

А.И. Купчишин , М.Н. Ниязов\* 

Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: [marat--90@mail.ru](mailto:marat--90@mail.ru)

## Исследование зависимости относительного удлинения от механического напряжения пленок поливинилхлорида различной ширины и длины

Экспериментально исследована зависимость относительного удлинения от механического напряжения в образцах поливинилхлорида различной ширины и рабочей длины. Целью исследования являлось изучение зависимости деформации от механического напряжения пленок поливинилхлорида различных размеров (ширины и длины). Научная и практическая значимость работы заключается в том, что данные могут послужить основой для будущих исследований. В качестве исследуемого материала был выбран пленочный поливинилхлорид толщиной 100 мкм. Листы пленки нарезались на полоски шириной 3, 5, 7, 10 мм с помощью специального нарезного устройства с регулируемой шириной и длиной нарезания образцов. Рабочая длина образцов составила: 4, 5, 6, 7, 8 см.

Испытания проводились на специальной разрывной установке РУ-50. Данная установка предназначена для исследования зависимости деформации (относительного удлинения)  $\epsilon$  от напряжения  $\sigma$ . Обнаружены существенные изменения механических свойств материала в зависимости для различных геометрических параметров. Полученные данные удовлетворительно описываются моделями авторов. Ценность данного исследования заключается в том, что результаты работы, по мнению авторов, послужат стимулом для усовершенствования механических свойств объекта исследования.

**Ключевые слова:** поливинилхлорид, механические свойства, деформация, относительное удлинение, механическое напряжение, экспоненциальная модель.

A.I. Kupchishin, M.N. Niyazov\*

Abay Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: [marat--90@mail.ru](mailto:marat--90@mail.ru)

## Study of the dependence of relative elongation on mechanical stress of polyvinyl chloride films

The dependence of relative elongation on mechanical stress in polyvinyl chloride samples of various widths and working lengths was experimentally studied. The purpose of the study was to study the dependence of deformation on mechanical stress of polyvinyl chloride films of various sizes (width and length). The scientific and practical significance of the work lies in the fact that the data can serve as the basis for future research. Polyvinyl chloride film with a thickness of 100 microns was chosen as the material under study. The film sheets were cut into strips 3, 5, 7, 10 mm wide using a special cutting device with adjustable sample cutting width and length. The working length of the samples was: 4, 5, 6, 7, 8 cm.

The tests were carried out on a special tensile testing machine RU-50. This setup is designed to study the dependence of strain (relative elongation)  $\epsilon$  on stress  $\sigma$ . Significant changes in the mechanical properties of the material were discovered depending on various geometric parameters. The data obtained are satisfactorily described by the authors' models. The value of this study lies in the fact that the results of the work, according to the authors, will serve as an incentive to improve the mechanical properties of the research object.

**Key words:** polyvinyl chloride, mechanical properties, deformation, elongation, mechanical stress, exponential model.

А.И. Купчишин, М.Н. Ниязов\*

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

\*e-mail: [marat--90@mail.ru](mailto:marat--90@mail.ru)

## **Әртүрлі ені мен ұзындықтағы поливинилхлоридті үлгілердегі салыстырмалы созылуының механикалық кернеуден тәуелділігін зерттеу**

Әртүрлі ені мен ұзындықтағы поливинилхлоридті үлгілердегі салыстырмалы ұзарудың механикалық кернеуге тәуелділігі эксперименталды түрде зерттелді. Зерттеудің мақсаты әртүрлі өлшемдегі (ені мен ұзындығы) поливинилхлоридті пленкалардың механикалық кернеуіне деформацияның тәуелділігін зерттеу болды. Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы деректердің болашақ зерттеулерге негіз бола алғынында. Зерттелетін материал ретінде қалындығы 100 мкм поливинилхлоридті пленка таңдалды. Үлгіні кесу ені мен ұзындығы реттелетін арнайы кесу құрылғысының көмегімен пленка парактары ені 3, 5, 7, 10 мм жолақтарға кесілді. Үлгілердің жұмыс ұзақтығы: 4, 5, 6, 7, 8 см. Сынақтар РУ-50 арнайы созылу сынау қондырығысында жүргізілді. Бұл қондырығы деформацияның (салыстырмалы ұзару)  $\epsilon$  кернеуге σ тәуелділігін зерттеуге арналған. Әртүрлі геометриялық параметрлерге байланысты материалдың механикалық қасиеттерінің елеулі өзгерістері анықталды. Алынған деректер авторлардың үлгілерімен қанағаттанарлық сипатталған. Бұл зерттеудің құндылығы жұмыс нәтижелері, авторлардың пікірінше, зерттеу объектісінің механикалық қасиеттерін жақсартуға ынталандыру ретінде қызмет ететіндігінде.

