

# Том 13

## Метрологія, інформаційно- вимірювальні технології та вимірювальна техніка

УДК 007.51

Глинская А.С., Коломоец Л.А., студентки гр. МВ-13-1

Научный руководитель: Белан В.Т., доцент кафедры метрологии и ИИТ

(Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»)

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Известно выражение «Движение — жизнь!» абсолютно справедливо, поскольку двигательная активность обуславливает четкую работу сердечно — сосудистой системы. Это, в свою очередь, гарантия того, что все органы и системы получают необходимое количество кислорода и питательных элементов. Здоровье — важнейшее достояние человека, основа его жизни, работоспособности, настроения и долголетия. Здоровье отражает уровень жизни, непосредственно влияет на продолжительность жизни и производительность труда, обороноспособность и активность людей.

Под влиянием активного двигательного режима наряду с уменьшением заболеваемости и длительности потери трудоспособности отчетливо улучшаются общее состояние и самочувствие человека, повышаются его работоспособность и способность противостоять утомлению, что дает большой экономический и социальный эффект. Дело в том, что в результате недостаточной двигательной активности в организме человека нарушаются нервно-рефлекторные связи, что приводит к депрессиям, сердечно - сосудистым заболеваниям, ведет к нарушению обмена веществ и расстройству регуляции других систем организма. Проще говоря, возникают застойные явления всех жидкостей организма: крови, лимфы, тканевой, спинномозговой, суставной и др., которые вместе образуют внутреннюю среду.

Для этого изучали ходьбу человека, движение рук и ног. Подсчет числа шагов человека за день с помощью шагомеров — один из эффективных приемов изучения двигательной активности.

Для измерения двигательной активности человека, мы разработали прибор.

Он состоит из:

- 1) Датчика;
- 2) Усилителя преобразователя;
- 3) Счётчика
- 4) Информационного табло.



Рисунок 1 – структурная схема измерителя двигательной активности

Датчик выдаёт импульсы. После сигнал с датчика поступает на усилитель преобразователь, где мы получаем импульсы единичного скачка. После поступает на счётчик, который считает и потом на информационное табло, которое выступает индикатором. Если оно не нужно, то можно его выключить, чтобы снизить потребление.

Далее приведена печатная плата прибора, которая состоит таких элементов:

На входе из батареи, которая состоит из конденсаторов или если подавать напряжение напрямую, то добавляем электролитический конденсатор, чтобы уменьшить пульсации; диода; резисторов мощностью 0,125Вт, конденсаторов; транзисторов

p-p-n типа, счётчиков K176 серии; семисегментных индикаторов, которые выступают информационным табло.

