

POLİMERLƏRİN MEXANİKİ MÖHKƏMLİK XASSƏLƏRİNİ ÖLÇMƏK ÜÇÜN UNİVERSAL QURĞU

Ə.A. HÜSEYNOVA, N.S. HƏTƏMZADƏ, R.B. ASLANOV, O.K. QASIMOV

AMEA-nın H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Bakı, Az 1143, H.Cavid 131

E – mail: hus.efsane@yahoo.com

Təqdim olunan işdə, polimerlərin müxtəlif tip mexaniki möhkəmlik xassələrini bir cihazda ölçməyə imkan verən yeni qurğu təsvir edilmişdir. Bu qurğunu yaratmaqda məqsəd əvvəlki qurğuda olan nöqsanları aradan qaldırmaq və müxtəlif tip ölçmələri bir qurğuda birləşdirməkdir. Nəticələr birbaşa kompüterdə qeyd edildiyi üçün ölçmələrin dəqiqliyi və həssaslığı artır. Addımlı mühərrikdən istifadə edilməsi deformasiya sürətini geniş diapazonda seçmək imkanını yaradır. Bundan başqa, sabit deformasiyanın qiymətini müxtəlif sürətlə kompüter vasitəsi ilə dəqiq vermək mümkündür. Fibroin liflərindən istifadə edərək qurğuda üç tip ölçmələr, sabit mexaniki gərginlikdə nümunənin yaşama müddətinin və nisbi uzanmasının təyini, müxtəlif deformasiya sürətlərində mexaniki qüvvə - deformasiya əsliliğinin təyini və deformasiyaların müxtəlif sabit qiymətlərində relaksasiya müddətlərinin ölçülməsi təsvir edilmişdir. Bu qurğudan istifadə etməklə müxtəlif tip və formalı (lif və ya təbəqə) polimerlərin mexaniki xassələrini hərtərəfli tədqiq etmək mümkündür.

Açar sözlər: fibroin, mexaniki möhkəmlik, yaşama müddəti, Yunq modulu.

PACS: 87.85.Jf, 87.15.La, 87.80.-y, 81.70.Bt

1. GİRİŞ

Elm inkişaf etdikcə geniş tətbiqlərə malik olan biopolimerlərdən biri də ipəkdir. O, müxtəlif orqanizmlərdən əldə edilir. İpəkqurdlarından və hörümçəklərdən alınan ipək daha geniş öyrənilmişdir. Təbiətdə müxtəlif ipəkqurdları məlumdur: *Bombyx mori*, Muqa, Atlas və s. [1]. Bunlardan ən yaxşı öyrəniləni *Bombyx mori* ipəkqurdlarından alınan ipəkdir. Əvvəllər ipək daha çox tibb sahəsində cərrahiyyə əməliyyatları zamanı tikiş vasitəsi kimi və toxuculuq sənayesində isə toxuculuq materialı kimi istifadə olunurdu. Zaman keçdikcə ipəyin tətbiq sahələri daha da genişləndi. Bu gün ipək süni toxuma mühəndisliyində, məqsədyönlü dərman daşınmasında, kosmetikada, biotexnologiyanın müxtəlif sahələrində geniş istifadə olunur. İpəkdən mühəndislikdə, hətta gülləkeçirməz jiletlərin yaradılmasında da istifadə edilir [1-6]. İpək liflər ya tək lif, ya da ipliklər formasında olurlar. *Bombyx mori* baramalarından alınan ipəyin mərkəzində əsas zülal olan iki fibroin lifi, onun ətrafında isə yapışqanabənzər serisin zülalı yerləşir [7].

