити деякі припущення.

Вважають, що особливості процесів, які відбуваються при втомі, визначаються неоднорідністю полікристалічних тіл. Метали складаються з великої кількості хаотично орієнтованих зерен, розділених границями, неметалевими включеннями, різними порами, дефектами, які мають різні механічні властивості. В результаті цього при деформуванні по границях зерен виникають мікроскопічні концентрації напружень. Тут рівень напружень

значно вищий ніж всередньому в матеріалу. Саме тут і розпочинається руйнування матеріалу.

Втомна тріщина зароджується в поверхневих шарах і потім розвивається в глиб зразка або деталі, утворюючи гострий надріз. Процес розвитку втомної тріщини досить тривалий. Він триває доти, поки переріз деталі не виявиться настільки малим, що діючі в ньому напруження перевищать руйнуючі. Тоді відбудеться швидке руйнування, як правило, крихке через наявність гострого надрізу.

**Задача втомних випробувань - дати кількісну оцінку здатності матеріалу працювати в умовах циклічного навантаження без руйнування.**

В процесі будь-якого втомного випробування на зразок діють циклічні напруження, що безупинно змінюються за величиною і часто - за знаком.

Циклом називається однократний процес безперервної зміни напружень (причому напруження на початку циклу дорівнює напруженню наприкінці циклу за величиною і за знаком), а багаторазове повторення циклів - циклічним навантаженням.

## 2. Визначення границі витривалості (втоми)

Випробування на втому проводять на спеціальних зразках, як правило, зі шліфованою або полірованою поверхнею, оскільки стан поверхні суттєво впливає на зародження тріщини.

На рис. 10.2 показані зразки для випробування на втому згином. Застосовують зразки гладкі (рис. 10.2, а і в) і з надрізом (рис. 10.2, б і г) круглого перерізу, а також – плоскі зразки

Діаметр циліндричної частини гладких зразків звичайно становить 5-10 мм, а в зразків з надрізах 10-20 мм при глибині надрізу 0,25 діаметра робочої частини (надрізи мають напівкруглу або V-подібну форму).

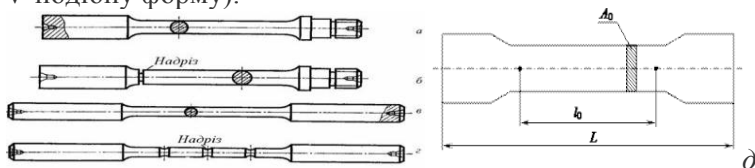


Рис. 10.2. Зразки для випробувань на втому згином: а - консольного типу; б - консольного типу з надрізом; в - для випробування при постійному згинальному моменті (за методом чистого згину); г - те ж з надрізом, д – плоский зразок.

Первинним результатом втомного випробування одного зразка є число циклів до руйнування (довговічність) при заданих характеристиках циклу.

Випробування на втому проводять як для пластичних, так і для малопластичних і крихких матеріалів, яким є матеріал щільної кісткової тканини.

Границю витривалості найчастіше визначають на обертовому зразку, що обертається в умовах знакозмінного (симетричного) циклу.

Схема випробування на машинах, що працюють за методом консольного згину, показана на рис. 10.3, а. Один кінець зразка 2 затискується в шпинделі 1 машини, а на інший кінець надівається підшипник 3, до якого підвішується вантаж  $P$ . При обертанні зразок піддається повторно-змінному навантаженню.

При кожному оберті зміна величини напруження зробиць повний цикл від  $s_{\max}$  через нуль до  $s_{\min}$  і ін. (рис. 10.3, б).

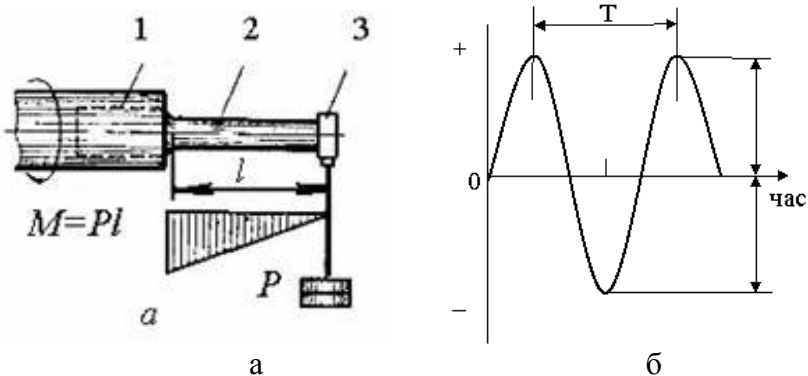


Рис. 10.3. Тривале випробування на втому: а - схема випробування; б - діаграма циклічної зміни напружень.

