

УДК 539.3

DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-2-90-95

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Определение параметров пластического деформирования эллиптических мембран

Н.К. Галимов¹, С.Н. Якупов^{1,2,*}¹Институт механики и машиностроения Казанского НЦ РАН, Российская Федерация, Татарстан, 420111, Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31²Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Российская Федерация, Татарстан, 420043, Казань, ул. Зеленая, 1

*tamas_86@mail.ru

Поступила в редакцию: 10 октября 2018 г.

Доработана: 21 декабря 2018 г.

Принята к публикации: 20 января 2019 г.

Ключевые слова:

тонкие мембраны эллиптической формы;
конечные перемещения и деформации;
соотношения пластичности;
эксперимент;
нелинейная система
алгебраических уравнений;
метод Бубнова – Галеркина;
алгоритм «пристрелки»;
сравнение;
пример

Аннотация

Введение. Тонкостенные элементы конструкций, сочетающие легкость с высокой прочностью, находят широкое применение во всех отраслях. Широкое распространены круглые конструктивные элементы. Однако, исходя из функционального назначения, все большее распространение получают тонкостенные элементы конструкций различной формы в плане.

Методы. Разработана методика исследования тонких мембран эллиптической формы для случая пластического деформирования под действием равномерного давления. Прогибы мембран в эксперименте составляют более десяти толщин. В связи с этим для решения задачи используются: геометрические нелинейные соотношения для деформаций срединной поверхности (по методу Х.М. Муштари и К.З. Галимова), соотношения для конечных перемещений и деформаций для выражений кривизн (по методу К.З. Галимова), физические соотношения (согласно теории пластичности А.А. Ильюшина). Ввиду малости толщины мембраны, учитываются только растягивающие мембранные деформации и усилия. Задача решается методом Бубнова – Галеркина и сводится к решению нелинейной системы трех алгебраических уравнений. Описан алгоритм «пристрелки» для решения полученной системы уравнений.

Результаты. Проведена работа по оценке достоверности результатов. Для оценки погрешности выполнены также сравнения результатов расчета с экспериментальными результатами В.Д. Головлева. Рассмотрен пример расчета мембраны эллиптической формы.

Введение

Тонкостенные элементы конструкций, сочетающие легкость с высокой прочностью, находят широкое применение во всех отраслях [1; 2]. Широкое распространение получили тонкостенные круглые конструктивные элементы. Разработаны различные методы расчета таких элементов, в частности можно отметить [3; 4] и др.

Однако, исходя из функционального назначения, все большее распространение получают тонкостенные элементы конструкций различной формы в плане. Среди них – эллиптические в плане мембраны.

Для обеспечения безаварийной работы тонкостенных конструкций необходимо достоверно оценивать их прочность и жесткость, грамотно проектировать и диагностировать состояние элементов конструкций [5; 6].

В работах [7–9] описан двумерный экспериментально-теоретический метод исследования механических характеристик пленок и мембран, ко-

© Галимов Н.К., Якупов С.Н., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

торый позволяет оценивать жесткостные свойства, модуль упругости и условный модуль упругости тонкослойных образцов.

Вопросы расчета эллиптических мембран в упругой постановке рассмотрены в [10]. Вопросы пластического деформирования круглых мембран рассмотрены, в частности, в [8; 11]. В [8] предложена методика расчетного определения параметров круглых мембран, исходя из данных эксперимента.

В настоящем исследовании проводится развитие метода [8] применительно к эллиптическим мембранам для случая их пластического деформирования.

1. Экспериментально-теоретический метод расчета

Пусть эллиптическая в плане тонкая мембрана закреплена по контуру и нагружена односторонним равномерным давлением p , под действием которого она деформируется и приобретает форму сегмента эллипсоида. Ввиду малости толщины мембраны учитываются только растягивающие мембранные деформации и усилия.

Запишем уравнения равновесия мембраны [12]:

$$\frac{\partial T_{11}}{\partial x} + \frac{\partial T_{12}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial T_{12}}{\partial x} + \frac{\partial T_{22}}{\partial y} = 0,$$

$$K_{11}T_{11} + 2T_{12}K_{12} + K_{22}T_{22} = p, \quad (1)$$

где T_{11} , T_{12} , T_{22} – мембранные усилия; K_{11} , K_{12} , K_{22} – кривизны деформированной мембраны.

Нелинейные соотношения для компонент деформаций срединной поверхности по осям x , y запишем согласно Х.М. Муштари и К.З. Галимову в виде [12]:

$$\varepsilon_1 = e_{11} + 0,5(e_{11}^2 + e_{12}^2 + \omega_1^2),$$

$$\varepsilon_2 = e_{22} + 0,5(e_{22}^2 + e_{21}^2 + \omega_2^2), \quad (2)$$

$$2\varepsilon_{12} = e_{12} + e_{21} + 0,5(e_{21}e_{11} + e_{22}e_{12} + \omega_1\omega_2),$$

$$e_{11} = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad e_{12} = \frac{\partial u}{\partial y}, \quad e_{22} = \frac{\partial v}{\partial y},$$

$$e_{21} = \frac{\partial v}{\partial x}, \quad \omega_1 = \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \omega_2 = \frac{\partial w}{\partial y},$$

где u и v – перемещения по осям x и y соответственно; w – прогиб.

