

С.Н. ОВСЯННИКОВ<sup>1,2</sup>, В.Н. ОКОЛИЧНЫЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

## СИЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПЛЕНКИ ЭТФЭ\*

**Аннотация.** Исследования механических свойств пленки из этилен-тетрафторэтилена (ЭТФЭ) актуальны для широкого применения в строительстве светопрозрачных покрытий в климатических условиях России, особенно в арктической зоне. Силовые испытания выполнены для пленки толщиной 250 мкм на разрывной машине INSTRON, а также при равномерно распределенной нагрузке при положительных и отрицательных температурах. Установлен начальный модуль упругости по ГОСТ 34370-2017, который составил 1090 МПа. Для расчетов светопрозрачных покрытий выявлены три стадии нагружения. В упругой стадии работы пленки ЭТФЭ средний модуль упругости составил 35,8 МПа, в упруго-пластичной стадии – 1,78...2,71 МПа и в пластичной стадии работы – 0,06...0,086 МПа.

Силовые испытания мембраны из пленки ЭТФЭ толщиной 250 мкм на силовой треугольной раме при равномерно распределенной нагрузке до 8,577 кПа не привели к разрыву мембраны ни при положительных (+15...+18 °С), ни при отрицательных температурах (-23...-29 °С). Многократные механические повреждения (порезы) мембраны под нагрузкой 8,50 кПа при температуре -26 °С также не привели к ее разрыву. Прогибы мембраны при положительных температурах достигали 84 мм, при отрицательных температурах – 58,2 мм. Силовые испытания пленки ЭТФЭ показали ее сверхвысокие прочностные характеристики, что позволяет при локализации производства в России широко использовать ее для создания комфортной среды в сооружениях, возводимых в Арктике и на других территориях России.

**Ключевые слова:** пленка из этилен-тетрафторэтилена, механические испытания на разрыв, силовые испытания равномерно распределенной нагрузкой.

S.N. OVSYANNIKOV<sup>1,2</sup>, V.N. OKOLICHNYI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN, Moscow, Russia

## POWER TESTING OF ETFE FILM\*

**Abstract.** Studies of mechanical properties of ethylene-tetrafluoroethylene (ETFE) film they are relevant for wide application in the construction of translucent coatings in the climatic conditions of Russia, especially in the Arctic zone. Power tests were performed for a film with a thickness of 250 microns on an INSTRON bursting machine, as well as with a uniformly distributed load at positive and negative temperatures. The initial modulus of elasticity according to GOST 34370-2017 was established, which was 1090 MPa. Three loading stages have been identified for the calculations of translucent coatings. In the elastic stage of operation of the ETFE film, the average modulus of elasticity was 35.8 MPa, in the elastic-plastic stage – 1.78...2.71 MPa and in the plastic stage of operation – 0.06...0.086 MPa.

© Овсянников С.Н., Околичный В.Н., 2022

\* Исследование выполнено по заказу ФГУП «ГНПП «КРОНА» по теме «Поиск, исследование и анализ решений несущих, ограждающих конструкций и оснований для создания большепролетных климатических искусственных укрытий для условий районов Крайнего Севера и вечной мерзлоты» и при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по проекту FEMN-2020-0003.

*Force tests of a membrane made of ETFE film with a thickness of 250 microns on a power triangular frame with a uniformly distributed load of up to 8,577 kPa did not lead to rupture of the membrane at any positive (+15 ...+18 °C) not at subzero temperatures (-23...-29 °C). Repeated mechanical damage (cuts) of the membrane under a load of 8.50 kPa at a temperature of -26 °C also did not lead to its rupture. The deflections of the membrane at positive temperatures reached 84 mm, at negative temperatures – 58.2 mm. Power tests of the ETFE film have shown its ultra-high strength characteristics, which makes it possible to widely use it to create a comfortable environment in structures erected in the Arctic and other territories of Russia when localizing production in Russia.*