Түйін сөздер: поливинилхлорид, механикалық қасиеттер, деформация, созылу, механикалық кернеу, экспоненциалды модель.

### **Введение**

Полимеры – это вещества, обладающие большой молекулярной массой и к их числу, относится поливинилхлорид (ПВХ) [1 – 3], который широко используется для идентификации или рекламы клейких полимерных пленок, применяемых, среди прочего, для обертывания транспортных средств, окон и светофорных сигналов. Эти гибкие пленки ПВХ являются обычным продуктом, регулярно приобретаемым правительствами и частными компаниями, и, следовательно, качество и срок службы в условиях наружного применения должны соответствовать минимальным требованиям. В этом смысле пленка ПВХ обладает улучшенной стабильностью размеров и долговечностью [4]. Одним из основных методов получения ПВХ-пленки является каландрирование для получения однородной пленки ПВХ [5]. Однако для сравнения, методом литья можно получить более тонкие образцы ПВХ с меньшей шероховатостью, чем каландрированием. Таким образом, морфологические параметры могут быть использованы для идентификации процесса производства даже в образцах с одинаковой толщиной [6]. В настоящее время традиционные методы анализа этих материалов основаны на механических испытаниях, проводимых в соответствии со стандартами ABNT NBR 15394: 2015 [7] и ASTM G156: 2017 [8, 9], соответственно. Кроме того, размер образца,

необходимый для предлагаемой методологии, составляет всего несколько мкм, что приводит к минимальному повреждению виниловой пленки и трудности проведения механических испытаний [10]. Данный вид пленок широко применяется в различных отраслях жизнедеятельности человека. Поэтому изучение свойств ПВХ является актуальным направлением в исследовательской деятельности механиков твердых тел. В наше время распространённым является использование полимеров промышленности или композитов на их основе, которые все чаще вытесняют традиционные материалы.

Работа посвящена исследованию зависимости относительного удлинения от механического напряжения пленок поливинилхлорида различной ширины и длины.

### **Материалы и методы**

В качестве исследуемого материала был выбран пленочный поливинилхлорид толщиной 100 мкм. Листы пленки нарезались на полоски шириной 3, 5, 7, 10 мм и длиной 4, 5, 6, 7, 8 см с помощью специального нарезного устройства.

Для проведения опытов нами модернизировано оборудование для механических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб при нормальных (комнатных) и повышенных температурах. Установка состоит из механического силового блока до 5 тонн (50 кН) с

различными видами крепления образцов, позволяющего проводить испытания в широком диапазоне нагрузок и скоростей, и проводит регистрацию усилий и деформаций в процессе испытаний. Данная установка предназначена для исследования зависимости деформации (относительного удлинения)  $\varepsilon$  от напряжения  $\sigma$ . Она состоит из следующих частей: датчик силы (встроен в наконечник напряжения), датчик перемещения реостатного типа (для определения значения деформации), устройство для крепления образца и траверсы (правая и левая опоры), температурная камера, инвертер, датчик температуры, соединительные провода и интерфейс, на который выводятся данные. Все это устанавливается на нижней части разрывной машины РУ-50, которая служит как передвижной механизм. Кроме того, испытания на растяжение проводились в соответствии с ASTM-D882 Стандарт на универсальной разрывной машине модель РУ-50, со скоростью хода 0,83 мм/с при частоте переменного тока 30 Гц, которая управляется инвертором CHINT.

