

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОПЛИННИХ ТА ДОВГОТРИВАЛИХ ПРОЦЕСІВ З ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ «НАВЧАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ІТМ»

*Литвинов Ю.В.,  
доцент кафедри фізики,  
Харківський Національний педагогічний університет ім. Г.С. Сковороди*

У статті розглянуті приклади постановки та проведення демонстрацій швидкоплинних та довготривалих процесів з використанням засобів автоматизації.

В статье рассмотрены примеры постановки и проведения демонстраций быстротечных и долговременных процессов с использованием средств автоматизации.

In this paper we consider examples of demonstrations of short-term and long-term processes using automation.

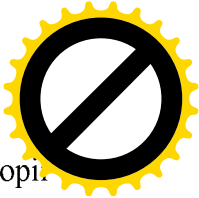
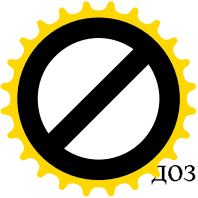
Вивчення багатьох явищ природи супроводжується демонстраціями. Сучасні засоби вимірювання, створені на основі комп'ютерних технологій дають можливість суттєво розширити коло експериментів, а також надати багатьом демонстраціям кількісного характеру.

Підбір демонстрацій здійснюється з урахуванням фізіологічних можливостей сприйняття людини. Найбільш ефективними є демонстрації, що протікають впродовж 30-60 секунд. Учень сприймає інформацію, що поступає з органів чуттів, встановлює причинно-наслідкові зв'язки, запам'ятовує послідовність перебігу явища, тощо. Якщо при цьому параметри досліджуваного процесу повільно змінюються, або є сталими, їх можна вимірювати з допомогою стрілкових приладів або приладів з цифровим дисплеєм [1]. З точки зору педагогічної практики, швидкоплинними можна вважати процеси, що відбуваються протягом часу, якого недостатньо, щоб учень зрозумів їх сутність. Повільні процеси протікають протягом тривалого проміжку часу, і також становлять проблему експериментального дослідження в межах уроку.

Велика кількість демонстрацій швидкоплинних процесів не супроводжується вимірюванням параметрів, тому, що під час демонстрації неможливо обробляти їх результати, хоча найбільш бажаним було б показати взаємозв'язок параметрів у вигляді графіків. Також велике значення має покадровий або уповільнений перегляд явища [2] синхронно з даними вимірювань.

В роботі наведено приклади проведення демонстрацій швидкоплинних процесів водночас з результатами вимірювання параметрів з використанням комп'ютерного вимірювального комплексу «Навчальна лабораторія ІТМ». Також показано, як отримані результати можна використовувати для постановки експериментальних завдань.

Використання вимірювального комплексу дає можливість вивчати кількісні характеристики швидкоплинних процесів, які неможливо отримувати з допомогою традиційних засобів. Спостереження явищ, що вивчаються, водночас з результатами вимірювань виключає розрив між зоровим сприйняттям явища, та результатами обчислень. Сумісність вимірювального комплексу з інтерактивними та мультимедійними засобами



дозволяє налагоджувати інтерфейс програми для демонстрації показів приладу всій аудиторії (демонстраційний режим) або для проведення індивідуальної роботи (лабораторний режим). В усіх експериментах використовується комп'ютер, електронний блок, відеокамера, мультимедійний проектор та програмне забезпечення «ІТМ лабораторія», тому у описах обладнання і матеріалів вказано лише змінну частину необхідних засобів.

Окрім забезпечення видимості, цифрове відео дозволяє в широких межах змінювати швидкість відтворення записаного експерименту. Комп'ютерний вимірювальний комплекс забезпечує режими паралельного та синхронного запису відео та даних вимірювань. У першому випадку, частота кадрів відео і період вимірювання не співпадають, і можуть встановлюватися окремо. При синхронному записі відео, кожному кадру відповідає точка на графіку (графіках), кількість кадрів дорівнює кількості вимірювань. Іншими словами, період зйомки кадрів дорівнює періоду вимірювання і встановлюється користувачем. Записаний швидкоплинний процес можна вивчати в уповільненому темпі, або покадрово. У такий спосіб можна вивчати заздалегідь записані експерименти або детально розбирати тільки - но проведену демонстрацію. Наведемо приклади використання відеозаписів з даними вимірювань.

