

УДК 539.42:620.171

І. Ліманський; Р. Кравчук

¹Державне підприємство “АНТОНОВ”

²Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України

МЕТОДИКА ПІДКЛЮЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ ФОТОАПАРАТУРИ ДО СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Резюме. Цифрова фотозйомка як метод реєстрації широко застосовується при проведенні експериментів, у тому числі при дослідженні характеристик тріщиностійкості металічних матеріалів. При фотографуванні околу вершини зростаючої тріщини необхідно забезпечити взаємну прив'язку (синхронізацію) між номерами фотознімків та записами параметрів навантаження зразка у файлі даних експерименту. Для цього необхідно на основі якого-небудь зовнішнього фізичного процесу створити цифровий або аналоговий сигнал, пов'язаний з процедурою фотографування і доступний для реєстрації та подальшого оцифрування засобами контролера випробувальної машини. В якості джерела такого сигналу використовується додаткове фотографічне обладнання. Розглянуто способи підключення цього обладнання до контролера випробувальної машини і способи реєстрації та подальшого використання отриманого сигналу синхронізації.

Ключові слова: цифровий контролер, випробувальна машина, фотоапаратура, синхронізація.

I. Limansky, R. Kravchuk

PROCEDURE FOR CONNECTING DIGITAL PHOTO EQUIPMENT TO THE TESTING MACHINE CONTROL SYSTEM

Summary. Digital photography as a registration procedure is widely applied for conducting experiments, including the investigation of the fracture toughness characteristics of metallic materials. During photographing of the moving crack tip vicinity it is required to ensure the synchronization of photo numbers with the recording of the specimen loading parameters into the experiment file. To do this requires a digital or analog signal formed on the basis of a certain external physical process. This signal is related with photography and is available for recording and subsequent digitization of the testing machine by controller. A light pulse, which occurs in photoflash actuation and undergoes transformation with the help of photosynchronizer, or a command signal, which turns on the photoflash and is picked up from the central synchronizer adapter during photographing, can be used as such physical process. Depending on the configuration of the testing machine controller one can use various hardware moduli designed for connecting external devices. Use of some of these moduli requires an additional source of direct current or a model strain measuring bridge. For recording the obtained digital signal “Photo” in the course of testing one can use different algorithms of data sampling and accumulation provided by the controller manager programs. Specific features of application, advantages and disadvantages of processes of accumulation Timed Acquisition and Level Crossing Acquisition are considered.

Key words: digital controller, test machine, photographic apparatus, synchronization.

Постановка проблеми. Для визначення величин приростів Δc_i наскрізної тріщини при випробуваннях стандартних зразків $M(T)$ з попередньо вирощеними втомними тріщинами найновіші нормативні документи [1, 2] рекомендують застосовувати один з таких методів: метод оптичної мікроскопії, метод піддатливості або метод падіння електричного потенціалу.

В умовах заводських лабораторій відносно недорогим і легким в застосуванні є метод оптичної мікроскопії, що дозволяє за допомогою цифрової фотоапаратури, обладнаної насадками для макро- або мікрозйомки, отримувати достатньо якісні фотознімки околу вершини тріщини в режимі реального часу.

Незважаючи на те, що виробники фототехніки, наприклад *Canon Inc.*, пропонують комп'ютерні програми керування фотозйомкою, зйомка об'єкта випробувань, у даному випадку вершини тріщини, здійснюється незалежно від процесів реєстрації інших параметрів експерименту, що виконуються програмно-апаратними засобами цифрового контролера. Тут і далі по тексту під «цифровим контролером» матимемо на увазі автоматизовану систему керування випробувальною машиною, що складається з контролера і керуючого комп'ютера. Вона забезпечує керування випробувальною машиною і реєстрацію з подальшим записом у файл параметрів експерименту, зокрема навантаження P , видовження зразка Δl , часу навантаження зразка t та ін.