При дослідженні плоских зразків використовують установку, зображену на рис. 10.4. Зразки закріплюються у спеціальних тримачах (рис. 10.5) за допомогою хомутів. Тримачі встановлюються у вали і затискаються затискаються гвинтом. Амплітуда циклу задається механізмом-ексцентриком. Привід – від електричного двигуна.



Рис. 10.4. Загальний вигляд установки для втомних досліджень плоских зразків



Рис. 10.5. Вигляд зразка, затиснутого хомутом у тримачі

При побудові кривої втоми, що є основною характеристикою на витривалість металу, необхідно не менш 10 однакових зразків, які повинні бути виготовлені з одного матеріалу, мати однакову форму і обробку. При цьому кожний зразок випробовують тільки при одній величині напружень до руйнування або до заданого (базового) числа циклів. Кожний окремий зразок повинен випробовуватися при постійній амплітуді прикладеного напруження.

При заданому навантаженні випробування триває до руйнування зразка, при цьому реєструється число циклів. Випробування проводять таким чином, що перший зразок руйнується вже після невеликого числа циклів. Після руйнування зразка його замінюють іншим і зменшують або збільшують вантаж. Так випробування повторюють кілька разів, визначаючи щораз число циклів, що доводить зразок до руйнування. Потім, поступово знижуючи амплітуду навантаження, домагаються того, щоб зразок міг витримати його дію «нескінченно довго».

Характер зміни напруження між  $s_{max}$  і  $s_{min}$  мало позначається на витривалості. Тому цикли складної форми, що зустрічаються на практиці, завжди можна звести до простих, а стандартні втомні випробування проводять із використанням найпростіших за геометрією циклів.

Підвищення частоти циклів за інших рівних умов звичайно викликає деяке збільшення характеристик витривалості, особливо при підвищених температурах. Найбільша границя витривалості має місце при випробуваннях за схемою згину, найменша - при крученні.

### **Хід виконання роботи**

1. Вивчити теоретичний матеріал.
2. Оглянути установку, описати принцип її роботи.
3. Закріпити зразки у тримачі.
4. Встановити тримачі на установку, виставити амплітуду коливань за допомогою механізму – ексцентрика.
5. Провести випробування до руйнування зразка, зареєструвати у кількість циклів деформації.
6. За результатами дослідження зробити висновки.

### **Опис принципу роботи установки**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Висновки по робот

---

---

---

---

---

---

---

### **Контрольні питання**

1. Які зразки використовують для випробувань на втому згином?
2. Що таке втома матеріалу?
3. Які особливості руйнування матеріалу при втомі?
4. Що впливає на втомну міцність матеріалу?
5. Чим визначаються особливості процесів, які відбуваються при втомі?
6. Від чого залежить виникнення і розвиток втомних тріщин?
7. З якою метою проводять втомні випробування?
8. Як позначається підвищення частоти циклів на характеристиках витривалості

## **Лабораторна робота № 11**

### **Визначення біодинамічних характеристик органів дихання**

**Мета роботи:** 1. Визначити об'єм легень. 2. Визначити максимальний тиск, створюваний легеньми при вдиханні і видиханні. 3. Визначити максимальну роботу, яку виконують легені протягом повного дихального циклу.

**Обладнання:** кравецький метр, латексна куля, водяний манометр.

#### **Теоретичні відомості**

В нормальних умовах вентиляції дихальні м'язи розвивають зусилля, які спрямовані на подолання еластичних, або пружних і в'язких опорів. Пружні і в'язкі опори в дихальній системі постійно формують різні співвідношення між тиском повітря в повітроносних шляхах і об'ємом легенів, а також між тиском повітря в повітроносних шляхах і швидкістю повітряного потоку під час вдиху і видиху.

Розтяжність легенів служить показником еластичних властивостей системи зовнішнього дихання. Величину розтяжності легень вимірюють у вигляді залежності тиск - об'єм та розраховують за формулою:  $Z = V/\Delta P$ , де  $Z$  - розтяжність легенів.

В умовах комфортного глибокого дихання - глибина дихання близька до життєвої ємності легень і становить близько 65-75% максимального вдиху і видиху - одночасно реєструють транспульмональний тиск і спірограмму. Потім в одному з дихальних циклів на вдиху і видиху переривають повітряний потік триразово клапаном на 0,2 секунди, а потім (в одному з наступних дихальних циклів) також триразово на 0,5 секунди і визначають альвеолярний тиск. Короткочасне переривання повітряного потоку досліджуваній практично не відчуває, і за період до 0,2 секунди на величину альвеолярного тиску не впливає процес адаптації легень до умов переривання повітряного потоку. Переривання повітряного потоку тривалістю 0,5 секунди викликає опір адаптивних можливостей легенів і сприяє прояву дії внутрилегеневого джерела механічної активності.