İpək fibroini fibrilyar zülaldır. O iki fazadan, kristallik və amorf, təşkil olunmuşdur. Kristallik faza ipək fibroininin tərkibinin ~60% - ni təşkil edir, qalan hissəsi isə amorf fazanın payına düşür. Kristallik fazanın ~95%-i Gly-Ala-Gly-Ala-Gly-Ser təkrarlanmalarından, amorf faza isə yan zənciri daha iri olan hidrofilyar qalıqlardan təşkil olunub [7]. Fibroinin ikinci quruluşu bir-biri ilə hidrogen rabitələri ilə əlaqələnməmiş anti-paralel β -təbəqələrdən ibarətdir. Amorf fazanı formalaşdıran amin turşu ardıcılıqları β -quruluşun yaranmasına imkan vermir.

İpək fibroini molekulyar kütlələri ~ 350 kDa olan ağır zəncirdən (H – zəncir), ~26 kDa olan yüngül zəncirdən (L – zəncir) və ~ 30 kDa olan $P25$ qlipoproteinindən ibarətdir. H -, L - və $P25$ zəncirlərinin molyar nisbəti 6:6:1 kimidir [8].

Fibroin zülalının kristal fazasını təşkil edən β – quruluş zəncirlərarası hidrogen rabitələri və amin turşularının yan zəncirləri arasında baş verən Van der Vaals qarşılıqlı təsirləri ilə stabilləşir. Hidrogen rabitələri və Van

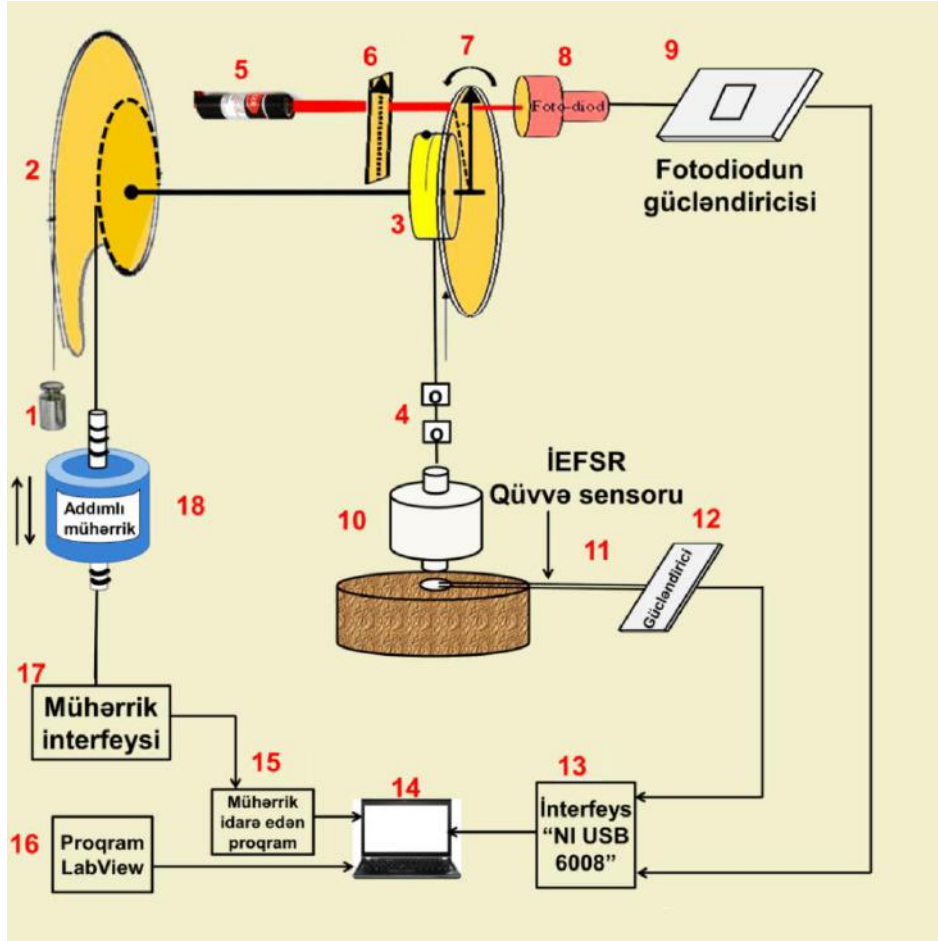
der Valls qarşılıqlı təsiri ipək liflərin stuktur və mexaniki xassələrini müəyyən edir [9].