#### **Демонстрація коливань пружинного маятника.**

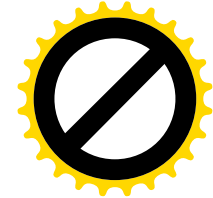
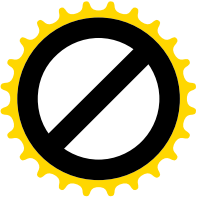
Демонстрацію проводять з метою ознайомлення учнів з найпростішою коливальною системою, її параметрами, та закономірностями, що описують коливальний процес.

**Обладнання:** штатив з лапкою; датчик «динамометр»; пружина; набір (10-100 г.) важків.

**Проведення експерименту.** Закріпіть датчик з допомогою лапки на штативі. Підвісьте на гачок динамометру пружину, а до неї – важок, масою 100 г., як показано на екранній копії (рис. 1). Підніміть важок, щоб він не навантажував пружину і відпустіть. Важок на пружині почне коливатись. Дослід проводять наживо, однак здійснюють його запис. Покадровий перегляд запису експерименту дозволяє встановити відповідність положення важка силі, що діє на гачок динамометру. У верхній частині вікна графіку відображаються значення параметрів точки на яку наведено перехрестя покажчика. Переводячи покажчик, визначте період коливань маятника. За даними запису експерименту найбільша сила діє на гачок динамометру, коли важок знаходиться у нижньому положенні і у нашому випадку становить (1,83 Н.). Це означає, що пружина знаходиться у найбільш деформованому стані, потенціальна енергія пружності максимальна, важок же має найменшу потенційну енергію відносно землі. У верхньому положенні важка, його потенційна енергія максимальна, а на гачок діє мінімальна сила (0,17 Н.), що свідчить про мінімальну енергію деформації пружини. Період коливань маятника становить 0,31 с. Коливання здійснюються навколо точки рівноваги (1 Н.).

Якщо використовується відеокамера з частотою запису 25 кадрів/с., період коливань маятника слід підібрати не менше 1 с. При цьому один період коливань буде відображено 25 – ма (або більше) точками, кожній з яких відповідатиме кадр зображення.

**Завдання.** Визначте жорсткість пружини за законом Гука. Виміряйте період коливань маятника, змінюючи масу важка. (Для збільшення точності вимірювань, визначте час, протягом якого маятник здійснює 10 20 коливань та поділіть отримане значення часу на кількість коливань). Обчисліть період коливань маятника для тих же значень маси важків за формулою:



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_{\text{г}}}{k}}$$

Зіставте значення періоду коливань, отримані з експерименту, та обчислені за формулою. Зверніть увагу на те, що розбіжність між даними експерименту та обчислень збільшується із зменшенням маси важка. Розбіжність пояснюється тим, що формула є спрощеною і не враховує внесок маси пружини у параметри коливань. Наведіть більш точну формулу періоду коливань пружинного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_{\text{г}} + \frac{m_{\text{пр}}}{3}}{k}}$$

Здійсніть градування датчика відносно видовження пружини (Додаток №1 до інструкції з експлуатації вимірювального комплексу). Проведіть вимірювання. За даними вимірювання обчисліть швидкість важка у точці рівноваги, амплітуду переміщення, кінетичну та потенціальну енергію важка у верхній, нижній точках, та у точці рівноваги. Визначте енергію деформації пружини у тих же положеннях важка.