Для оцінювання роботи, яку виконують легені при диханні будують залежність об'єму від тиску, який створюється при диханні.

Розмір (числове значення) еластичного гістерезису визначається аналогічно до дихальної роботи, тільки в розрахунку використовується не дихальна петля, а петля еластичного гістерезису. Площа цієї петлі дорівнює добутку тиску на об'єм і виражається в одиницях роботи. Якщо побудувати осі координат – у масштабі 1см = см вод.ст., а 1 см = 1 літр повітря, то розмірність роботи (площа петлі) буде виражатися в л/см вод.ст, для переведення її у джоулі необхідно отриману величину розділити на 10.

### Хід виконання роботи

1. Виміряти об'єм легень за допомогою латексної кулі. Для цього необхідно максимально наповнити легені, і видихнути в кулю все повітря.
2. За допомогою кравецького метра виміряти довжину кола кулі вздовж і впоперек шляхом трикратного обмотування кулі. Отримані значення сумують і ділять на 6. Ця величина буде довжиною кола  $l$ .

$$l = (L_1 + L_2) / 6 = \quad (\text{см})$$

де  $L_1$  і  $L_2$  – довжина кола, виміряна шляхом трикратного обмотування кулі вздовж і впоперек.

3. Визначаємо діаметр кулі –  $d = l / \pi = \quad (\text{см})$

4. Об'єм легень визначається як об'єм кулі:  
 $V = (\pi d^3) / 6 = \dots\dots\dots (\text{см}^3) = \dots\dots\dots (\text{л})$

$1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$ .

5. За допомогою водяного манометра визначаємо тиск, що створюється легеньми під час вдихання і видихання. Заповнюємо таблицю 1.



## Лабораторна робота № 12

### Визначення гемодинамічних характеристик виконання вправи

**Мета роботи:** 1. визначити циркуляційний об'єм крові  
2. Визначити систолічний об'єм крові. 3. Визначити витрату крові за хвилину. 4. Визначити залежність хвилинного викиду крові від інтенсивності виконаної роботи

**Матеріали і обладнання:** лінійка, секундомір, калькулятор.

### Теоретичні відомості.

#### Хід виконання роботи

1. Визначити загальний об'єм крові

$$V = m \times V_k = \dots\dots\dots (\text{мл})$$

$m$  – маса тіла в кілограмах,  $V_k$  – частка крові на 1 кг маси тіла.  
 $V_k = 77$  мл/кг для чоловіків, і 65 мл/кг для жінок.

2. Систолічний (ударний) об'єм крові визначається виходячи із твердження, що серце перекачує всю кров за 1 хвилину.

$$V_s = V/n = \dots\dots\dots (\text{мл})$$

$n$  – частота серцебиття у стані спокою.

3. Визначають положення центру маси тіла у випростаному положенні і після присідання. Знаходять різницю висоти  $H$ :

$$H = h_1 - h_2 = \dots\dots\dots (\text{м})$$

де  $h_1$  - це висота центру маси у випростуваному положенні, а  $h_2$  – у сидячому.

Таким чином, робота за одне присідання буде приблизно рівною  $(5/6mg)H$ , де  $m$  – маса тіла.  $1/6$  маси тіла не враховуємо, оскільки гомілки, стопи і частково нижня частина стегна не приймає участі у переміщенні. При цьому центр маси дещо зміститься догори, але його переміщення буде рівним переміщенню  $H$ .

4. Виконують 10 присідань за 30 секунд. Визначають ЧСС і вираховують значення хвилинного викиду крові. Після відновлення нормального значення ЧСС (воно має бути рівним попередньо визначеному) повторюють 10 присідань за 25, 20, 15 і 10с. Результати записують в табл. 12.1.

### Таблиця 12.1.

#### Значення хвилинного викиду крові

| № | Час, с | ЧСС, уд/хв | ХВК, л/хв |
|---|--------|------------|-----------|
| 1 | 30     |            |           |
| 2 | 25     |            |           |
| 3 | 20     |            |           |
| 4 | 15     |            |           |
| 5 | 10     |            |           |

5. Вираховують сумарну потужність присідань. Потужність є відношенням роботи до часу, за який вона виконана. За результатами вимірювань будують графік залежності хвилинного викиду крові від потужності виконаної роботи

Висновки \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_