Частота фотозйомки і частота реєстрації параметрів експерименту можуть значно відрізнятись один від одного. Наприклад, для фотокамери *Canon PowerShot 7* при інтервальной фотозйомці за допомогою програми *CanonRemoteCapture* мінімальна частота фотозйомки складає 1 знімок за 5 секунд (0,2 Гц) [3], в той же час як частота реєстрації параметрів експерименту за допомогою цифрового контролера *MTS FlexGT* може досягати 49152 Гц [4].

Оскільки «фотозйомка» і «реєстрація процесу навантаження» є двома різними, найчастіше не пов'язаними між собою фізичними процесами, то процедура обробки та інтерпретації первинних даних суттєво ускладнюється. Зокрема, виникає проблема взаємної прив'язки, тобто синхронізації моментів фотографування (номерів фотознімків) із записами процесу реєстрації параметрів навантаження у файлі даних експерименту.

Процедури проведення випробувань за стандартами [1, 2] допускають фотографування околу вершини тріщини як при зупинці, так і без зупинки процесу навантаження. У випадку зупинки навантаження питання синхронізації вирішується досить просто. В іншому випадку для отримання надійних експериментальних даних необхідно забезпечити високоточну синхронізацію процесів фотографування і реєстрації контролером параметрів навантаження.

Аналіз недавніх досягнень і публікацій. Виробники випробувальної техніки позиціонують контролери випробувальних машин як вузькоспеціалізоване обладнання і не передбачають виділених ресурсів (апаратних модулів, призначених для підключення зовнішніх цифрових і аналогових пристроїв) для підключення цифрових фото- або відеокамер [4, 5]. Ліцензоване програмне забезпечення контролерів [6] не представляє кінцевим користувачам можливості розроблення окремих модулів, наприклад, модуля програмної синхронізації контролера і цифрової фотокамери. В доступних публікаціях, присвячених експериментальним дослідженням механічних властивостей матеріалів із використанням методу цифрової оптичної мікроскопії, технічні аспекти синхронізації роботи керуючої та реєструючої апаратури, як правило, не розглядаються. Автори публікацій обмежуються короткою інформацією про роздільну здатність фотоапаратури [7–10].

Мета роботи. На прикладі синхронізації цифрової фотокамери *Canon PowerShot 7* і контролера випробувальної машини *MTS FlexGT 493.10/793.00* розробити методику апаратної синхронізації керуючої і реєструючої апаратури.

Джерело командного сигналу фотозйомки. Для синхронізації номерів фотознімків з параметрами навантаження зразка необхідно на основі якого-небудь зовнішнього фізичного процесу створити цифровий або аналоговий сигнал, пов'язаний з процедурою фотографування і доступний для реєстрації з подальшим оцифруванням засобами контролера випробувальної машини (далі по тексту – сигнал «*Photo*»).

В якості такого фізичного процесу можна використовувати або імпульс світла, що виникає при спрацюванні фотоспалаху та перетворюється за допомогою

фотосинхронізатора, або командний сигнал включення фотоспалаху, що подається з фотокамери на адаптер центрального синхроконтакту при натискуванні кнопки керування затвором (кнопка «спуск»).

Фотосинхронізатори використовуються для синхронізації керування декількома фотоспалахами. Робота фотосинхронізатора, наприклад *Falcon PLS-15*, див. рис. 1а, заснована на перетворенні світлового імпульсу фотоспалаху в імпульс електричного струму, який після оцифрування може використовуватися в якості цифрового сигналу «*Photo*».

Адаптери центрального синхроконтакту (АЦС), наприклад, *Pixel TF-321 TTL*, використовуються для підключення й керування роботою зовнішнього фотоспалаху, див. рис. 1б. При підключенні цього пристрою керування вбудованим спалахом фотокамери блокується, і освітлення об'єкту зйомки здійснюється за допомогою зовнішнього фотоспалаху. Електричне коло «АЦС – фотокамера» до натискування кнопки «спуск» розімкнене, тобто електричний опір кола $R=\infty$. При фотозйомці на час відкриття затвору фотокамери відбувається короткочасне замикання цього кола. За короткий період часу величина електричного опору кола R змінюється в дуже широкому діапазоні ($\infty \rightarrow 0 \rightarrow \infty$). Завдяки наявності гнізда підключення синхрокабеля, командний сигнал керування фотоспалахом можна зареєструвати за допомогою ресурсів контролера, оцифрувати і використовувати в якості сигналу фотозйомки «*Photo*».