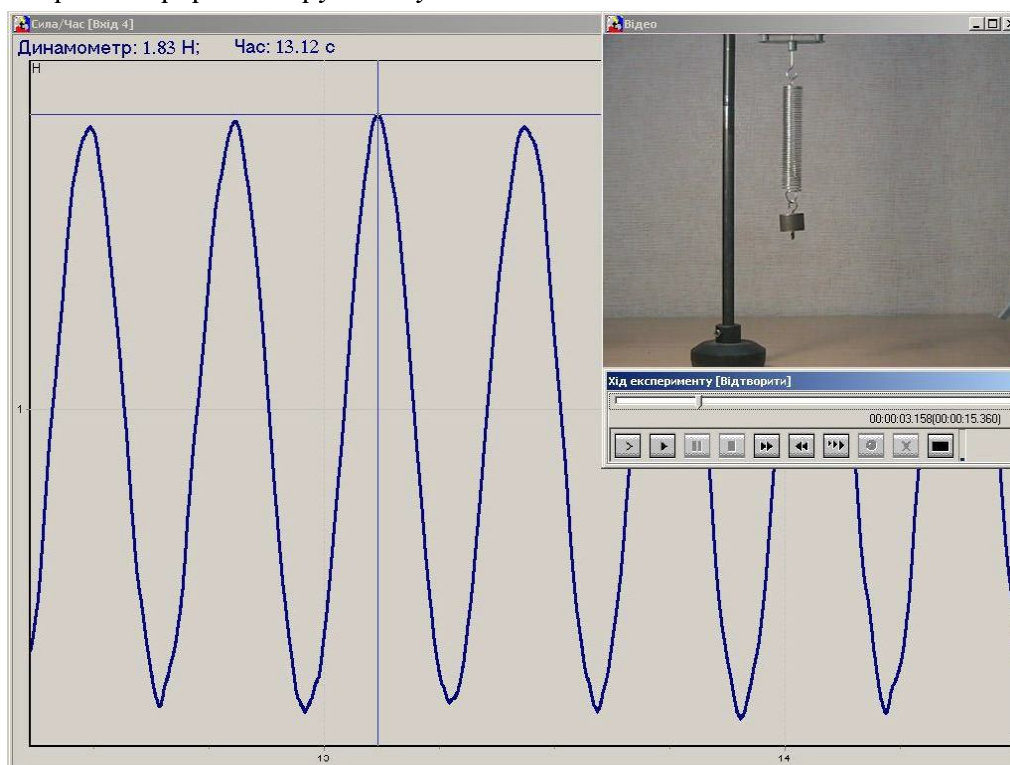


Рис. 1. Екранна копія запису коливань пружинного маятника.

### Демонстрація залежності опору металу від температури.

Демонстрацію проводять з метою виявлення факту існування явища залежності електричного опору металів від температури.

**Обладнання:** Джерело струму регульоване (0-12В, 1 А); електричний вмикач; лампочки на підставці; дровий резистор (100 Ом, 10 W) датчик «вольтметр» (0-12 В); датчик «амперметр» (0-1 А);

Залежність електричного опору металу від температури демонструють вимірюючи силу струму та напругу на зразку, контролюючи температуру нагріву. Недоліком такої демонстрації є те, що зміна опору не велика, а висновки роблять лише за показами вимірювальних приладів. Для підвищення ефективності експерименту, його можна дещо видозмінити. Замість дроту використаємо спіраль лампочки розжарювання. Наголошується,



що електричний струм, що протікає через провідник, спричиняє виділення теплоти. Учнів бачитимуть, що лампочка випромінює світло, отже, спіраль нагрівається. Більша яскравість світіння відповідатиме вищій температурі спіралі. Отже, ми не встановимо точної залежності опору спіралі від температури (це завдання вирішується у ході лабораторної роботи), оскільки температуру спіралі не вимірюємо. Незважаючи на це, демонстрація вольт – амперної характеристики лампи розжарювання, та стрибка струму у електричному колі лампочки під час включення дають уявлення про прояв досліджуваного явища в реальних електричних колах. Схему установки та екранну копію з результатами вимірювання вольт – амперної характеристики показано на рис. 2.

Спочатку знімають вольт – амперну характеристику потужного резистора, щоб освідчитись, що вона має форму прямої з постійним кутом нахилу. Потім підключають лампочку і знімають її вольт – амперну характеристику. Для забезпечення видимості, збільшене зображення спіралі відображають на екрані. Паралельно з демонстрацією, здійснюють запис експерименту. Запис потрібен для подальшого покадрового перегляду. За значеннями сили струму і напруги у різних точках графіку, визначаємо опір спіралі. На ділянці малих напруг (прямолінійний відрізок) спіраль не світиться. Потужність струму замала, щоб розігріти спіраль, а тепло, що виділяється, розсіюється завдяки теплопровідності та випромінюванню. При зростанні струму від 0 до 60 мА опір спіралі практично не змінюється і знаходиться в межах 3,4- 3,7 Ом. Подальше збільшення струму призводить до розігріву спіралі і збільшення її опору. У точці, що знаходиться на перехресті показчика ( $I = 170$  мА,  $U = 2,35$  В) опір спіралі сягає вже 13,8 Ом. Яскравість світіння спіралі лампочки зростає при збільшенні напруги.

