

Экспериментальные исследования

УДК 539.3: 624.014

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКОСЛОЙНЫХ МЕМБРАН ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЖИДКОЙ СРЕДЫ

С.Н. ЯКУПОВ, к.т.н., с.н.с.

Л.У. ХАРИСЛАМОВА, м.н.с.

Н.М. ЯКУПОВ, д.т.н., г.н.с., зав. лаб.

ИММ КазНЦ РАН: tamas_86@mail.ru, lejsanh@yandex.ru, yzsrr@kfti.knc.ru

Тонкослойные мембраны и мембранные композиции применяются в различных отраслях, как самостоятельные элементы конструкции, так и в качестве покрытий. С развитием новых технологий начинают получать все более широкое распространение функциональные покрытия. В процессе эксплуатации элементы конструкции и покрытия взаимодействуют с окружающей средой. Для грамотного проектирования конструкций с тонкослойными композициями необходимо, в частности знать влияние жидкой среды на изменение их механических свойств. Приведены результаты экспериментальных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тонкослойные мембраны, мембранные композиции, механические свойства, водная среда, время, экспериментально-теоретический метод

Введение. Тонкослойные мембраны и мембранные композиции находят широкое применение, как самостоятельные элементы конструкции, так и в качестве покрытий [1-3]. С развитием новых технологий начинают получать все более широкое распространение новые функциональные покрытия [4-9].

В процессе эксплуатации мембраны и покрытия взаимодействуют с окружающей средой. Функциональные покрытия, помимо поверхностного взаимодействия со средой, испытывают взаимодействие с жидкостью при раскапсуляции. При этом могут существенно измениться механические свойства мембран и покрытий. В связи с этим возникают вопросы, связанные с оценкой механических свойств мембран и мембранных композиций, взаимодействующих с жидкой средой.

Для определения механических характеристик мембран и мембранных композиций, выдержанных в жидкой среде, используется экспериментально-теоретический метод, основанный на синтезе экспериментальных данных и теоретических соотношений, полученных из нелинейной теории тонких оболочек и теории пластичности [10-13]. Из эксперимента снимают кривую «прогиб H - давление P ». По полученным результатам замеров производят теоретическую обработку, определяя, в частности, модуль упругости или условный модуль упругости, строят кривые деформирования и составляют заключение о степени износа материала исследуемого образца.

Композиционные мембраны в жидкой среде. Проведены исследования композиции, состоящей из полимерной тонкой пленки и плотной бумажной основы, общей толщиной 0,25 мм (рис.1). Такие композиции широко используются, например, как рекламные рулонные материалы и др. Рассмотрены изменения механических свойств композиций, находившихся в контакте с водой в течение 1, 10 и 20 минут. Зависимость высоты подъема купола H от давления P приведена на рис. 2, зависимость интенсивность напряжений σ_i - деформаций ϵ_i – на рисунке 3, а зависимость «условный модуль упругости E - деформаций ϵ_i » – на рис. 4.

Как видно из рис. 2 - 4, взаимодействие пленочной композиции с жидкостью значительно снижает ее свойства. Уже в течение первой минуты взаимодействия происходит существенное снижение механических свойств.



Рис. 1. Образец в жидкой среде

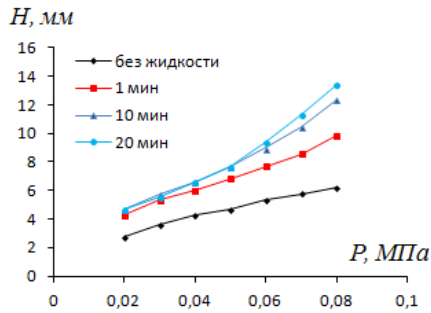


Рис. 2. Зависимость « $H - P$ »