Рисунок 1. Фотосинхронізатор *Falcon PLS-15* (а) і адаптер центрального синхроконтакта *Pixel TF-321 TTL* (б)

Figure 1. Fotosynchronizer *Falcon PLS-15* (a) and central synchrocontact adapter *Pixel TF-321 TTL* (b)

Передавання командного сигналу фотозйомки в цифровий контролер *MTS FlexGT 493.10/793.00*. Залежно від конфігурації, контролер випробувальної машини може мати різні апаратні модулі, призначені для підключення зовнішніх пристроїв. Для контролера *MTS FlexGT 493.10/793.00* такими можуть бути модуль аналогового вводу *493.75 Analog I/O Connections*, модуль цифрового вводу-виводу *493.72 Digital I/O Connections* або модуль цифрового універсального перетворювача *493.25 Digital Universal Conditioner (DUC)* [4].

Способи передавання командного сигналу фотозйомки в контролер випробувальної машини розглянемо стосовно до АЦС *Pixel TF-321 TTL*.

Модуль аналогового вводу *493.75 Analog I/O Connections* призначений для вводу в контролер сигналів аналогових пристроїв з вихідним напруженням ± 10 В. Підключення АЦС, що виконує функцію аналогового ключа, до роз'єму J4 модуля *493.75 Analog I/O*, здійснюється через додаткове джерело живлення постійного струму з вихідним напруженням ± 8 В, див. рис. 2. До натискування кнопки «спуск» коло розімкнене й напруження на вході роз'єму J4 дорівнює $U_{\text{вх}}=0$. При фотозйомці в результаті короткочасного спрацювання аналогового ключа на вхід модуля *493.75 Analog I/O* подається сигнал $U_{\text{вх}}=\pm 8$ В.

Таким чином, у момент фотозйомки, тобто при натискуванні кнопки «спуск», амплітуда цифрового сигналу «*Photo*» змінюється від 0 до ± 8 В.

Модуль цифрового вводу-виводу 493.72 *Digital I/O Connections* призначений для вводу в контролер сигналів зовнішніх цифрових пристроїв. За таким способом підключення АЦС виступає в ролі цифрового ключа, див. рис. 3. До натискування кнопки «спуск» коло розімкнене, при фотозйомці в результаті спрацювання цифрового ключа на вхід модуля 493.72 *Digital I/O* подається сигнал $U_{\text{вх}}=12\text{ В}$.

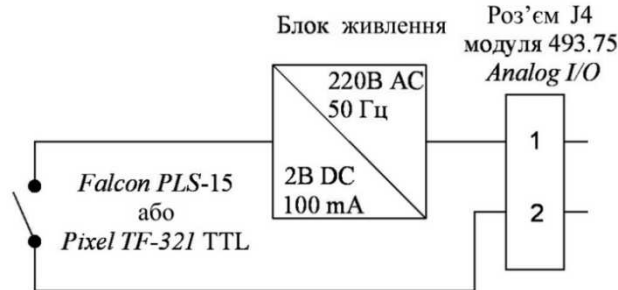


Рисунок 2. Схема підключення АЦС до модуля 493.75 *Analog I/O*

Figure 2. Connection of the central synchrocontact adapter to the module 493.75 *Analog I/O*