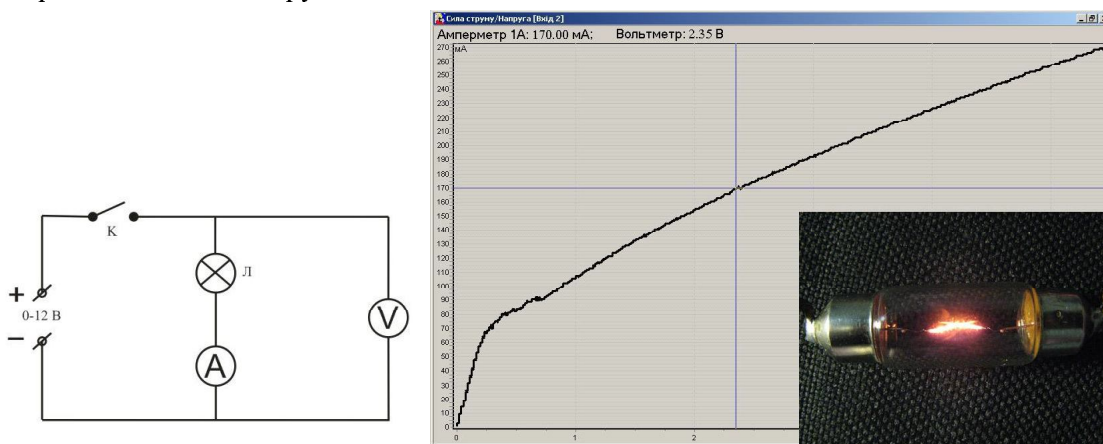
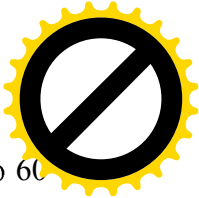


Рис. 2. Схема установки та екранна копія з результатами вимірювання вольт – амперної характеристики.

Наступна демонстрація показує, як проявляється це явище в техніці. Демонстрацію доповнюємо розповіддю про механізм перегорання спіралі лампочки розжарювання. Обмеженість строку життя лампочки розжарювання зумовлена нерівномірним випаровуванням матеріалу спіралі в місцях, де є неоднорідності структури. Це призводить до виникнення витончених ділянок з підвищеним значенням електричного опору, що є причиною ще більшого місцевого розігріву. Лампа виходить з ладу, коли температура на одній з таких ділянок підвищується до температури плавлення матеріалу спіралі. Переважно, руйнування спіралі відбувається під час включення лампочки. В момент включення спіраль лампи холодна, тому, через неї тече струм, у декілька разів більший, ніж під час її нормальної роботи. Настає момент, коли на ділянках з великим опором, під час включення,



виділяється енергія, якої достатньо для руйнування спіралі. Звичайна лампа, потужністю 60 Вт, під час включення має потужність більше ніж 700 Вт. Стрибок струму у спіралі лампочки показано на рис. 3.

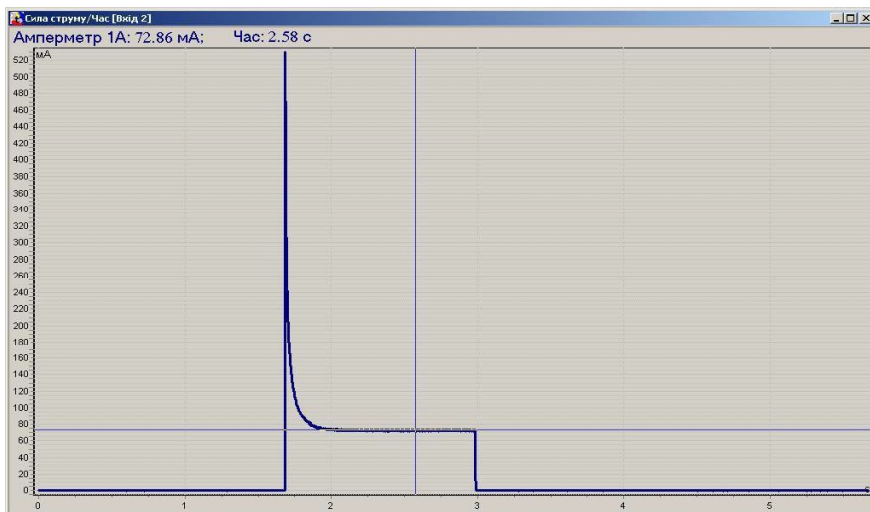


Рис. 3. Стрибок струму у спіралі лампочки в момент включення.