В установке использован интерфейс с датчиками движения и силы фирмы Science Cube. Частота сбора данных по деформации составила  $2,5 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ .

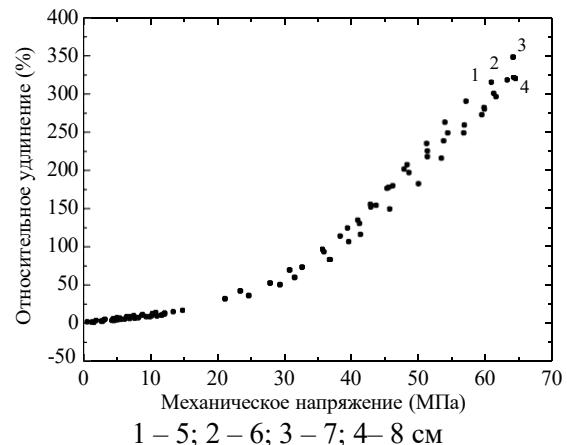
## Результаты и обсуждение

Результаты испытаний на растяжение с использованием разрывной машины РУ-50 необлученных образцов ПВХ приведены на рисунках 1–3 в виде графиков зависимости деформации от механического напряжения. Предел прочности необлученного образца по ГОСТу составил 50–65 МПа.

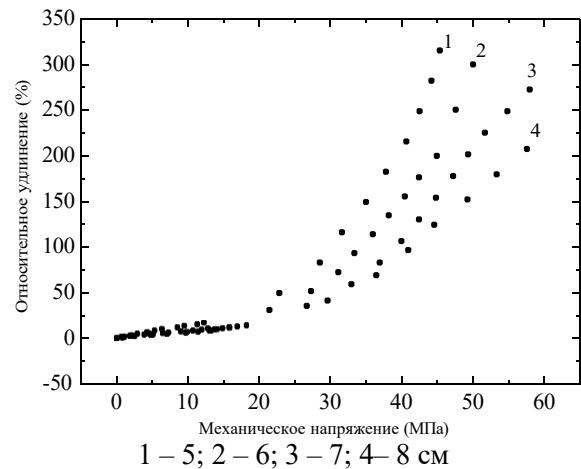
Из полученных результатов следует, что с ростом напряжения деформация материала возрастает экспоненциально. [11–13]. При этом наблюдается существенное увеличение относительного удлинения при росте механического напряжения. По графикам, на которых показаны экспериментальные данные видно, что разница в относительном удлинении образцов приблизительно 50 %. Предел прочности достиг значения 65 МПа (рисунок 1).

При сравнении показаний деформации и механических напряжений образцов разной ширины и длины получены значительные отличия в деформационных характеристиках. Образцы ПВХ с шириной 3 мм оказались прочнее на 5 МПа по отношению к пленкам того же вещества шириной 5 и 10 мм. Характер влияния скорости нагрузки на материал заметен при проведении испытаний с изменением частоты

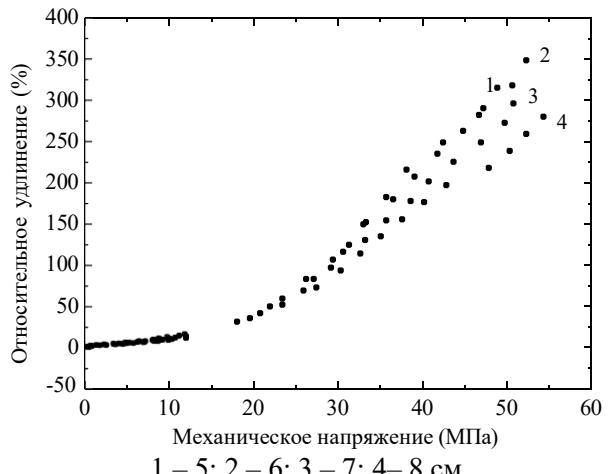
переменного тока, который вращает двигатель установки [13, 14].