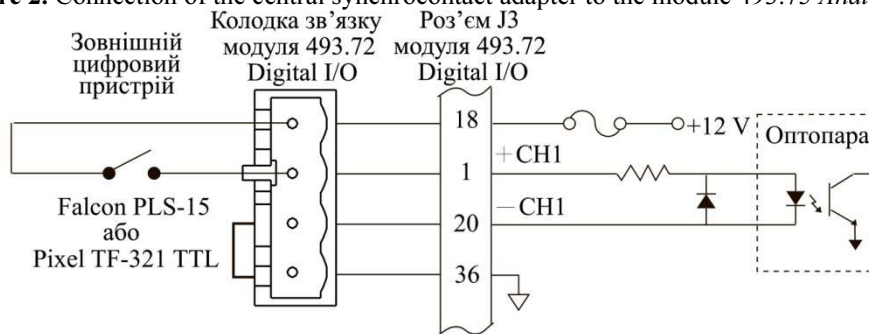


Рисунок 3. Схема підключення АЦС до модуля 493.72 *Digital I/O*

Figure 3. Connection central synchrocontact adapter to the module 493.72 *Digital I/O*

Модуль 493.25 *DUC* використовується для з'єднання контролера з зовнішніми пристроями, що мають мостову схему підключення, наприклад, з екстензометрами. Підключення АЦС до модуля 493.25 *DUC* здійснюється за допомогою макетного тензомосту, виготовленого шляхом наклеювання тензорезисторів КФ 5П1-100-200 на пластинку Д16АТ. Контакти АЦС підключаються паралельно одному з тензорезисторів, див. рис. 4.

До натискування кнопки «спуск» мостова схема збалансована, тобто при подачі на вхід тензомосту (контакти 1–4 роз'єму J4) напруження живлення $U_{\text{жив}}=5\text{ В}$, вихідне напруження (контакти 2–3 роз'єму J4) складає $U_{\text{вих}}\approx 0\text{ В}$.

При фотозйомці за рахунок паралельного підключення АЦС відбувається замикання резистора R_{13} , що призводить до розбалансування мостової схеми і викликає короточасний скачок вихідного напруження тензомосту $U_{\text{вих}}$.

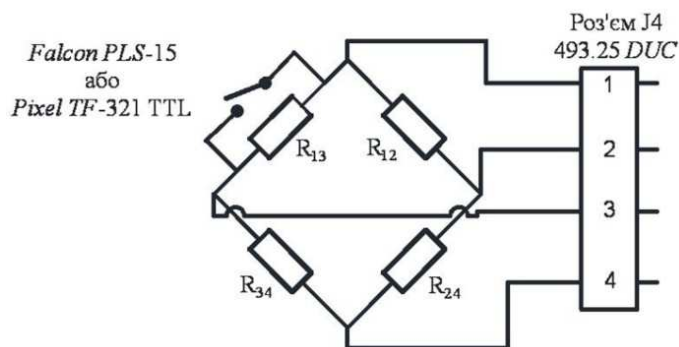


Рисунок 4. Схема підключення АЦС до модуля 493.25 DUC

Figure 4. Connection of the central synchrocontact adapter to the module 493.25 DUC

Синхронізація процедури фотографування й реєстрації параметрів навантаження зразка. Розглянуті вище способи підключення фотокамери до контролера *MTS FlexGT 493.10/793.00* дозволяють створити цифровий сигнал «*Photo*», синхронізований з вимірювальними і керуючими сигналами випробувальної машини.

При використанні програми *MTS MultiPurpose Test Ware 793.10* [5] в керуванні контролером, синхронну реєстрацію показів навантаження зразка «*P*», хода штока поршня випробувальної машини «*2v(L)*», часу навантаження зразка «*t*» і сигналу фотозйомки «*Photo*» можна здійснювати за допомогою процесів *Timed Acquisition* або *Level Crossing Acquisition*. Розглянемо їх на прикладі підключення АЦС до модуля аналогового вводу *493.75 Analog I/O Connections*.