У демонстрації використовувалась мініатюрна сигнальна лампа, розрахована на напругу 6 В. З результатів вимірювання видно, що максимальний струм, що тече через спіраль лампи в момент включення дорівнює 530 мА, розігрів спіралі відбувається протягом 0,35 секунди, а струм у стаціонарному режимі світіння дорівнює 72,86 мА.

#### Дослідження кипіння води.

Демонстрацію проводять з метою дослідження явища кипіння рідини на різних стадіях процесу закипання.

**Обладнання:** Піч електрична лабораторна; датчик «термометр»; склянка з термостійкого скла з мірними позначками; штатив з лапкою; вода.

Демонстрація кипіння води наживо не буде ефективною. По – перше, людина у повсякденному житті стикається з цим явищем майже кожного дня; по – друге, нагрівання води в склянці до температури кипіння, триватиме 10-15 хвилин. До того ж, такий експеримент неможливо зупинити і переглянути багаторазово. На рисунку 4 показано екранну копію експерименту на стадії утворення бульбашок біля дна склянки.

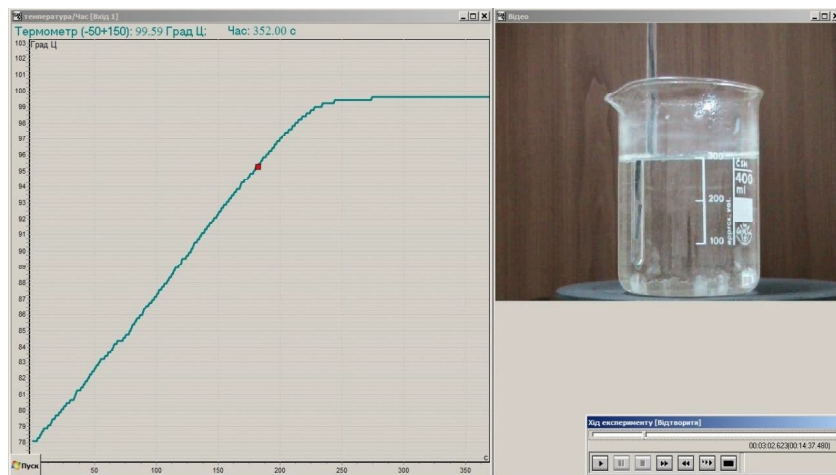
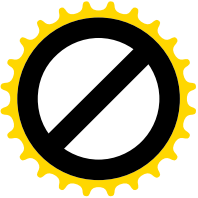


Рис. 4. Демонстрація кипіння води. Екранна копія ходу експерименту.



Записаний експеримент дозволяє спостерігати супутні фізичні явища, що супроводжують стадії нагрівання та закипання води в склянці:

- конвекцію нагрітих та холодних шарів рідини;
- утворення парогазових бульбашок біля нагрітого дна склянки;
- зникнення бульбашок при відриванні від дна;
- шум під час зникнення бульбашок;
- кипіння з утворенням бульбашок у всьому об'ємі рідини;
- сталість температури кипіння.

Запис досліду демонструють із нормальною швидкістю відтворення, скорочуючи (з коментарями) довготривалий процес нагрівання. Але, під час кипіння, бульбашки утворюються у об'ємі води дуже швидко. Для спостереження утворення бульбашок слід уповільнити швидкість відтворення в декілька разів.

Під час демонстрації слід відповісти на запитання:

- Чому під час нагрівання води в склянці, зображення фону за склянкою постійно деформується?

- Чому бульбашки, що утворюються, зникають, ледве відірвавшись від дна склянки?

- Чому перед закипанням вода шумить?

- Чи зміняться характеристики шуму, якщо висоту шару води у склянці змінити?

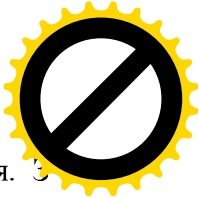
- Чому шум зникає, коли вода кипить?