**Keywords:** ethylene-tetrafluoroethylene film, mechanical tensile tests, power tests with evenly distributed load.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новое в технологии соединений фтора: Пер. с японск./ Под ред. Н. Исикавы. М.: Мир, 1984. 592 с.
2. Houtman R. Materials used for architectural fabric structures / in Llorens J.I // Fabric Structures in Architecture. Woodhead Publishing, Boston, MA. 2015. Pp. 101-120.
3. Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласты. Л.: Химия, 1978. 232 с.
4. Robinson-Gayle S., Kolokotroni M., Cripps A., Tanno S. ETFE foil cushions in roofs and atria // Constr. Build. Mater. 2001. No. 15 (7). Pp. 323–327.
5. Chilton J. Lightweight envelopes: ethylene tetra-fluoro-ethylene foil in architecture // Proc. Inst. Civ. Eng. Constr. Mater. 2013. No. 166 (6). Pp. 343–357.
6. Chilton J., Lau B. Lighting and the visual environment in architectural fabric structures, in: Fabric Structures in Architecture. 2015. Pp. 203–219.
7. Robinson L.A. Structural Opportunities of ETFE (Ethylene Tetra Fluoro Ethylene), Massachusetts Institute of Technology. 2005. 66 p.
8. Hu J., et al. Buildings with ETFE foils: A review on material properties, architectural performance and structural behavior // Construction and Building Materials. 2017. No. 131. Pp. 411-422.
9. Charbonneau L., Polak M.A., Penlidis A. Mechanical properties of ETFE foils: testing and modelling // Constr. Build. Mater. 2014. No. 60. Pp. 63–72.
10. Li Y., Wu M. Uniaxial creep property and viscoelastic–plastic modelling of ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) foil // Mech. Time-Depend. Mater. 2015. No. 19 (1). Pp. 21–34.
11. Chen W., Tang Y., Ren X., Dong S. Analysis methods of structural design and characteristics of numerical algorithm for ETFE air inflated film structures // Spat. Struct. 2010. No.16 (4). Pp.38–43.
12. Hu J., Chen W., Sun R., Zhao B., Luo R. Mechanical properties of ETFE foils under uniaxial cyclic tensile loading // Build. Mater. 2015. No.18 (1). Pp. 69–75.
13. Hu J., Chen W., Luo R., Zhao B., Sun R. Uniaxial cyclic tensile mechanical properties of ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) foils // Constr. Build. Mater. 2014. No. 63 (1). Pp. 311–319.
14. Schmid G. ETFE cushions and their thermal and climatic behaviour, in: Tensinet Symposium, Milan, Italy. 2007. Pp. 115–125.
15. Hu J., Chen W., Zhao B., Song H. Experimental studies on summer performance and feasibility of a BIPV/T ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) cushion structure system // Energy Build. 2014. No.69 (1). Pp.394–406.
16. Hu J., Chen W., Zhao B., Song H. Experimental studies on system performance of PV-ETFE cushion system in winter, J. Zhejiang Univ. (Eng. Sci.). 2014. No. 48 (10). Pp. 1816–1821.
17. Zehentmaier S. Fluoropolymers in Film Applications // 27th Annual World Symposium on Performance Films. Duesseldorf. April. 2012.
18. Цеентмайер С. Пленочные фторполимеры / пер. А. П. Сергеевкова // Полимерные материалы. 2018. № 8. С. 30–38.
19. Chen W. Design of Membrane Structure Engineering, China Building Industry Press. 2010.
20. Tanigami T., Yamaura K., Matsuzawa S., Ishikawa M., Mizoguchi K., Miyasaka K. Structural studies on ethylene-tetrafluoroethylene copolymer 1. Crystal structure, Polymer. 1986. No.27 (7). Pp. 999–1006.
21. Kawabata M. Viscoplastic Properties of ETFE Film and Structural Behavior of Film Cushion, International Association for Shell and Spatial Structures Symposium, Venice, Italy, 2007.

## REFERENCES

1. New in the technology of fluorine compounds: Per. from Japanese / Ed. N. Ishikawa. M.: Mir. 1984. 592 p.
2. Houtman R. Materials used for architectural fabric structures / in Llorens J.I // Fabric Structures in Architecture. Woodhead Publishing, Boston, MA. 2015. Pp. 101-120.
3. Panshin Yu.A. Malkevich S.G., Dunaevskaya Ts.S. Fluoroplasts. L.: Chemistry, 1978. 232 p.