Процес реєстрації *Timed Acquisition* призначений для неперервної реєстрації сигналів з заданою частотою. В процесі фотозйомки максимальна амплітуда сигналу «*Photo*» досягається в момент повного відкриття шторок фотозатвору. Оскільки для забезпечення чіткості отримуваних знімків фотозйомка здійснюється з малою витримкою (1/100...1/250 секунди), то запит – реєстрація сигналів «*P*», «*2v(L)*», «*t*», «*Photo*» повинна відбуватись з високою (≈ 100 Гц) частотою. На рис. 5а представлена часова розгортка сигналу «*Photo*» по часу *t*, отримана при інтервальній фотозйомці з частотою 1 кадр за 5 секунд, зареєстрована за допомогою процесу *Timed Acquisition* при частоті запиту 102 Гц. Як бачимо з рисунка, при такому способі реєстрації амплітуди вихідного сигналу «*Photo*» для кожного знімку завжди не рівні. Різниця в абсолютних величинах максимумів «*Photo*» пояснюється тим, що процеси *Timed Acquisition* і фотозйомки стартують не одночасно, частотні характеристики цих процесів суттєво відрізняються між собою, тривалість процесу «*Photo*» дуже мала і тому періоди можливого максимуму сигналу «*Photo*», що складає 8 В, в багатьох випадках не попадають у частотний інтервал реєстрації процесу *Timed Acquisition*. Непостійна величина амплітуди сигналу «*Photo*» в момент фотографування певною мірою ускладнює процедуру подальшого опрацювання файлу даних експерименту.

Процес реєстрації *Level Crossing Acquisition* дозволяє здійснювати неперервне «спостереження» за рівнем вибраного сигналу, при перевищенні якого здійснюється реєстрація значень відстежуваних сигналів. На рис. 5б представлена залежність зміни рівня сигналу «*Photo*» в часі *t*, отримана за допомогою процесу *Level Crossing Acquisition*. При перевищенні сигналом «*Photo*» рівня вище 1 В запускається процес запиту і реєстрації сигналів «*P*», «*2v(L)*», «*t*», «*Photo*». При такому способі реєстрації максимальне значення сигналу «*Photo*» практично завжди дорівнює 8 В, що відповідає

вихідному напруженню додаткового джерела живлення, див. рис. 2. Постійний рівень сигналу «*Photo*» в моменти часу, що відповідають відкриттю фотозатвору, суттєво полегшує процедуру прив'язки фотознімків до моментів часу t .

Практичне застосування методики синхронізації номерів фотознімків з параметрами діаграм навантаження представлено на рис. 6. У процесі навантаження зразка на сервогідролічній випробувальній машині УИМ-25 за допомогою фотокамери *Canon Power Shot 7* виконувалась інтервальна фотозйомка з частотою 1 кадр за 5 секунд, реєстрація сигналів «*P*», « $2\nu(L)$ », « t » і «*Photo*» проводилась за допомогою процесів *Timed Acquisition* (частота реєстрації – 102 Гц) і *Level Crossing Acquisition*.

Після закінчення навантаження зразка в файлі записів показників процесу *Level Crossing Acquisition* були визначені максимуми сигналу «*Photo*», після чого номери рядків, що містять ці максимуми, (див. рис. 5б), були синхронізовані з номерами фотознімків. При побудові графіків $P - t$ і $2\nu(L) - t$ на діаграми, отримані за допомогою високочастотного процесу *Timed Acquisition*, накладались дані з номерами фотознімків, отримані за допомогою процесу *Level Crossing Acquisition*, цифри біля кружків, якими позначені дані фотознімків, відповідають порядковим номерам фотознімків, див. рис. 6.