- Чому під час кипіння, температура води не збільшується?

За даними вимірювань визначити час, протягом якого вся вода випарується із склянки.

На прикладі цієї демонстрації можна показати, що явища природи тісно пов'язані між собою. Абстрагування від супутніх явищ призводить до фрагментування та формалізації знань і ускладнює формування єдиної картини оточуючої дійсності.

Вивчення довготривалих процесів ускладнюється тим, що спостереження та вимірювання параметрів носить дискретний характер. Людина, яка проводить дослідження повинна через певні проміжки часу спостерігати за перебігом явища, робити вимірювання параметрів та записувати результати. Такими можуть бути спостереження за добовими, річними змінами температури, вологості, освітленості, радіаційного фону, атмосферного тиску, сонячної активності тощо. На рис. 5 показано результати вимірювання температури та відносної вологості протягом доби. Вимірювання проводились з допомогою датчиків «термометр» та «гігрометр». Швидкість зміни вологості і температури досить повільна, тому, вимірювання здійснювались з періодом 180 с. Формат відображення часу – секунди. Для дослідження довготривалих процесів можна застосовувати інші формати відображення



часу (хвилини, години, доби), що передбачено налагодженнями режимів вимірювання. З отриманих графіків видно, що відносна вологість зростає із зниженням температури. Інтервал зміни температури протягом доби становив: 1,73 – 19 °С , а відносної вологості 91% – 20%. Показчик відтворення встановлено на точку, в якій добова температура була найнижчою (близько дев'ятої години ранку). Відповідний кадр відео відображено на екрані.

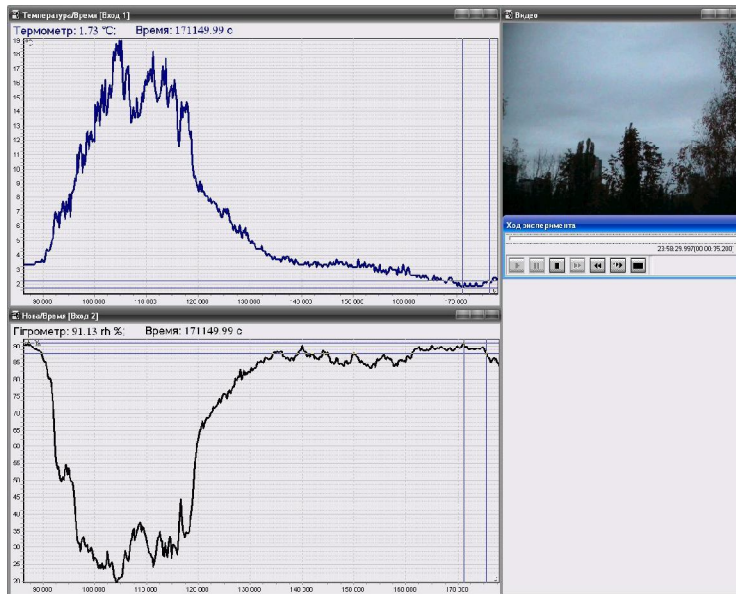


Рис. 5. Результати спостережень за зміною погоди, температури та вологості протягом доби.

Пояснення досліду може бути таким: припустимо, що у нашому випадку абсолютна кількість води у повітрі та тиск були сталими. Із збільшенням температури, максимальна можлива кількість і парціальний тиск водяної пари збільшується. Відношення ж масової долі водяної пари в повітрі до максимально можливої за даної температури – зменшується. При зменшенні температури за постійного тиску і кількості водяної пари, настає момент, коли пара насичується. При подальшому зменшенні температури, частина пари конденсується, перетворюючись на росу. Відносна вологість визначається співвідношенням:

$$RH = \frac{P}{P_{нас}} \times 100\%.$$

### Вимірювання проміжків часу.

**Обладнання:** датчик «оптопара»; штатив з двома лапками; кулька з ниткою.

Окремою категорією є експерименти, в яких потрібно вимірювати проміжки часу між подіями. Для фіксації положення рухливих об'єктів передбачено інфрачервоний датчик, що працює на відбиванні променів від перешкоди. Датчик може працювати у двох режимах. Перший режим – «Секундомір»– дозволяє виміряти проміжок часу між двома подіями, або період протікання процесу. У цьому режимі результат вимірювання відображується у вікні у вигляді цифрового табло (Рис. 6).