4. Robinson-Gayle S., Kolokotroni M., Cripps A., Tanno S. ETFE foil cushions in roofs and atria // *Constr. Build. Mater.* 2001. No. 15 (7). Pp. 323–327.
5. Chilton J. Lightweight envelopes: ethylene tetra-fluoro-ethylene foil in architecture // *Proc. Inst. Civ. Eng. Constr. Mater.* 2013. No. 166 (6). Pp. 343–357.
6. Chilton J., Lau B. Lighting and the visual environment in architectural fabric structures, in: *Fabric Structures in Architecture*. 2015. Pp. 203–219.
7. Robinson L.A. *Structural Opportunities of ETFE (Ethylene Tetra Fluoro Ethylene)*, Massachusetts Institute of Technology. 2005. 66 p.
8. Hu J., et al. Buildings with ETFE foils: A review on material properties, architectural performance and structural behavior // *Construction and Building Materials*. 2017. No. 131. Pp. 411–422.
9. Charbonneau L., Polak M.A., Penlidis A. Mechanical properties of ETFE foils: testing and modelling // *Constr. Build. Mater.* 2014. No. 60. Pp. 63–72.
10. Li Y., Wu M. Uniaxial creep property and viscoelastic–plastic modelling of ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) foil // *Mech. Time-Depend. Mater.* 2015. No. 19 (1). Pp. 21–34.
11. Chen W., Tang Y., Ren X., Dong S. Analysis methods of structural design and characteristics of numerical algorithm for ETFE air inflated film structures // *Spat. Struct.* 2010. No.16 (4). Pp.38–43.
12. Hu J., Chen W., Sun R., Zhao B., Luo R. Mechanical properties of ETFE foils under uniaxial cyclic tensile loading // *Build. Mater.* 2015. No.18 (1). Pp. 69–75.
13. Hu J., Chen W., Luo R., Zhao B., Sun R. Uniaxial cyclic tensile mechanical properties of ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) foils // *Constr. Build. Mater.* 2014. No. 63 (1). Pp. 311–319.
14. Schmid G. ETFE cushions and their thermal and climatic behaviour, in: *Tensinet Symposium*, Milan, Italy. 2007. Pp. 115–125.
15. Hu J., Chen W., Zhao B., Song H. Experimental studies on summer performance and feasibility of a BIPV/T ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) cushion structure system // *Energy Build.* 2014. No.69 (1). Pp.394–406.
16. Hu J., Chen W., Zhao B., Song H., Experimental studies on system performance of PV-ETFE cushion system in winter, *J. Zhejiang Univ. (Eng. Sci.)*. 2014. No. 48 (10). Pp. 1816–1821.
17. Zehentmaier S. *Fluoropolymers in Film Applications* // 27th Annual World Symposium on Performance Films. Duesseldorf. April. 2012.
18. Tseentmayer S. *Film fluoropolymers* / per. A. P. Sergeenkova // *Polymer materials*. 2018. No. 8. Pp. 30–38.
19. Chen W. *Design of Membrane Structure Engineering*, China Building Industry Press. 2010.
20. Tanigami T., Yamaura K., Matsuzawa S., Ishikawa M., Mizoguchi K., Miyasaka K. Structural studies on ethylene-tetrafluoroethylene copolymer 1. Crystal structure, *Polymer*. 1986. No.27 (7). Pp. 999–1006.
21. Kawabata M. *Viscoplastic Properties of ETFE Film and Structural Behavior of Film Cushion*, International Association for Shell and Spatial Structures Symposium, Venice, Italy, 2007.

#### **Информация об авторах:**

**Овсянников Сергей Николаевич**

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия,  
доктор технических наук, профессор.  
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия,  
главный научный сотрудник.  
E-mail: [ovssn@tsuab.ru](mailto:ovssn@tsuab.ru)

**Околичный Василий Николаевич**

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия,  
кандидат технических наук, доцент.  
E-mail: [okolichnyi@mail.ru](mailto:okolichnyi@mail.ru)

#### **Information about authors:**

**Ovsyannikov Sergey N.**

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia,  
doctor of technical sciences, professor.  
Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN, Moscow, Russia,  
chief researcher.  
E-mail: [ovssn@tsuab.ru](mailto:ovssn@tsuab.ru)

**Okolichny Vasily N.**

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia,  
candidate of technical sciences, associate professor.  
E-mail: [okolichnyi@mail.ru](mailto:okolichnyi@mail.ru)