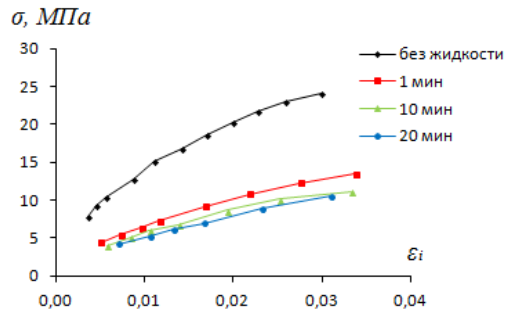


Рис. 3. Зависимость « $\sigma_i - \epsilon_i$ »

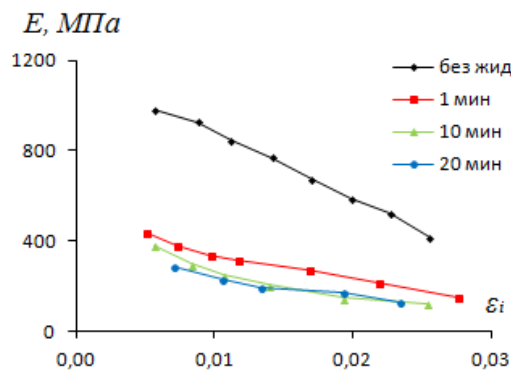


Рис. 4. Зависимость « $E - \epsilon_i$ »

Микропористые мембраны в жидкой среде. Исследованы механические характеристики капроновых мембран толщиной 0,2 мм со средним диаметром микропор 0,2 мкм (фирма «ХИМИФИЛ»). Такие мембраны используются, например, для переноса жидких биологически активных соединений [14].



Рис. 5. Фрагмент из процесса испытания образца

Подготовлены несколько комплектов образцов, состоящих из двух слоев капроновых мембран толщиной каждого слоя 0,2 мм. На экспериментальном этапе при исследовании каждого комплекта использовалась полимерная подложка толщиной 0,08 мм.

Изображение образца в процессе испытания приведено на рисунке 5. Экспериментальные данные для комплектов образцов, не контактировавших с водой, представлены в таблице 1.

Для изучения влияния влажности на механические свойства капроновых мембран с порами 0,2 мкм были также выполнены экспериментальные исследования образцов из двух слоев мембран толщиной каждого слоя 0,2 мм, которые в течение 25 минут выдерживались в обычной воде при комнатной температуре.

На экспериментальном этапе использовалась полимерная подложка толщиной 0,08 мм. Экспериментальные данные представлены в таблице 2.

На рис. 6 приведена зависимость прогиба H от давления P , построенная по усредненным данным (таблицы 1 и 2) для рассмотренных образцов.

Таблица 1 – Экспериментальные данные P и H

P , МПа	Образцы сухие			
	H_1 , мм	H_2 , мм	H_3 , мм	$H_{ср}$, мм
0,0037	2,9	2,7	-	2,8
0,0057	3,5	3,3	3,4	3,4
0,0067	3,8	3,6	3,6	3,7
0,0080	4,1	3,9	4,0	4,0
0,0087	4,3	4,1	4,1	4,2
0,0090	4,3	4,2	4,2	4,2

Таблица 2. Экспериментальные данные P и H

P , МПа	Образцы увлажненные			
	H_1 , мм	H_2 , мм	H_3 , мм	$H_{ср}$, мм
0,0037	6,2	6,2	5,7	6,0
0,0057	7,5	7,7	6,9	7,4
0,0067	8,2	8,3	7,3	8,0
0,0080	9,1	9,2	8,2	8,8
0,0087	9,7	9,8	8,7	9,4
0,0090	9,8	10,0	9,0	9,6