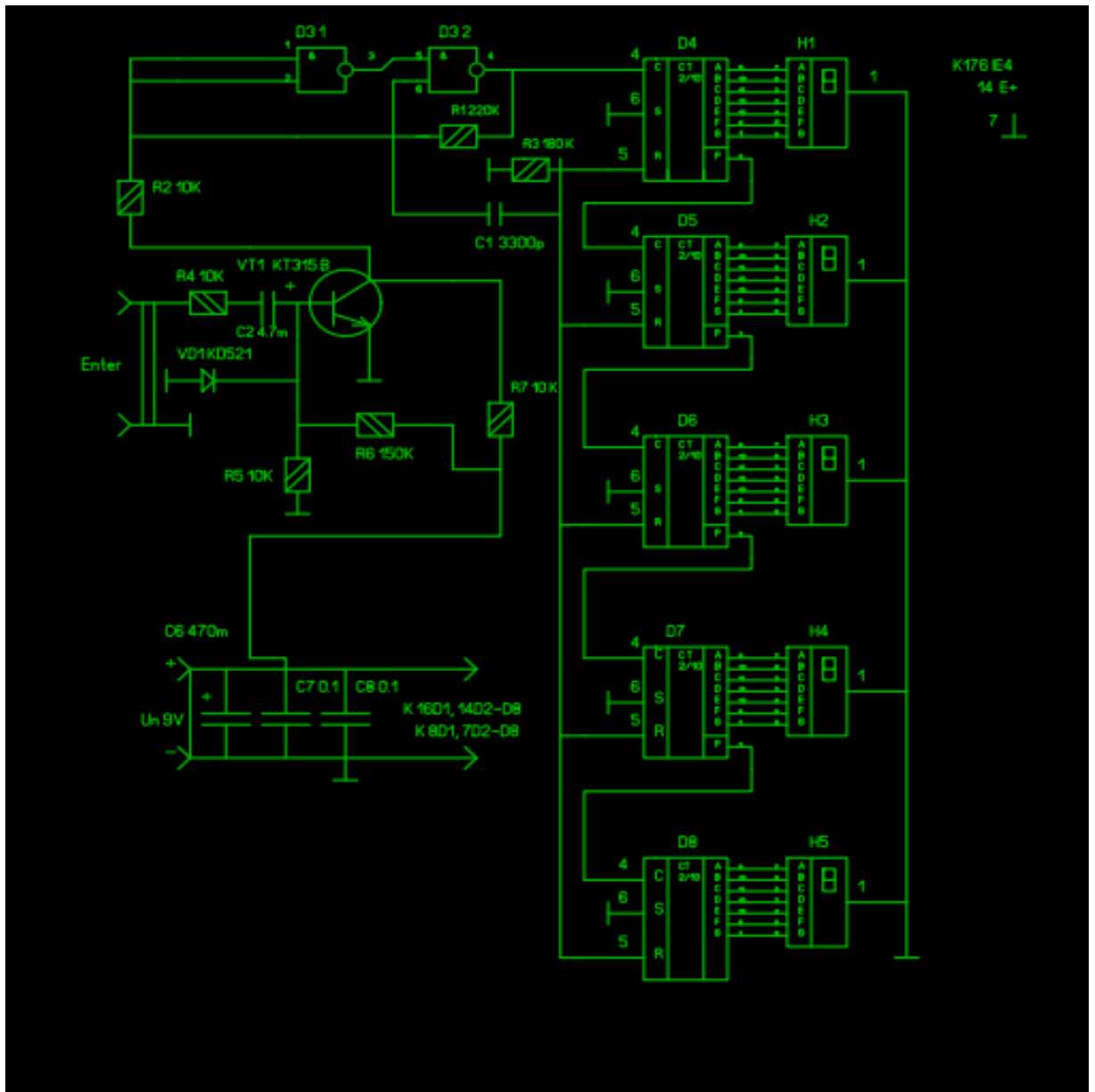


Рисунок 2 – Печатная плата измерителя двигательной активности человека

Разработанный измеритель двигательной активности человека обладает значительными преимуществами по сравнению с его аналогами:

- 1) Улавливает все движения человека, более точно их измеряет.
- 2) Компактный вид. Прибор в виде коробочки, без проводов. За счёт этого он удобен в пользовании.

УДК 006.91

Корольова М.С., студентка гр. МВ-15-1

Науковий керівник: Дороніна М.А., асистент кафедри метрології та ІВТ  
(Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпро, Україна)

### ВИБІР ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЙНИХ ВЕЛИЧИН

Для забезпечення характеристик продукції практично всіх галузей промисловості суттєву увагу приділяють вимірюванням лінійних величин – довжини, висоти, товщини, геометричної форми складових механізмів, деталей тощо, з певною точністю. У кожному окремому випадку точність вимірювання буде залежити від конструкції, умов використання, точності вимірювального приладу, а також від умов його налагодження та застосування. Необхідна точність вимірювання може бути отримана лише при правильному виборі засобів, умов і методики вимірювання, якісній підготовці їх до роботи та правильного використання. При виконанні вимірювань враховуються такі метрологічні характеристики як, нормуюче значення, чутливість приладу, ціна поділки, похибка вимірювання. Показником точності засобів вимірювання, які використовуються для визначення лінійних величин є гранична абсолютна похибка, яка виражається в мікрометрах. Правильність вибору вимірювального засобу визначається співвідношенням величини похибки вимірювання, до величини допуску до обробки в процентах, оскільки дійсний розмір це розмір, встановлений виміром з допустимою похибкою.

Згідно з ДСТУ ГОСТ 8.051:2009 вибір вимірювальних засобів з урахуванням похибок вимірювань до 500 мм, допустимі значення випадкової похибки вимірювання прийняті при довірчій ймовірності  $P = 0,95$  складають  $\pm 2\sigma$ , враховуючи що закон розподілу нормальний. Для оцінки придатності обраного засобу вимірювання порівнюють величину найбільшої граничної похибки вимірювання з випадковою складовою похибки. Якщо найбільша гранична похибка вимірювання обраного засобу вимірювання не перевищує випадкової складової похибки вимірювання при оцінці придатності даного розміру, то його можна застосувати для виміру.