Fibroinin tərkibində β – quruluşun üstünlük təşkil etməsi, ondan alınan materialların yüksək mexaniki möhkəmliyə malik olmasına səbəb olur. Zülalın amorf hissəsi isə ona elastiklik xassəsini verir. İpək liflər öz möhkəmliyinə görə hətta ən yaxşı sintetik materiallardan olan kevlarlardan da üstündür. *B.mori* ipək liflərinin gərilmə möhkəmliyi 740 Mpa-dır. İpək fibroin hidrogellərin, müxtəlif şəffaf təbəqələrin, lifli süngərlərin, boruların, nazik təbəqələrin, mikrotəbəqələrin hazırlanmasında istifadə olunur [10]. Fibroindən alınan materiallar yaxşı mexaniki xassələrə malikdir və aşağı bioparçalanma sürəti ilə seçilir. Onlar canlı toxumalara, həmçinin gözün buynuz qişasına implant edildikdə çox yaxşı biouyğunluq göstərir [11].

Bu məqalədə polimerlərin mexaniki möhkəmlik xassələrini ölçmək üçün yaradılan yeni universal qurğunun əhatəli təsviri və işləmə qaydası təqdim olunur. Polimerlərin mexaniki möhkəmlik xassələrini ölçmək üçün bir çox qurğular mövcud olub. Onların bəziləri çox primitivdir, bəziləri isə çox vaxt tələb edir. Bu qurğularda işlərin çoxu mexaniki olaraq əllə yerinə yetirilirdi üçün təcrübələrin xətalı da böyük olur. Hazırlanan indiki qurğu əvvəlkilərdən bir çox xüsusiyyətlərinə görə üstündür. Bu universal qurğu 3 növ ölçmələr aparmağa imkan verir və burada bütün kəmiyyətlər birbaşa kompüter vasitəsilə proqrama daxil edilir, nəticələr də birbaşa kompüterdə qeydə alınır. Qurğuda təcrübələri aparmaq üçün laboratoriyada “LabView” dilində yazılmış yeni proqram yaradılıb.

2. MATERIAL VƏ METODLAR

Təcrübələr zamanı ölçmələr diametri 25-70 mikrometr olan ipək və fibroin liflər üzərində aparılmışdır. İpəyi serisindən təmizləyib fibroin almaq üçün *Bombyx mori* baramalarından alınmış ipək 0.02 M Na_2CO_3 məhlulunda iki dəfə 30 dəqiqə qaynadılır. Daha sonra 40 dəqiqə axar suda yuyulduqdan sonra 3 dəfə distillə suyu ilə yaxalanır və otaq temperaturunda qurudulur [12].



Şəkil 1. Polimerlərin mexaniki möhkəmlik xassələrini ölçən universal qurğu:

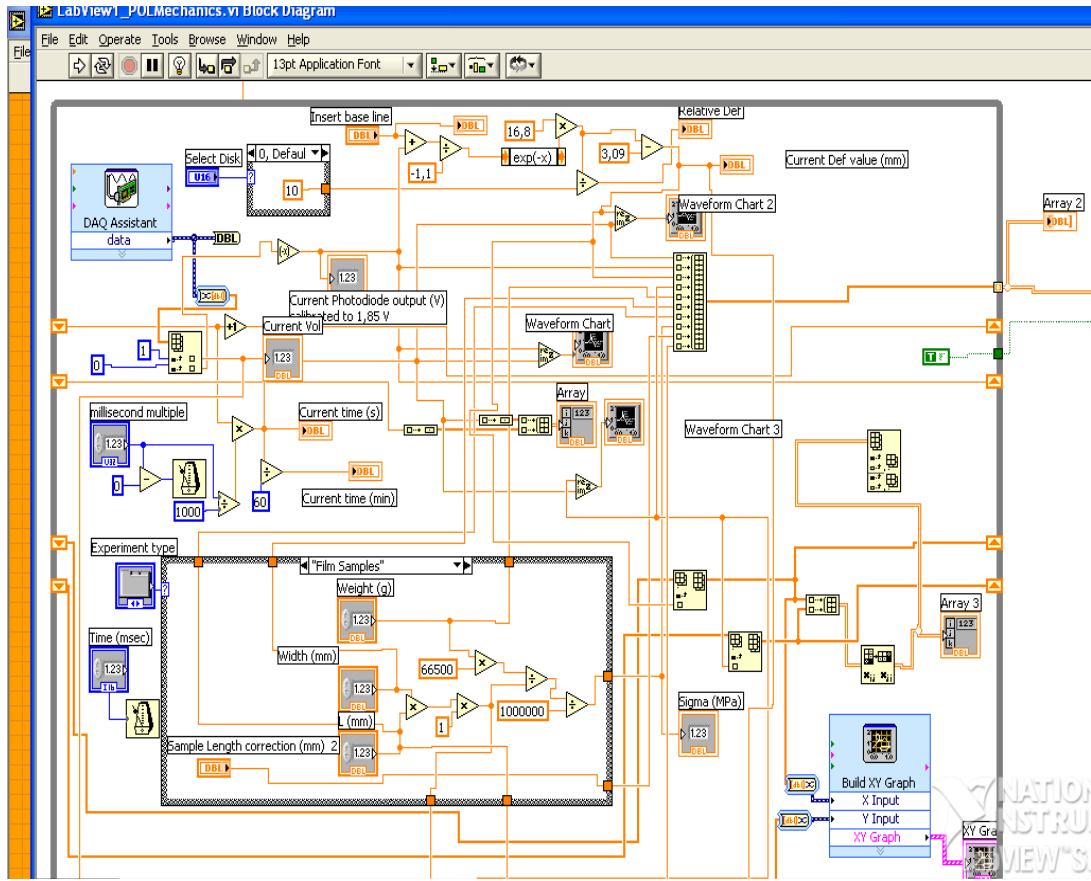
1- sabit yük; 2- universal blok; 3- sabit radiuslu ötürücü blok; 4- sxaclar; 5- lazer; 6-7 - uyğun olaraq dairəvi formada və düzbucaqlı formasında kəsilmiş müstəvi polarizatorlar; 8 - fotodiod; 9 - fotodiodun çıxışı üçün gücləndirici; 10 - qüvvə sensoru üçün sabit yük; 11- İEFSR qüvvə sensoru; 12- qüvvə sensorunun çıxışı üçün gücləndirici; 13- “NIUSB 6008” markalı kompüterə qoşulma interfeysi; 14- kompüter; 15- mühərriki idarə edən proqram; 16 - “LabView” dilində hazırlanmış yeni proqram; 17 - SMSD – 1.5 mühərrik interfeysi; 18 - H25S24 markalı addımlı mühərrik.

2.1 Qurğunun təsviri: Polimerlərin mexaniki möhkəmlik xassələrini ölçmək üçün yaradılan yeni qurğu polad sapla fiqurlu bloka birləşdirilmiş yükə (1), universal blokdan (həm sabit radiuslu, həm də fiqurlu bloku özündə birləşdirir) (2), universal blokla eyni ox üzərində bərkidilmiş sabit radiuslu ötürücü blokdan (3), sabit radiuslu ötürücü bloka polad çubuqla birləşdirilmiş tədqiq olunan nümunənin bərkidilməsi üçün sxaclardan (4), lazerdən (5), dairəvi formada və düzbucaqlı formasında kəsilmiş müstəvi polarizatorlardan (6-7), fotodioddan (8), fotodiod gücləndiricisindən (9), qüvvə sensoru üçün sabit yükə (10), İEFSR həssas qüvvə sensorundan (11), qüvvə sensorunun gücləndiricisindən (12), Nİ USB 6008 markalı kompüterə qoşulma interfeysindən (13), kompüterdən (14), mühərriki idarə edən proqramdan (15), “LabView” dilində hazırlanmış yeni proqramdan (16), SMSD-1.5 mühərrik interfeysindən (17) və H25S24 markalı addımlı mühərrikdən (18) ibarətdir. Qurğunun sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.