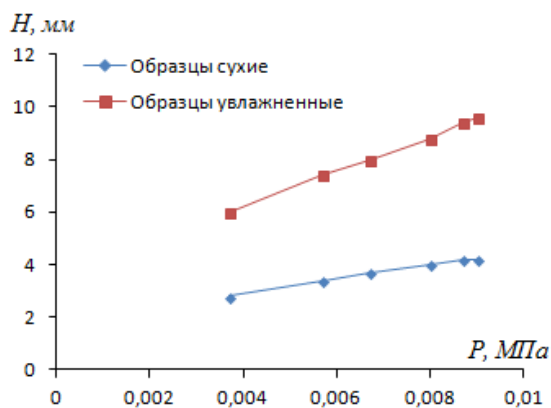


Рис. 6. Зависимость « $H - P$ »

Как видно из рис. 6 прогибы образцов H при одинаковых давлениях P , для увлажненных образцов существенно выше, чем для неувлажненных.

Мембранная кровля. Исследование влияния длительности контакта с водой на механические свойства битумно-полимерной гидроизоляционной мембранной кровли, имеющей сложную структуру. Мембрану толщиной 5 мм получают путем двустороннего нанесения на армированную полиэфирную основу битумно-полимерного вяжущего. В качестве защитных слоев используют круп-

нозернистую посыпку сверху и нетканое полотно снизу. Подготовлены образцы диаметром 120 мм (рис. 7), которые выдерживались в воде в течение 2 и 8 недель (рис. 8) и далее испытывались на установке ДМ-1 (рис. 9).



Рис. 7. Образцы мембранной кровли

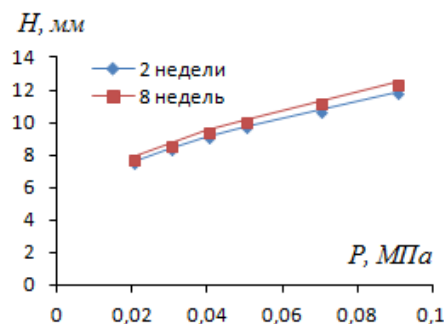


Рис. 8. Образцы в водной среде



Рис. 9. Испытание образца

Результаты испытаний образцов, выдержанных в водной среде 2 недели и 8 недель – зависимость «прогиб H - давление P » – приведены в таблице 3 и на рис. 10.

Рис. 10. Зависимость « H - P »Таблица 3. Экспериментальные данные «прогиб H - давление P »

P , МПа	Прогиб образца H , мм	
	2 недели	8 недель
0,02	7,55	7,83
0,03	8,37	8,71
0,04	9,13	9,50
0,05	9,72	10,16
0,07	10,74	11,33
0,09	11,85	12,45

Заключение. На базе экспериментально-теоретического метода выполнены исследования механических свойств композиционных и пористых мембран. Образцы, выдержанные в жидкости, существенно изменяют механические характеристики сложных композиционных структур.

Для композиции «полимерная пленка + картон» установлена, что в течение первой минуты взаимодействия происходит существенное снижение механических характеристик, а свойства образцов, выдержанных в жидкости более длительное время, существенно не отличаются между собой. Деформативность микропористых капроновых мембран при взаимодействии в течение 25 минут с жидкой средой существенно выше по сравнению с неувлажненными образцами.