Для вибору оптимального засобу вимірювання можуть використовуватися наступні методи : наближення; розрахунковий; табличний.

Побудуємо порівняльну характеристику цих методів (табл.1) за наступними критеріями: допустима похибка вимірювання, за якими умовами обирається засіб вимірювання застосування.

Таблиця 1

Порівняння методів вибору засобу вимірювання для визначення лінійних величин

Метод	Допустима похибка вимірювання	Обирається засіб вимірювання за умови	Застосування
Наближення	$\sigma_{изм} = 25\% \cdot T_{дет}$	$\pm \Delta_{зв} = (0,6 \dots 0,8)\sigma_{изм}$	при проведенні метрологічного контролю, експертизи нормативно-технічної, конструкторської, і технологічної документації

Розрахунковий	обирається в залежності від заданого квалітету точності	$\pm \Delta_{3\sigma} = (0,6 \dots 0,8) \sigma_{\text{изм.роз.}}$	при виборі засобів вимірювання для одиничного і дрібносерійного виробництва, для експериментальних досліджень, для вимірювання вибірки при статистичному методі контролю, для повторної перевірки деталей, забракованих контрольними автоматами
Табличний	$\sigma_{\text{изм}}$	$\pm \Delta_{3\sigma} = (0,6 \dots 0,8) \sigma_{\text{изм}}$	для вибору засобів вимірювання при серійному, багатосерійному і масовому виробництві

де,  $\sigma_{\text{изм}}$  - середнє квадратичне відхилення похибки вимірювання;  $\sigma_{\text{изм.роз.}}$  - розрахункове середнє квадратичне відхилення похибки вимірювання;  $T_{\text{дет}}$  - допуск розміру деталі.

Правильний вибір вимірювальних засобів має велике практичне значення, це дозволяє вірно оцінювати параметри деталей, невідбруювати придатні деталі і навпаки, та забезпечувати необхідну якість.

### Перелік посилань

1. ДСТУ ГОСТ 8.051:2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм
2. Р.Д. 50-38-86 Вибір універсальних засобів вимірювання лінійних розмірів до 500 мм. Методичні вказівки М.: Видавництво стандартів, 1987р.
3. Орлов Ю. А, Мельникова Е. П., Орлов Д. Ю., Арефьев Е.В. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/3597/1/00472.pdf>

УДК 681.2.08 (043.2)

**Редько О.О.<sup>1</sup>, провідний інженер СГМ****Запорожець А.О.<sup>2</sup>, науковий співробітник**<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна;<sup>2</sup>Інститут технічної теплофізики НАНУ, м. Київ, Україна)

## ПІДХІД ДО ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ КИСНЮ В ПОВІТРІ НА ОСНОВІ ДАНИХ ПОРТАТИВНОЇ МЕТЕОСТАНЦІЇ

Вміст кисню в атмосферному повітрі є одним з найважливіших метеорологічних факторів, що визначають здоров'я та самопочуття людей. В даній роботі пропонується спосіб модернізації портативних метеостанцій шляхом введення в алгоритм програмного керування модулю розрахунку об'ємної концентрації кисню на основі вимірних вхідних величин (температури повітря, відносної вологості та атмосферного тиску).

Портативні метеостанції широко використовуються в екології, охороні праці на виробництвах машинобудівної та гірничої промисловостях, гірському та морському туризмі, побуті тощо. Представлені на ринку цифрові портативні метеостанції масою не більше 200 г торгових марок Kestrel, WeatherHawk, Brunton, La Crosse, RST, Sunroad, TFA, Testo, Atomic, Davis забезпечують: вимірювання (із затримкою не більше 2 с) температури (від мінус 50°C до 60°C, з абсолютною похибкою (а.п.) від  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  до  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ), відносної вологості (від 0% до 100%, з а.п. від  $\pm 5\%$  до  $\pm 2\%$ ), атмосферного тиску (від 300 гПа до 1200 гПа, з а.п. від  $\pm 20$  гПа до  $\pm 1$  гПа), часу, висоти над рівнем моря, швидкості вітру, сонячної радіації, інтенсивності потоку ультра-фіолетового випромінювання; прогноз погодних змін (на основі вимірних змін тиску та вітру); розрахунок точки роси, індексу спеки та рівня охолодження вітром; реєстрацію даних та їх передачу на комп'ютер; мають в своєму складі електронний компас.