2.2 Qurğunun iş prinsipi: Əvvəlcə uzunluğu 15mm olan nümunə (fibroin və ya ipək) qurğudakı sxaclar (4) arasına yerləşdirilir. Daha sonra lazer işə salınır. Kompüterdə (14) “LabView” proqramı (16) açıldıqdan sonra, orada açılmış pəncərədə tədqiq edilən nümunənin tipi

seçilir və sabit yükün (1) çəkisi, nümunənin qalınlığı, diametri və uzunluğu daxil edilir.

Ölçmələrdən əvvəl qüvvə sensorunun (11) çıxış gərginliyi dərəcələnilir və buna uyğun ifadəni proqrama qoymaqla birbaşa mexaniki gərginlik MPa ilə, mexaniki qüvvə isə N ilə qeyd edilir. Bütün nəticələrin uyğunluğu üçün ölçmələrə başlamazdan əvvəl həmişə qüvvə sensorunun sabit yükü (10) 250q olduqda, sensorun göstəricisi 4.6 V gərginliyə gətirilir, başqa sözlə, 250 q yük üçün kalibrə etmə əyrisinə görə elektrik gərginliyi σ -ya çevrilir. Fotodiodun (8) deformasiya sıfır olan halda göstəricisi voltla 1.85 V olur. Bu zaman düzbucaqlı (6) və dairəvi polyarizatorun (7) polyarizasiya oxları paralel və buna görə də fotodioda düşən lazer işığının intensivliyi maksimum olur. Daha sonra addımlı mühərrik (18) vasitəsi ilə deformasiyanı artırıdınca dairəvi polyarizator saat əqrəbinin əksi istiqamətində fırlanır və uyğun olaraq onun polyarizasiya oxu da fırlandığına görə düşən lazer işığının intensivliyi azalır. Bu azalmaya uyğun olaraq fotodiodun çıxış gərginliyi dərəcələnilir və $y = -t * \ln \frac{x_0 - x}{A}$ düsturundan istifadə edilərək deformasiya birbaşa millimetrlə qeyd edilir. Buradakı parametrlər $y_0 = -0.49$, $A = 4.12$ - dir. Şəkil 2-də “LabView” proqramının sxemi verilmişdir.



Şəkil 2. “LabView” proqramının sxemi.

Yuxarıda göstərilmiş düsturlar birbaşa “LabView” proqramına daxil edilib və bunlardan istifadə edilərək mexaniki gərginlik və mexaniki deformasiya ölçülür.

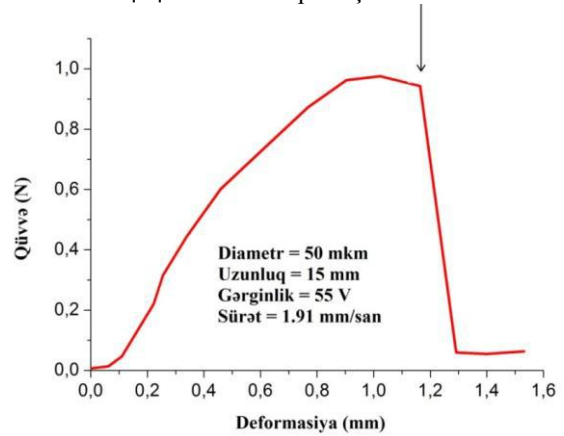
3. NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏLƏR

Təqdim olunan işdə müxtəlif deformasiya sürətlərində mexaniki qüvvə - deformasiya asılılığını təyin etmək, müxtəlif sürətlə verilmiş sabit deformasiyalarda mexaniki relaksasiyaları ölçmək və nümunənin sabit mexaniki gərginlikdə yaşama müddətini təyin etmək kimi üç tip ölçmələr aparılıb.