**Рисунок 1** – Зависимость относительного удлинения от механического напряжения ПВХ пленки шириной 3 мм и различной длины (экспериментальные данные)



**Рисунок 2** – Зависимость относительного удлинения от механического напряжения ПВХ пленки шириной 5 мм и различной длины (экспериментальные данные)

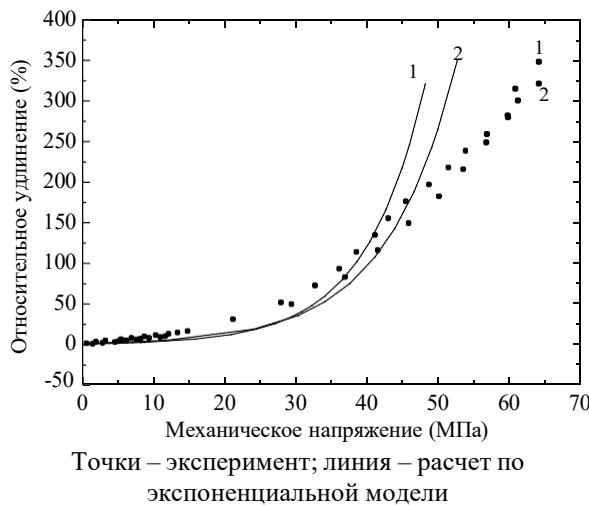


**Рисунок 3** – Зависимость относительного удлинения от механического напряжения ПВХ пленки шириной 10 мм и различной длины (экспериментальные данные)

На рисунках 4–6 показаны зависимости относительного удлинения от механического напряжения ПВХ пленок шириной 3, 5 и 10 мм и рабочей длиной 5 и 8 см. На рисунках точками обозначены экспериментальные данные, а линиями расчеты по экспоненциальной модели, которую предложили авторы:

$$\varepsilon = \varepsilon_0(\exp(\sigma/\sigma_0) - 1),$$

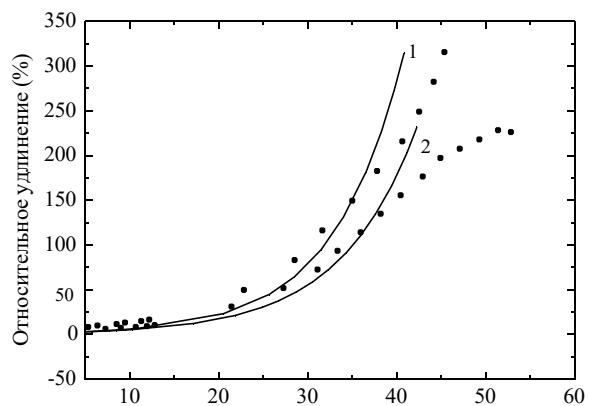
где  $\varepsilon_0$  – это начальное значение относительного удлинения,  $\sigma_0$  – напряжение, при котором параметр  $\log(\varepsilon / \varepsilon_0) + 1$  уменьшается в  $e$  раз [14–18].



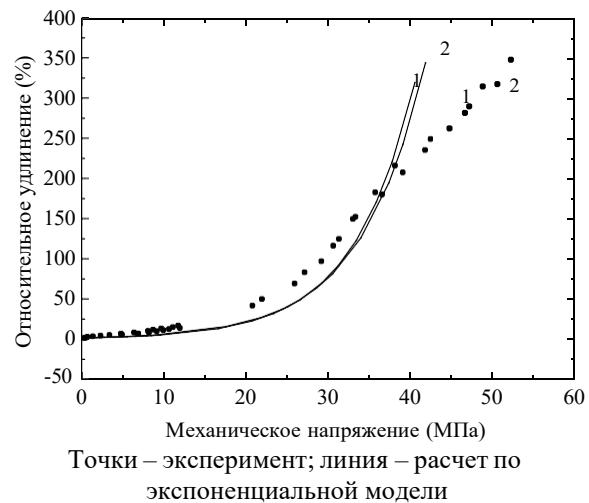
**Рисунок 4** – Зависимость относительного удлинения от механического напряжения ПВХ пленки шириной 3 мм и рабочей длиной 50 мм (кривая 1) и 80 мм (кривая 2)

Зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  не имеет физического смысла, так как механическое напряжение является аргументом, а относительное удлинение – функцией. Поэтому в наших работах представлены графики зависимости деформации от механического напряжения. Из рисунка 5 следует, что существует значительная разница в максимальной деформации образцов длиной 5 и 8 см, и она достигает порядка 100 %.