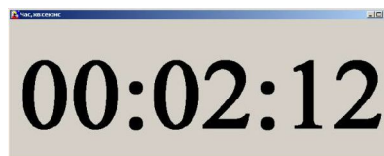
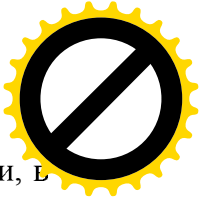


Рис. 6. Вікно відображення показів секундоміру.

Цей режим вимірювання використовують для неперіодичних процесів. Для дослідження періодичних процесів бажано бачити всю шкалу часу, протягом якого



здійснюється вимірювання. До комплексу входять два датчики. В залежності від потреби, в експерименті використовують один з них, або обидва. Точність вимірювання проміжків часу залежить від величини об'єкту, що рухається та відстані від нього. На рисунку 7 показано фото датчика з двома сенсорами та результат вимірювання періоду коливань кульки на нитці. Один сенсор закріплюють з допомогою лапки на тому ж штативі, що прикріплено нитку з кулькою. Другий сенсор не використовують. Нитку потрібно закріпити так, щоб під час коливань, вона проходила повз вікно датчика на відстані декількох міліметрів. Нитку слід обирати білу, або світлих кольорів. Дуже тонка нитка дасть малий сигнал. Амплітуда імпульсів не має значення. Сусідні за шкалою імпульси відповідають напівперіоду коливань кульки. У нашому випадку, період коливань дорівнює  $t = 1,263$  с. Вимірюючи проміжки між імпульсами, можна переконалися в тому, що період коливань кульки на нитці є сталою величиною.

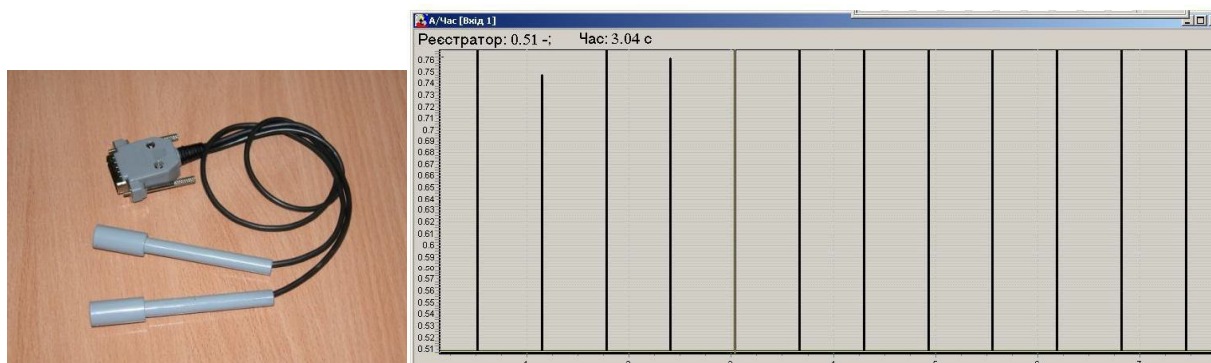


Рис. 7. Інфрачервоний датчик з двома сенсорами, та графік, на якому зафіксовано імпульси, що відповідають моментам проходження нитки повз вікно сенсору.

**Висновки.** Демонстрація явища одночасно з результатами вимірювань у вигляді графіка збільшує інформативність навчального експерименту, полегшує розуміння взаємозв'язку параметрів досліджуваного процесу та сприяє ефективному засвоєнню навчального матеріалу. Використання комп'ютерного вимірювального комплексу «Навчальна лабораторія ІТМ» дозволяє розширити коло експериментів, за рахунок демонстрації швидкоплинних та довготривалих процесів.

### Список використаної літератури

1. Олег Желюк. «Особливості експлуатації вимірювальних засобів з аналоговою і цифровою індикацією в навчальному фізичному експерименті» // Фізика та астрономія в школі.– 2004, № 4. – С. 26-28.
2. [http://www.dvduroki.ru/view\\_podkat.php?idpod=1](http://www.dvduroki.ru/view_podkat.php?idpod=1) ВИДЕО УРОКИ Наука Образование Физика.