1-ci tip ölçmə: “Müxtəlif deformasiya sürətlərində mexaniki qüvvə - deformasiya asılılığını təyin etmək”.

Bu zaman uzunluğu 15 mm olan nümunə qurğunun sıxacları arasına bərkidilir. Daha sonra lazer, kompüterə qoşulma interfeysi, fotodiod, qüvvə sensoru işə salınır. Addımlı mühərrik vasitəsilə nümunəyə, hər hansı sürətlə qırılana qədər deformasiya verilir. Bu vaxt mexaniki qüvvə artdığı üçün deformasiya da buna uyğun olaraq artır. Ölçmə zamanı həm deformasiya, həm də mexaniki qüvvə eyni anda “LabView” proqramında qeyd olunur. Nəticələr real zamanda qrafik olaraq “LabView”- da göstərilir. Eksperiment nümunə qırılana qədər davam edir və nümunə qırılan anda sona çatır. Şəkil 3-də deformasiya sürətinin 1.91mm/san qiymətində fibroin sapında Yunq modulunun tapılması qrafiki verilmişdir. Yunq modulu $|E| = \frac{F * l_0}{S * \Delta l}$ düsturu əsasında qrafikin başlanğıc xətti hissəsindən hesablanmışdır. Burada F nümunəyə təsir edən

qüvvə, S , l_0 və Δl isə, uyğun olaraq, nümunənin en kəsinin sahəsi, ilkin uzunluğu və mütləq uzanmasıdır. Hesablamalardan $|E|=11.5\text{GPa}$ tapılmışdır.



Şəkil 3. Fibroin sapında, deformasiyanı 1.91mm/san sürətilə verməklə Yunq modulunun tapılması. Oxla göstərilən nöqtədə nümunə qırılır.

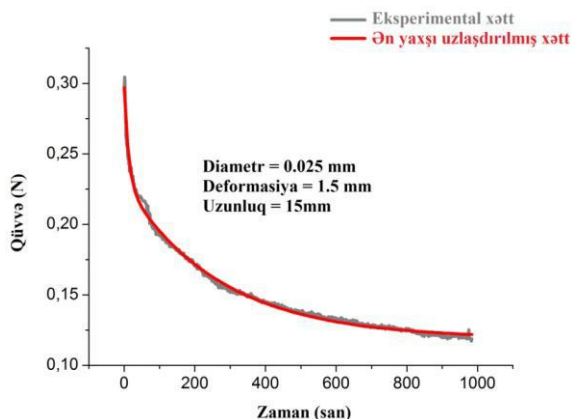
2-ci tip ölçmə: “Müxtəlif sürətlə verilmiş sabit deformasiyalarda mexaniki relaksasiyaları ölçmək”.

Bu halda da nümunə yerləşdirildikdən və qurğunun hissələri işə salındıqdan sonra nümunəyə müəyyən sürətlə sabit deformasiya (1.5mm) verilir və zaman keçdikcə mexaniki gərginliyin (mexaniki qüvvənin) qiymətinin azalması (relaksasiya) qeyd edilir. Mexaniki gərginliyin qiyməti stabilləşdikdə, eksperiment başa çatdırılır və relaksa-

siya müddəti təyin edilir. Şəkil 4-də relaksasiya müddətinin təyini üçün qrafik verilmişdir. Verilənlər

$$y = A_1 * e^{-\frac{x}{t_1}} + A_2 * e^{-\frac{x}{t_2}} + y_0$$

düsturu əsasında uzlaşdırılmışdır. Bu düsturda A_1 və A_2 eksponensialın əmsalları, t_1 və t_2 relaksasiya müddətləri, y_0 isə sabit kəmiyyətdir. Ən yaxşı uzlaşdırılmış modeldə $t_1 = 270 \pm 2 \text{ san}^{-1}$, $t_2 = 12.4 \pm 0.4 \text{ san}^{-1}$ tapılmışdır. Bu relaksasiya müddətlərini uyğun olaraq fibroinin amorf və kristallik fazasına aid etmək olar.