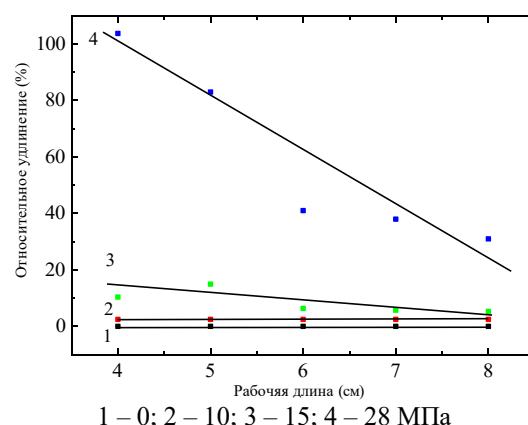
На рисунках 7 и 8 представлены зависимости деформации от длины и ширины образцов ПВХ. Из рисунков видно, что относительное удлинение убывает по мере увеличения длины образца, хотя абсолютная деформация увеличивается, но незначительно. Уменьшение относительного удлинения образца при увеличении рабочей длины объясняется тем, что рабочая длина существенно влияет на деформационные характеристики полимеров в отличие от металлов.



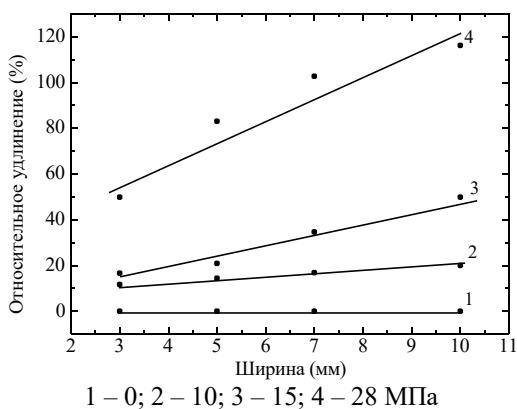
**Рисунок 5** – Зависимость относительного удлинения от механического напряжения ПВХ пленки шириной 5 мм и рабочей длиной 50 мм (кривая 1) и 80 мм (кривая 2)



**Рисунок 6** – Зависимость относительного удлинения от механического напряжения ПВХ пленки шириной 10 мм и рабочей длиной 50 мм (кривая 1) и 80 мм (кривая 2)



**Рисунок 7** – Зависимость относительного удлинения от рабочей длины испытуемых образцов ПВХ пленки шириной 5 мм при различных механических напряжениях



**Рисунок 8** – Зависимость относительного удлинения от ширины испытуемых образцов ПВХ пленки рабочей длиной 5 см при различных механических напряжениях

Рассматривая рисунок 8, можно сказать, что относительное удлинение пленки увеличивается с ростом ширины образцов, потому что с возрастанием ширины происходит повышение площади поперечного сечения материала, и это ведет к тому, что количество групп макромолекул, способных выпрямиться и влиять на максимальную деформацию с ростом удлинения – становится больше.

### Заключение

1. Проведены испытания на растяжение с использованием разрывной машины РУ-50

необлученных образцов ПВХ-пленки и получены графики зависимости деформации от механического напряжения.

2. Из полученных результатов следует, что с ростом напряжения деформация материала возрастает экспоненциально.

3. При сравнении показаний деформации и механического напряжения образцов разной ширины выявлено, что образцы ПВХ с шириной 3 мм оказались прочнее на 5 МПа по отношению к пленкам того же вещества шириной 5 и 10 мм.

4. Из полученных результатов видно, что присутствует существенная разница в максимальной деформации образцов длиной 5 и 8 см, и она достигает порядка 100 %.

5. Относительное удлинение пленки увеличивается с ростом ширины образцов, потому что при увеличении ширины происходит возрастание площади поперечного сечения материала и это ведет к тому, что групп макромолекул, способных выпрямиться и влиять на максимальную деформацию становится больше.