Слід відмітити, що самопочуття людей визначається не концентрацією кисню в повітрі (тобто відносною долею кисню до загального газового складу повітря), а його масовим складом у одиниці об'єму – парціальною густиною  $\text{г/м}^3$ . Виокремлюють три основних типи погодних умов: сприятливий (коливання вмісту кисню не перевищує  $5 \text{ г/м}^3$ ), помірний (зниження кисню на  $5\text{-}10 \text{ г/м}^3$  при його вмісті менше  $275\text{-}280 \text{ г/м}^3$ ) та несприятливий (падіння вагового вмісту кисню до та менше ніж  $270 \text{ г/м}^3$  або його різке зменшення більш ніж на  $15 \text{ г/м}^3$ ). Коливання масового вмісту кисню викликані більшою мірою зміною атмосферного тиску, так як чим більший тиск, тим більша густина. Тобто при встановленні зони пониженого атмосферного тиску (при проходженні теплового атмосферного фронту) масовий вміст кисню в одиниці об'єму зменшується, але при цьому його об'ємна концентрація не змінюється [1].

Першою термін парціальної густини кисню в повітрі (ПГКП) запропонувала к.м.н. Овчарова В.Ф. у сфері курортології у 1982 році, як інформативний параметр прогнозування виникнення метеопатичних реакцій у людей. Її багаторічні кліматофізіологічні дослідження, що ґрунтуються на емпіричних даних зібраних у великих містах СРСР з 1965 р. по 1983 р., спростовують твердження про стабільність вмісту кисню у повітрі на рівнинах. В роботі [2] встановлено функціональну залежність (1) зміни ПГКП, яка полягає в добовій (сезонній) динаміці та коливаннях основних метеорологічних характеристик (температури, відносної вологості повітря, абсолютного атмосферного тиску). Також відмічається, що об'ємна концентрація кисню на рівнинах, висотах та в північних широтах має приблизно однакове значення, але значення ПГКП у північних широтах значно більше за рахунок більш високого тиску. І відповідно в горах при збільшенні висоти на 500 м зменшується тиск на 50 гПа і відповідно зменшується ПГКП на  $16,7 \text{ г/м}^3$ . Значення ПГКП ( $E$ ,  $\text{г/м}^3$ ) прямо пропорційне атмосферному тиску

( $P$ , гПа) за виключенням парціального тиску водяної пари ( $e$ , гПа) і обернено пропорційно температурі повітря ( $T$ , К) (1):

$$E = 23,15 \cdot 10^3 \cdot \frac{(P - e)}{R \cdot T}, \quad (1)$$

де  $R$  – питома газова стала для сухого повітря за тиску вираженого в гПа.

В ІТТФ НАНУ проводились дослідження по підвищенню точності вимірювання коефіцієнта надлишку повітря в котлоагрегатах. Одним із шляхів було врахування дійсного значення вмісту кисню у повітрі, що подається у камеру згорання, замість загальноприйнятого значення у 21%. Була використана і доопрацьована математична модель (1): виконаний перехід від енергодинамічної системи фізичних величин до Міжнародної системи одиниць СІ та описаний розрахунок парціального тиску водяної пари. Був запропонований перехід від ПГКП до приведеної об'ємної концентрації кисню у повітрі, що має вид функції (2). Це дало можливість провести вимірювальний експеримент, який полягав у порівнянні класичного методу вимірювання кисню у повітрі із застосуванням газоаналізатору та запропонованого розрахункового методу [3]. Парціальний тиск водяної пари в (1) пропонується визначати як:

$$e(P, T', \varphi) = \varphi \cdot p_{\text{нас}}(P, T'),$$

де  $\varphi$  – вологість повітря, а  $p_{\text{нас}}$  – обчислюється згідно рекомендацій Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation,  $T'$  – температура повітря, °С:

$$p_{\text{нас}}(P, T') = f(P) \cdot r(T'); \quad f(P) = 1,0016 + 3,15 \cdot 10^{-6} - 0,074 \cdot P^{-1}; \quad r(T') = 6,112 \cdot e^{\frac{17,62T'}{243,12+T'}}.$$