Для мембранной кровли увеличение длительности контакта с водой с 2 до 8 недель способствует снижению жесткости более чем на 4%.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Тонкослойные покрытия // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. № 1. 2017. С. 6—14.
2. Yakupov N.M., Yakupov S.N., Rynkovskaya M.I. Some problems of corrosion and methods of protection // Abstract Book. 2nd International Congress on Technology - Engineering & Science. Malaysia. July 28-29. 2016. P. 143—145.
3. Кантюков Р.Р., Якупов С.Н. Задачи исследования механических характеристик покрытий и их адгезии к подложке // Коррозия. Территория НЕФТЕГАЗ. № 3. Сентябрь 2015. С.86—88.
4. Montemor M.F. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances // Surface & Coatings Technology. 258. 2014. 17—37.
5. Garcia J., Fischer H.R., S. van der Zwaag // Prog. Org. Coat. 72 (2011) 211-221.
6. Taylor S.R., Shiflet G.J. et al. // Nanotechnol. Appl.Coat. (2009) 126-155 (Chapter 8).
7. Wang Q., Li J, Zhang C., Qu X. et al. // J. Mater. Chem. 20 (2010) 3211-3215.
8. Huang Y.F., Huang C., Zhong Y.L., Yi S.P. // Surf. Eng. 29 (2013) 633-636.
9. Ahmad S., Gupta A.P., Sharmin E. et al. // Prog. Org. Coat. 54 (2005) 248-255.
10. Якупов Н.М., Галимов Н.К., Леонтьев А.А. Экспериментально-теоретический метод исследования прочности полимерных пленок // Механика композиционных материалов и конструкций. 2000. Т.6, № 2. С. 238—243.
11. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Методика испытаний пленок и мембран в условиях равномерно распределенного поверхностного давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Т. 74. № 11. 2008. С. 54—56.
12. Yakupov N.M., Yakupov S.N. Definition of mechanical characteristics of films with the pores, nanoinclusions and nanocoatings // Abstracts. The second Nanotechnology International Forum. M.: Rusnanotech, 2009. P. 344—346.
13. Галимов Н.К., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик сферических пленок и мембран со сложной структурой // МТТ. №3. 2011. С. 58—66.
14. Валиев Х.Х., Якупов С.Н., Карнет Ю.Н., Снегирева Н.С., Юмашев О.Б., Яновский Ю.Г. Структурно-механические свойства полимерных пористых пленок // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Казань: Издательство Казанского (Приволжского) федерального университета. 2015. С. 670—671.

Поступила в редакцию 16 апреля 2017 г. Прошла рецензирование 26 мая 2017 г.

Принята к публикации 18 июня 2017 г.

Об авторах:

ЯКУПОВ САМАТ НУХОВИЧ – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт Механики и Машиностроения Казанского научного центра Российской Академии наук. Сфера научных интересов – механика тонкостенных конструкций, механика пленок и мембран, композиционные структуры, адгезия, коррозионного износа. Казань, tamas_86@mail.ru

ХАРИСЛАМОВА ЛЕЙСАН УСМАНОВНА - младший научный сотрудник, Институт механики и машиностроения Казанского научного центра Российской Академии наук. Сфера научных интересов – механика композиционных пленок и мембран. Казань, lejsanh@yandex.ru

ЯКУПОВ НУХ МАХМУДОВИЧ – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской инженерной академии, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией Нелинейной механики оболочек, Институт механики и машиностроения Казанского научного центра Российской Академии наук. Сфера научных интересов – механика тонкостенных конструкций сложной геометрии; пленки и мембраны, коррозионный износ, метод конечных элементов, строительные и машиностроительные конструкции. Казань, uzsrr@kfti.knc.ru

Для цитирования: Якупов С.Н., Харисламова Л.У., Якупов Н.М. Изменение механических свойств тонкослойных мембран под воздействием жидкой среды // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 5. С. 66—71, DOI:10.22363/1815-5235-2017-5-66-71.

References:

1. Yakupov, N.M., Yakupov, S.N. (2017). Thin-layer coatings. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. (1), 6—14 (in Russian).
2. Yakupov, N.M., Yakupov, S.N., Rynkovskay, M.I. (2016). Some problems of corrosion and methods of protection. Abstract Book: *2nd International Congress on Technology - Engineering & Science*. Malaysia. July 28-29, 2016, 143—145.
3. Kantiyukov, R.R., Yakupov, S.N. (2015). Problems of investigation of mechanical characteristics of coatings and their adhesion to a substrate. *Corrosion. The territory of Oil and Gas*, (3), 86-88.
4. Montemor, M.F. (2014). Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances. *Surface & Coatings Technology*, 258, 17—37.
5. García, J., Fischer, H.R., S. van der Zwaag. *Prog. Org. Coat.* 72 (2011). 211—221.
6. Taylor, S.R., Shiflet, G.J., et al. *Nanotechnol. Appl. Coat.* (2009). 126—155 (Chapter 8).
7. Wang, Q., Li J, Zhang C., Qu X., et al. *J. Mater. Chem.* 20 (2010). 3211—3215.
8. Huang, Y.F., Huang, C., Zhong, Y.L., Yi, S.P. *Surf. Eng.* 29 (2013). 633—636.
9. Ahmad, S., Gupta, A.P., Sharmin, E., et al. *Prog. Org. Coat.* 54 (2005). 248—255.
10. Yakupov, N.M., Galimov, N.K., Leontiev, A.A. (2000). Experimental-theoretical method for studying strength of polymer films. *Mechanics of Composite Materials and Structures*, 6(2), 238—243.
11. Yakupov, N.M., Nurgaliev, A.R., Yakupov, S.N. (2008). *Zav. Lab. Diagn. Mater.*, 74(11), 54—56.
12. Yakupov, N.M., Yakupov, S.N. (2009). Definition of mechanical characteristics of films with the pores, nano-inclusions and nanocoatings. Abstracts. *The second Nanotechnology International Forum*, M.: Rusnanotech, 344—346.
13. Galimov, N.K., Yakupov, N.M., Yakupov, S.N. (2011). *Mekhanika tverdogo tela*, (3), 58-66.
14. Valiev, Kh.Kh., Yakupov, S.N., Karnet, Yu.N., Snegireva, N.S., Yumashev, O.B., Yanovsky, Yu.G. (2015). Structural and Mechanical Properties of Polymer Porous Films. *XI All-Russian Congress on Fundamental Problems of Theoretical and Applied Mechanics*, Kazan: Publishing house of the Kazan (Privolzhsky) Federal University, 670—671 (in Russian).

CHANGE OF MECHANICAL PROPERTIES OF THIN-LAYER MEMBRANES UNDER THE INFLUENCE OF LIQUID MEDIUM

S.N. YAKUPOV, L.U. HARISLAMOVA, N.M. YAKUPOV

Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Science Center, Russian Academy of Sciences

Thin-layer membranes and membrane compositions find application in different industries as independent design elements and as coatings. With the development of new technologies, functional coatings are become increasingly widespread. During the process of exploitation design elements and coatings interact with the environment. For the competent design of structures with thin-layer membranes, it is necessary to know the influence of the liquid medium on the change in their mechanical properties. The results of experimental studies on the topic under consideration are presented.

KEYWORDS: Thin-layer membranes, membrane compositions, mechanical properties, liquid medium, time, experimental-theoretical method

Article history: Received: April 16, 2017. Revised: May 26, 2017. Accepted: June 18, 2017.

About the authors:

YAKUPOV SAMAT NUKHOVICH – candidate of technical Sciences, Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Science Center, Russian Academy of Sciences. Sphere of scientific interests – mechanics of thin-walled structures, mechanics of films and membranes, composite structures, adhesion, corrosion, Kazan, tamas_86@mail.ru

HARISLAMOVA LEYSAN USMANOVNA - junior researcher, Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Science Center, Russian Academy of Sciences. Sphere of scientific interests – mechanics of composite films and membranes, Kazan, lejsanh@yandex.ru

YAKUPOV NUH MAKHMUDOVICH – doctor of technical Sciences, professor, member-correspondent of the Russian Academy of engineering, chief researcher, head of laboratory of Nonlinear mechanics of shells, Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Science Center, Russian Academy of Sciences. Sphere of scientific interests – mechanics of thin-walled structures of complex geometry; films and membranes, corrosion, finite element method, construction and engineering design, Kazan, yzsrr@kfti.knc.ru

For citation:

Yakupov S.N., Harislamova L.U., Yakupov N.M. (2017) Change of mechanical properties of thin-layer membranes under the influence of liquid medium. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, No 5, 66—71, DOI: 10.22363/1815-5235-2017-5-66-71.