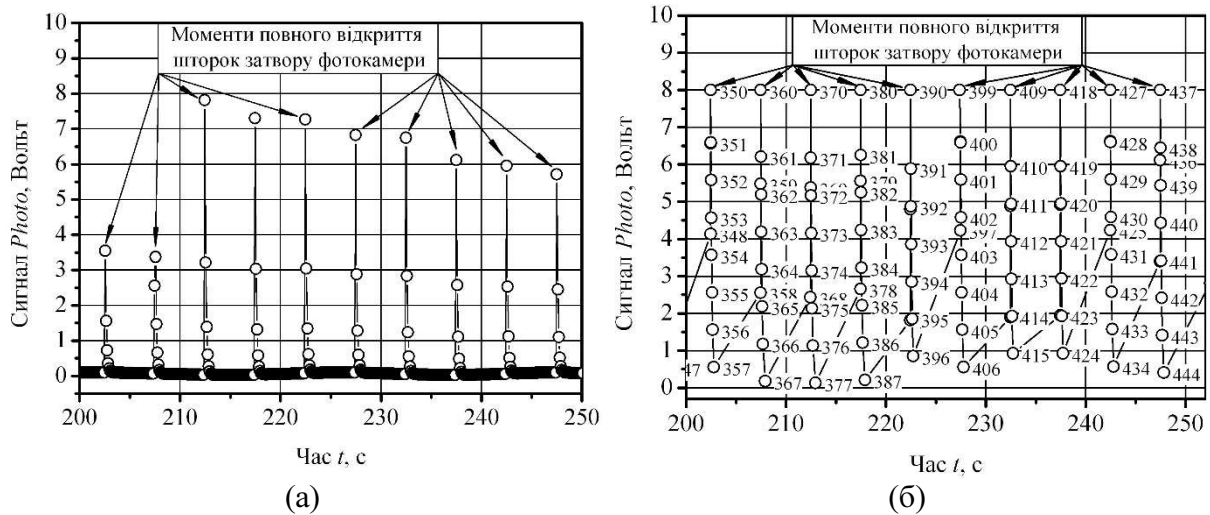


Рисунок 5. Часова розгортка сигналу «*Photo*» в процесі навантаження зразка, отримана за допомогою процесів реєстрації *Timed Acquisition* (а) і *Level Crossing Acquisition* (б). Цифри біля кружків на рисунку (б) відповідають номерам рядків у файлі даних експерименту

Figure 5. Time base of «*Photo*» signal in the process of the specimen loading obtained using the *Timed Acquisition* (a) and *Level Crossing Acquisition* (b). Numbers near the circle in Fig. (b) correspond to the number of lines in the data file of the experiment

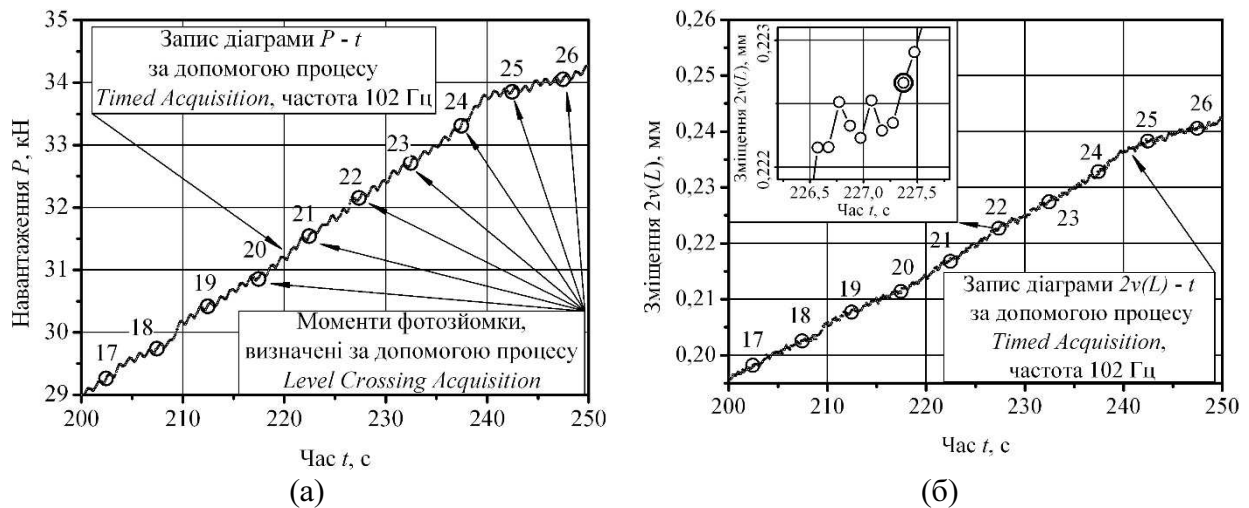


Рисунок 6. Фрагменти діаграм $P - t$ (а) і $2v(L) - t$ (б), отримані за допомогою високочастотного процесу *Timed Acquisition* з накладанням на них моментів фотозйомки, отриманих за допомогою процесу *Level Crossing Acquisition*