Перехід до приведеної об'ємної концентрації кисню здійснювався за наступним співвідношенням, де  $P'$  – атмосферний тиск в мм.рт.ст.,  $M_{O_2}$  – молярна маса кисню:

$$[O_2] = \frac{6,236 \cdot E \cdot T}{P' \cdot M_{O_2}}.$$

$$[O_2](P, T', \varphi) = 20,957 \cdot \left( 1 - \frac{e(P, T', \varphi)}{P} \right). \quad (2)$$

Запропонований не прямий метод вимірювання забезпечує розширену невизначеність результату вимірювання (РВ) 0,03%, а прямий метод – 0,10%. Шляхом моделювання визначено, що найбільш впливовою на розшир. невизначеність РВ кисню є невизначеність РВ відносної вологості повітря. Авторами були отримані патенти України на винаходи №110761 «Спосіб визначення коефіцієнта надлишку повітря» та №110916 «Портативний газоаналізатор». В такий спосіб можна визначати масовий вміст і інших газів, що входять до складу повітря. Єдиним недоліком розрахунків є загальноприйнятий коефіцієнт 23,15 – який відображає масову частку кисню у сухому повітрі, бо це значення може різнитися по світу, особливо в індустріальних містах.

Запропонований підхід дозволяє отримати додаткову інформацію про стан атмосфери, без внесення змін в конструкцію приладу, шляхом визначення приведеної концентрації кисню розрахунковим методом з а.п. вимірювання не менше 0,08%.

#### Перелік посилань

1. Замолодчиков Д. Г. Кислород основа жизни / Д. Г. Замолодчиков // Вестник РАН. – 2006. – Т.76, № 3. – С. 209-218.
2. Методика расчета количества кислорода в атмосферном воздухе на основе метеорологических параметров с целью прогнозирования метеопатических эффектов атмосферы: (метод. рекомендации) / Гл. упр. лечеб.-профилактик. помощи; сост. В. Ф. Овчарова. – М.: МЗ СССР. – 1983. – 13 с.
3. Бабак В.П. Экспериментальные исследования изменения объемной концентрации кислорода в воздухе и его влияние на процесс горения / В.П. Бабак, А.А. Запорожец, А.А. Редько // Научни известия: Дни на безразрушителния контрол 2016, Созопол (България). – 2016 – Т.2, №2(165). – С. 361-364.

УДК 006.9::531.784 (043.2)

**Редько О.О., провідний інженер СГМ**  
**Мокійчук В.М., Головний метролог, к.т.н., доцент**  
(Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна)

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН**

Відповідно до чинної редакції Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (далі – Закон) [1] у п. 2 статті 4 відсутня категорія вимірювальних лабораторій, і зазначаються лише випробувальна та калібрувальна лабораторії в рамках системи їх добровільної акредитації. Згідно з п. 2 статті 27, калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), проводиться у тому числі акредитованими калібрувальними лабораторіями.

В Україні акредитацію випробувальних та калібрувальних лабораторій (КЛ) згідно ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 (далі – Стандарту) [2] проводить Національне агентство з акредитації України (НААУ), яке є повноправним членом ІЛАС та визнано Європейською кооперацією з акредитації (ЕА) в цій діяльності. Згідно п. 5.6.1 Стандарту устаткування (ЗВТ, випробувальне та допоміжне обладнання), яке використовується для проведення випробувань і має істотний вплив на точність та вірогідність результатів випробування повинно бути відкаліброване (з обчисленням розширеної невизначеності та доведенням метрологічної простежуваності).

Відповідно до розділу 5.4 Стандарту калібрувальна лабораторія повинна використовувати методики, що відповідають потребам замовників і придатні до проведення калібрування. КЛ повинна підтвердити правильність використання методик проведення калібрування, які можуть бути стандартизовані або не стандартизовані (розроблені лабораторією чи іншою організацією), та оцінити придатність прийнятої нею не стандартизованої методики.

На сьогодні в Україні тільки починають впроваджуватись стандартизовані методики калібрування (МК) ЗВТ із розрахунком розширеної невизначеності на національному рівні і як правило вони гармонізовані із настановами з калібрування окремих типів ЗВТ ISO, CEN або EURAMET (Європейська асоціація національних метрологічних інститутів). Для решти типів ЗВТ національні метрологічні інститути та калібрувальні лабораторії розроблюють МК самостійно спираючись на теорію процесу вимірювання, керівництва з оцінювання невизначеності (МГС, ЕА та ін.), наукову практику та досвід. Це процес далі продемонстровано на прикладі калібрування динамометричних ключів.