### Благодарность

Данная работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (проект АР19677662 «Исследование влияния электронного и ионного облучений на модифицированные композиты».)

### Литература

- 1 Peng Z. Peeling behavior of a viscoelastic thin-film on a rigid substrate // Int. J. Solids Struct. – 2014. – Vol.51 (25-26). – P.4596-4603.
- 2 Wu H., Li T., Liu B., Chen Ch., Wang Sh., Crittenden J.C. Blended PVC/PVC-g-PEGMA ultrafiltration membranes with enhanced performance and antifouling properties // Appl. Surf. Sci. – 2018. – Vol.455. – P.987-996.
- 3 Calcagno B.O., Hart K.R., Crone W.C. Calendering of metal/polymer composites: An analytical formulation // Mechan. Mater. – 2016. – Vol.93. – P.257-272.
- 4 Gavim A.E.X., et al. Water-suspended MoO<sub>3</sub> nanoparticles prepared by LASIS and fast processing as thin film by ultrasonic spray deposition Solar Energy Mater. // Solar Cells. – 2019. – Vol.200. – Art.No.109986.
- 5 Ali M. Influence of plasticizer content on the transition of electromechanical behavior of PVC gel actuator // Langmuir. – 2011. – Vol.27 (12). – P.7902-7908.
- 6 Seguchi T., Tamura K., Ohshima T., Shimada A., Kudoh H. et. al. Degradation mechanisms of cable insulation materials during radiation-thermal ageing in radiation environment // Radiation Physics and Chemistry. – 2011. – Vol.80. – Issue 2. – P 268 – 273.
- 7 Clough R.L. High-energy radiation and polymers: A review of commercial processes and emerging applications // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2001. – Vol.185. – Issues 1–4. – P.8.
- 8 Sueo Machi Prospects for the application of radiation processing and the activities of the IAEA // Radiation Physics and Chemistry. – 1998. – Vol.52. – Iss.1–6. – P 591–597.
- 9 Berejka Anthony J. Irradiation processing in the '90's: Energy savings and environmental benefits // Radiation Physics and Chemistry. – 1995. – Vol.46. – Issues 4–6. – Part 1. P.429–437.
- 10 Clough R.L., Shalaby S.W. (Eds.) Irradiation of Polymers: Fundamentals and Technological Applications. – American Chemical Society books, Washington, DC, 1996.
- 11 Komarov F.F., Kupchishin A.I., Pivovarov S.P., Tlebaev K.B., Kusainov A.T., Rukhin A.B., Pozdeeva T.V. Influence of  $\gamma$ -irradiation on the conformation of free radicals in polytetrafluoroethylene // J. of Engineering Physics and Thermophysics. – 2012. – Vol. 85. – No.2. – P.455 – 458.

- 12 Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Voronova N.A., Kirdyashkin V.I., Fursa T.V. Catastrophic models of materials destruction// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. – 2016. – Vol.110. – Art.No. 012037.
- 13 Kupchishin A.I., Muradov A.D., Taipova B.G., Voronova N.A. Catastrophic model of destruction and experimental research o polymer materials irradiated by electrons // Eurasian Physical Technical Journal. – 2009. – Vol. 6 № 1(11). – P. 16–22.
- 14 Kupchishin A.I., Tlebaev K.B. X-ray structural studies of polytetrafluoroethylene // Eurasian Physical Technical Journal. – 2018. – Vol.15. – No.1 (29). – P.29 –33.
- 15 Kupchishin A.I., Taipova B.G., Voronova N.A., Kupchishin A.A. and Shakhanov K. Dose dependences of the mechanical strength of polymer materials // Key Engineering Materials. – 2018. – Vol.781. – P.25–29.
- 16 Kupchishin A.I., Taipova B.G., Lisitsyn V.M., Niyazov M.N. Study of the influence of the electron irradiation dose on the deformation of mylar films taking into account the processes of destruction and crosslinking. – 2021. – Vol.5. – No.1 (29). – P.129–136.
- 17 Tlebaev K.B., Kupchishin A.A., Kupchishin A.I. Accumulation of free radicals in irradiated Polytetrafluoroethylene and study of its properties. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol.81. – Art.No.012005.
- 18 Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Voronova N.A., Kirdyashkin V.I., Fursa T.V. Catastrophic models of materials destruction // IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. – 2016. – Vol.110. – Art.No. 012037.