Figure 6. Portions of the P vs. t (a) and $2v(L)$ vs. t (b) diagrams, obtained using high-frequency process *Timed Acquisition* with superimposed on them moments of photography, obtained through processes *Level Crossing Acquisition*

Висновки. Запропоновано нові способи підключення додаткових фотографічних пристроїв до різних цифрових і аналогових ресурсів цифрового контролера *MTS FlexGT 493.10/793.00*. Розглянуто особливості використання процесів реєстрації сигналів *Timed Acquisition* і *Level Crossing Acquisition* при здійсненні синхронізації номерів фотознімків з записами процесу реєстрації параметрів навантаження у файлі даних експерименту. Незважаючи на те, що в рамках даної роботи розглядалися конкретні моделі контролера, цифрової фотокамери та додаткових фотографічних пристроїв, викладені методи підключення цифрової фотоапаратури до ресурсів контролерів випробувальних машин носять універсальний характер.

Conclusions. New procedures of connection of additional photographic devices to different digital and analog systems of digital controller *MTS FlexGT 493.10/793.00* were proposed. The features of use of processes of signal recording *Timed Acquisition* and *Level Crossing Acquisition* during synchronization of photo numbers with the recording of the specimen loading parameters into the experiment file were considered. Despite, of the fact that this paper considers specific models of controller, digital photo camera and additional photographic devices, the stated procedures for connecting digital photo equipment to the testing machine control systems are versatile.

Список використаної літератури

1. E2472-06e 1. Standard test method for determination of resistance to stable crack extension under low-constraint conditions // ASTM. – 2011. – 26 p.
2. ISO 22889, Metallic materials – Method of test for the determination of resistance to stable crack extension using specimens of low constraint // ISO Standard, 2007. – 30 p.
3. Canon PowerShot G7. Руководство пользователя // CEL-SG2EA200 – 2006. – 170 с.
4. Model 493.10/793.00 Controller Service. User manual // MTS 100-068-901E. – 2003. – 324 p.
5. Model 793.10. MultiPurpose Test Ware. User manual // MTS 100-068-915G. – 2004. – 502 p.
6. MTS 793. Управляющее программное забезпечити // MTS 028-700-156B. – 2007. – 746 с.
7. Sakhalkar, A. Crack tip opening angle measurement methods and crack tunnelling in 2024-T351 aluminium alloy / A. Sakhalkar, E. Frink, S. Mahmoud, K. Lease // Strain: An International Journal for Experimental Mechanics [Електронный ресурс]. – 2011. – Vol. 47., S1 – e130 – e141. – Режим доступа: doi: 10.1111/j.1475 – 1305.2008.00579.x.

8. Burton, W. The Effect of Measurement Distance on the Experimental Characterization of Stable Tearing Behavior in Metallic Materials / Burton W., Mahmoud S., and Lease K. // Journal of Experimental Mechanics. – 2004. – Vol. 44, № 4. – P. 425 – 432.
9. Heerens, J. On the determination of crack tip opening angle, CTOA, using light microscopy and $\delta 5$ measurement technique / Heerens J., Schodel M. // Eng. Frac. Mech. – 2003. – Vol. 70. – P. 417 – 426.
10. Darcis, Ph.P. Crack tip opening angle optical measurement methods in five pipeline steels / Darcis, Ph.P., McCowan, C.N., Windhoff, H., McColskey, J.D., Siewert, T.A. // Eng. Fract. Mech. – 2008. – Vol. 75. – P. 2453 – 2468.

Отримано 02.10.2014