Динамометричні ключі широко застосовуються в важкій промисловості, авіації, судно- та автомобілебудуванні, енергетиці, металургійній, гірничо-рудній і нафтохімічній промисловості. Працівниками кафедри інформаційно-вимірювальних систем та Служби головного метролога НАУ була розроблена методика калібрування ключів моментних граничних згідно ISO 6789:2003 [4] тип II, класів А, В та G. Під час калібрування використовується метод прямого навантаження та вимірювання моменту сили за допомогою установки для калібрування (далі – калібратор) Stahlwille manutork 7791 з датчиками Sensotork 7707.

Більшість моментних ключів мають в якості пристрою спрацювання (індикатора досягнення заданого крутного моменту) храповий механізм. Механізм містить пружний елемент, початковий стан якого (на скільки він «розім'ятий») впливає на результат калібрування. Тому дуже важливо оцінити стан, щодо виходу ключа на робочий режим (Рис. 1), що дозволить зменшити невизначеність повторюваності калібрування.



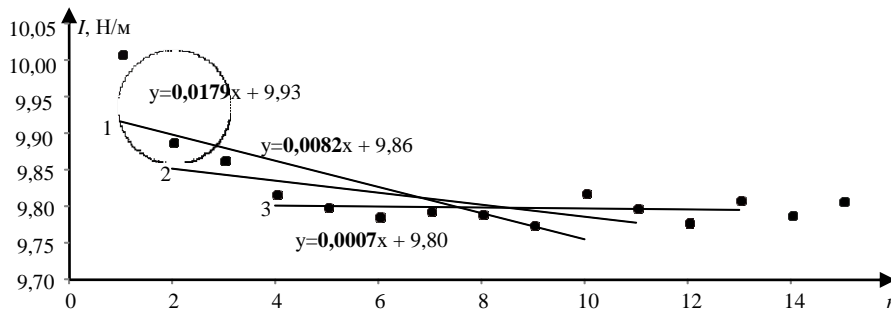


Рисунок 1 – Вихід на режим динамометричного ключа

Для зменшення впливу цієї властивості ключа було визначено початковий поріг робочого режиму на 15 експериментальних даних за кожного навантаження із застосуванням регресійного аналізу. Інформативним параметром слугував коефіцієнт кута нахилу лінійної регресійної моделі, отриманої по п'яти, сьому та десяти точкам (Рис. 1 лінії 1-3), критерієм – не значимість цього коефіцієнта.

Оцінкою запропонованого підходу є оцінки невизначеності повторюваності калібрування (1), що наведено в табл. 1.

$$u_A \% = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} / \bar{I} \cdot 100\% = \sigma_w / \bar{I} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де  $I_i$  – результати вимірювань, отримані для заданого навантаження,  $\bar{I}$  – середнє значення результатів вимірювань,  $n$  – кількість точок в робочому режимі,  $\sigma_w$  – середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання в робочому режимі.

Таблиця 1

Результати оцінювання невизначеності повторюваності в залежності від робочого режиму і навантаження

Робочий режим (з $m$ -ої точки)									
Навантаження	20%			60%			100%		
$m$	3	4	5	3	4	5	3	4	5
$\sigma_w$	0,025	0,013	0,011	0,024	0,016	0,017	0,038	0,023	0,020
$u_A$ %	0,25	0,13	0,11	0,08	0,05	0,06	0,08	0,05	0,04

Висновок: Не залежно від навантаження, проводити розрахунки результатів калібрування достатньо починаючи з 4-ої точки, де ключ виходить на робочий режим. Більше ніж 10 точок отримувати не доцільно.

#### Перелік посилань

4. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008.
5. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT) : ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. – [Чинний з 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 25 с.
6. ГСИ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности : РМГ 115-2011. – [Действует с 2012-12-28]. – Минск: ЕАСС, 2011. – 48 с.
7. Інструменти кріплення для гвинтів і гайок. Ручні динамометричні інструменти. Вимоги та методи випробувань для перевірки сумісності конструкції, відповідності якості вимогам і для повторної процедури калібрування (EN ISO 6789:2003, IDT) : ДСТУ EN ISO 6789:2014. – [Чинний з 2016-01-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ». – 15 с.