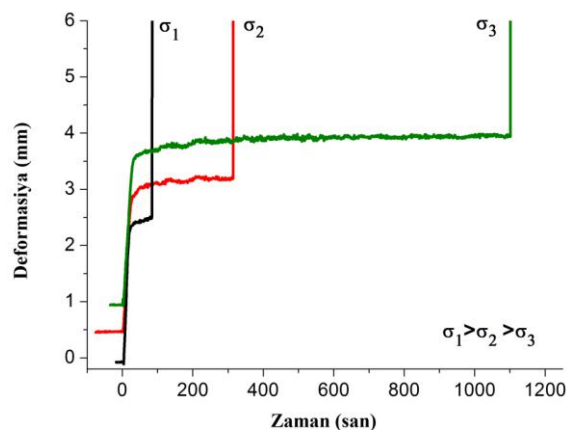


Şəkil 4. Relaksasiya müddətinin təyini qrafiki.

3-cü tip ölçmə: "Nümunənin sabit mexaniki gərginlikdə yaşama müddətini təyin etmək".

Bu tip ölçmədə sabit yük universal blokun fiqurlu blok olan hissəsindən asılır və (1) sabit yükündən istifadə etməklə nümunəyə sabit mexaniki gərginlik verilir. Bu sabit mexaniki gərginliyin təsiri altında nümunə deformasiyaya uğrayır və nəticədə dairəvi polyarizator saat əqrəbinin əksi istiqamətində fırlanır. Bu vaxt dairəvi polyarizatorun polyarizasiya oxu fırlanır və buna görə də fotodioda düşən işığın intensivliyi azalır. Bu eksperimentdən istifadə etməklə nümunənin nə qədər vaxta qırıldığı, uyğun olaraq, yaşama müddətini və deformasiyanın zaman-

dan asılılığını böyük dəqiqliklə təyin etmək olur. Şəkil 5-də müxtəlif sabit mexaniki gərginliklərdə yaşama müddətini ölçmək üçün olan təcrübələr göstərilmişdir. Yaxşı ayırd edilməsi üçün hər bir qrafik bir-birinə nəzərən Y oxu boyunca 0.5 vahid sürüldürülmüşdür. Qrafikdən göründüyü kimi $\sigma_1 = 628 \text{ MPa}$, $\sigma_2 = 545 \text{ MPa}$ və $\sigma_3 = 457 \text{ MPa}$ olduqda, nümunənin qırılması, uyğun olaraq $t_1 = 81 \text{ san}$, $t_2 = 311 \text{ san}$ və $t_3 = 1100 \text{ san}$ vaxtı baş verir.



Şəkil 5. Müxtəlif sabit mexaniki gərginliklərdə yaşama müddətinin ölçülməsi

Hər 3 növ eksperimentdə bütün asılılıqlar kompüterdə qeyd olunur, alınmış nəticələr "Excel" proqram formatında yaddaşa ötürülür, "Origin 8" proqramı ilə analiz edilir.

4. YEKUN

Yaradılan qurğunun köməyi ilə müxtəlif növ polimerlərin zamandan asılı mexaniki möhkəmlik xassələrini birbaşa kompüter vasitəsilə ölçmək olur. Bu zaman həm ölçülərin dəqiqliyi artır, həm də texniki işlərə sərf olunan vaxta xeyli qənaət edilir.