### References

- 1 Z. Peng, Int. J. Solids Struct. 51, 4596–4603 (2014).
- 2 H. Wu, T. Li, B. Liu, Ch. Chen, Sh. Wang, and J. C. Crittenden, Appl. Surf. Sci. 455, 987–996 (2018).
- 3 B.O. Calcagno, K. R. Hart, and W. C. Crone, Mechan. Mater. 93, 257–272 (2016).
- 4 A.E.X. Gavim et al., Solar Energy Mater. Solar Cells 200, 109986 (2019).
- 5 M. Ali, Langmuir 27, 7902–7908 (2011).
- 6 T. Seguchi, K. Tamura, T. Ohshima, A. Shimada, H. Kudoh et al., Radiation Physics and Chemistry 80, 268–273 (2011).
- 7 R. L. Clough, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 185, 8 (2001).
- 8 S. Machi, Radiation Physics and Chemistry 52, 591–597 (1998).
- 9 A.J. Berejka, Radiation Physics and Chemistry 46, 429–437 (1995).
- 10 R.L. Clough and S.W. Shalaby (Eds.), Irradiation of Polymers: Fundamentals and Technological Applications, (American Chemical Society, Washington, DC, 1996).
- 11 F.F. Komarov, A.I. Kupchishin, S.P. Pivovarov, K.B. Tlebaev, A.T. Kusainov, A.B. Rukhin, and T.V. Pozdeeva, J. Eng. Phys. Thermophys. 85, 455–458 (2012).
- 12 A.I. Kupchishin, B.G. Taipova, A.A. Kupchishin, N.A. Voronova, V.I. Kirdyashkin, and T.V. Fursa, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 110, 012037 (2016).
- 13 A.I. Kupchishin, A.D. Muradov, B.G. Taipova, and N.A. Voronova, Eurasian Phys. Tech. J. 6, 16–22 (2009).
- 14 A.I. Kupchishin and K.B. Tlebaev, Eurasian Phys. Tech. J. 15, 29–33 (2018).
- 15 A.I. Kupchishin, B.G. Taipova, N.A. Voronova, A.A. Kupchishin, and K. Shakhanov, Key Eng. Mater. 781, 25–29 (2018).
- 16 A.I. Kupchishin, B.G. Taipova, V.M. Lisitsyn, and M.N. Niyazov, Mater. Sci. Eng. 5, 129–136 (2021).
- 17 K.B. Tlebaev, A.A. Kupchishin, and A.I. Kupchishin, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 81, 012005 (2015).
- 18 A.I. Kupchishin, B.G. Taipova, et al, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 110, 012037 (2016).

#### История статьи:

Получена 12 июня 2024

Поступила в доработанном виде 28 Июня 2024

Принята 17 августа 2024

#### Article history:

Received 12 June 2024

Received in revised form 28 June 2024

Accepted 17 August 2024

#### Сведения об авторах:

1. **Купчишин Анатолий Иванович** – докт.физ.-мат.наук, проф., КазНПУ им.Абая, г.Алматы, Казахстан. e-mail: ankupchishin@mail.ru
2. **Ниязов Марат Нурпулатович** (автор-корреспондент) – магистр, КазНПУ им.Абая, г.Алматы, Казахстан. e-mail: [marat--90@mail.ru](mailto:marat--90@mail.ru)

#### Information about authors:

1. **Anatoliy Kupchishin** – Dr. Phys. Math Sci, Prof., Abay Kazakh National Pedagogical University Almaty Kazakhstan. e-mail: ankupchishin@mail.ru
2. **Marat Niyazov** (corresponding author) – master, Abay Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan. e-mail: [marat--90@mail.ru](mailto:marat--90@mail.ru)