- [1] D. D. Baki Aksakal, Ekaterina Tsoibkallo. J. Appl. Polym. Sci., 2009, vol. 113, pp. 2514-2523.
- [2] R. Elia, D. R. Newhide, P. D. Pedevillano, G. R. Reiss, M. A. Firpo, E. W. Hsu, D. L. Kaplan, G. D. Prestwich, and R. A. Peattie. J. Biomater. Appl., 2013, vol. 27, no. 6, pp. 749-762.
- [3] L. Koh, Y. Cheng, C. Teng, and Y. Khin. Prog. Polym. Sci., 2015, pp. 1-25.
- [4] B. D. Lawrence, J. K. Marchant, M. A. Pindrus, F. G. Omenetto, and D. L. Kaplan. Biomaterials, 2009, vol. 30, no. 7, pp. 1299-1308.
- [5] X. Wang, T. Yucel, Q. Lu, X. Hu, and D. L. Kaplan. Biomaterials, 2010, vol. 31, no. 6, pp. 1025-1035.
- [6] E. Wenk, H. P. Merkle, and L. Meinel. J. Control. Release, 2011, vol. 150, no. 2, pp. 128-141.
- [7] Y. He, N. Zhang, W. Li, N. Jia, B. Chen, K. Zhou, J. Zhang, Y. Chen, and C. Zhou. J. Mol. Biol., 2012, vol. 418, no. 3-4, pp. 197-207.
- [8] S. Inoue, K. Tanaka, F. Arisaka, S. Kimura, K. Ohtomo, and S. Mizuno. J. Biol. Chem., 2000, vol. 275, no. 51, pp. 40517-40528.
- [9] C. Viney, J. Llorca, and M. Elices. Polymer. 2000, vol. 41, pp. 8433-8439.
- [10] D. N. Rockwood, R. C. Preda, T. Yücel, X. Wang, M. L. Lovett and D. L. Kaplan. Nat. Protoc., 2011, vol. 6, no. 10, pp. 1612-1631.
- [11] D. G. H. Laura J. Bray, Karina A. George, Shuko Suzuki, Traian V. Chirila. Bernice Wright and Che J Connon (eds), Corneal Regenerative Medicine : Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology, Chapter 11, 2013, vol. 1014, pp. 165-178.
- [12] E. Servoli, D. Maniglio, A. Motta, R. Predazzer, and C. Migliaresi. Macromolecular bioscience, 2005, 5, pp. 1175-1183.

E.A. Huseynova, N.S. Hatamzade, R.B. Aslanov, O.K. Gasyimov

**UNIVERSAL DEVICE TO MEASURE THE MECHANICAL
STRENGTH PROPERTIES OF POLYMERS**

The study describes a device that permits to measure various types of mechanical strength properties of polymers. The purpose of constructing this instrument is to combine different types of measurements in one device that eliminates the shortcomings of the previously used systems. Detection of the results directly in the computer increased the accuracy and precision of the measurements. Use of stepper motor permits to select the deformation rate in a wide range. Moreover, the constant deformation values with various speed can be directly selected from the computer. Fibroin fibers used to perform following three types of measurements: determination of the life time and relative deformation of the fiber at fixed mechanical tension; determination of relationship between mechanical force and deformation at various speed of deformation; determination of the relaxation rates at various constant deformation values. The device can be applied to various types of polymers (fiber or film) for the comprehensive study of the mechanical properties of polymers.

A.A. Гусейнова, Н.С. Хатамзаде, Р.Б. Асланов, О.К. Гасымов

**УНИВЕРСАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРОВ**

В представленной работе описано новое устройство, которое дает возможность измерить разные типы механически прочностных свойств полимеров в одном аппарате. Целью создания данного устройства было объединение разных типов измерения в одном аппарате и устранение недостатков в ранее используемых системах. Благодаря тому, что данные измерялись компьютером, увеличилась чувствительность и точность измерений. Использование шагового двигателя дает возможность выбрать скорость деформации в широком диапазоне. Кроме того, можно точно задать значение постоянной деформации с разными скоростями с помощью компьютера. Используя фиброиновые волокна в этом устройстве, проводились три вида измерения: определение долговечности и относительное удлинение образца в постоянном механическом напряжении, определение зависимости механической силы от деформации в разных скоростях деформации, измерение времени релаксации в разных постоянных деформационных значениях. Используя это устройство, можно широко исследовать механические свойства разных типов и форм (волокна и пленок) полимеров.

Qəbul olunma tarixi: 27.05.2016