Выражения для кривизн деформированной мембраны для случая конечных перемещений и деформаций запишем по формулам [13]:

$$K_{11} = \frac{(1 + e_{11})E_{11} + e_{12}E_{12} + \omega_1E_{13}}{\lambda_1^2\sqrt{I}},$$

$$K_{22} = \frac{(1 + e_{22})E_{22} + e_{21}E_{21} + \omega_2E_{23}}{\lambda_2^2\sqrt{I}},$$

$$K_{12} = K_{21} = \frac{e_{21}E_{11} + (1 + e_{22})E_{22} + \omega_2E_{23}}{\lambda_1\lambda_2\sqrt{I}},$$

$$\lambda_1 = (1 + 2\varepsilon_1)^{\frac{1}{2}}, \quad \lambda_2 = (1 + 2\varepsilon_2)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

$$E_{11} = \frac{\partial E_1}{\partial x}, \quad E_{12} = \frac{\partial E_1}{\partial y}, \quad E_{22} = \frac{\partial E_2}{\partial y},$$

$$E_{21} = \frac{\partial E_2}{\partial x}, \quad E_{13} = \frac{\partial E_3}{\partial x}, \quad E_{23} = \frac{\partial E_3}{\partial y},$$

$$E_1 = e_{12}\omega_2 - (1 + e_{22})\omega_1,$$

$$E_2 = e_{21}\omega_1 - (1 + e_{11})\omega_2,$$

$$E_3 = (1 + e_{11})(1 + e_{22}) - e_{12}e_{21},$$

$$I = 1 + 2P_1 + 4P_2, \quad P_1 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2,$$

$$P_2 = \varepsilon_1\varepsilon_2 - \varepsilon_{12}^2.$$

Учитывая, что прогибы мембраны в эксперименте составляют от десяти и более толщин, и ее материал находится в пластическом состоянии, при решении задачи будем применять соотношения теории пластичности А.А. Ильюшина, а коэффициент Пуассона примем равным 0,5 [14]:

$$T_{11} = \frac{4Ahe_i^{(k-1)}(\varepsilon_1 + 0,5\varepsilon_2)}{3},$$

$$T_{22} = \frac{4Ahe_i^{(k-1)}(\varepsilon_2 + 0,5\varepsilon_1)}{3},$$

$$T_{12} = \frac{2Ahe_i^{(k-1)}\varepsilon_{12}}{3}, \quad (4)$$

где A – постоянная материала; k – показатель упрочнения; h – толщина мембраны; σ_i – интенсивность напряжений; e_i – интенсивность деформаций.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2 + 3\sigma_{12}^2},$$

$$e_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + 0,25\varepsilon_{12}^2},$$

$$\sigma_i = A e_i^k. \quad (5)$$

Задачу будем решать методом Бубнова – Галеркина в первом приближении, задавая перемещения в виде

$$u(x_1, y_1) = F(x_1, y_1) a b_0 x_1,$$

$$v(x_1, y_1) = F(x_1, y_1) b c_0 y_1, \quad (6)$$

$$w = F(x_1, y_1) a_0 a,$$

$$F(x_1, y_1) = 1 - x_1^2 - y_1^2, \quad -1 \leq x \leq 1,$$

$$-1 \leq y \leq 1, \quad x_1 = x / a, \quad y_1 = y / b,$$

где a_0, b_0, c_0 – безразмерные искомые величины; x_1, y_1 – безразмерные координаты; a и b – большая и малая полуоси мембраны соответственно.

Внося выражения (6) в уравнения равновесия (1), после ряда преобразований получаем нелинейную систему трех уравнений относительно параметров a_0, b_0, c_0 (ввиду ее громоздкости – здесь не приводится).

Задавая параметр a_0 (взятый из эксперимента) из первых двух уравнений (1), определяем параметры b_0 и c_0 . Третье уравнение (1) после интегрирования принимает вид

$$\Phi J - p \frac{\pi}{2} = 0, \quad \Phi = \frac{4 A h}{3},$$

или

$$A = \frac{3 p \pi}{8 h J},$$

$$J = \frac{\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 (K_{11} T_{11} + 2T_{12} K_{12} + K_{22} T_{22}) F(x_1, y_1) dx_1 dy_1}{\Phi}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) при фиксированном параметре k и известном из эксперимента давлении p находим A . Аналогично поступаем для всех значений p и a_0 . Далее для рассмотренных значений давлений p находим среднее значение A_{cp} .

Затем для каждой ступени нагружения находим расчетное значение $p_{рас}$ по формуле

$$p_{рас} = \frac{8 A_{cp} h J}{3 p \pi}, \quad (8)$$

вытекающей из (7), и сравниваем с нагрузкой p из эксперимента.

Процесс «пристрелки» повторяется до тех пор, пока не будет достигнута требуемая погрешность, например 5 %. Таким образом, определяются параметры A и k .

2. Оценка достоверности результатов

Отметим, что дополнительно для оценки получаемых величин по предложенной методике по известному алгоритму [8] были выполнены исследования круглых полимерных мембран толщиной 0,07 мм. При $k = 0,3$ определены значения параметра A для мембран с диаметром 22 и 80 мм, которые составили 154,09 и 156,69 кг/см² соответственно (или среднее значение $A = 155,4$ кг/см²).

3. Пример расчета мембраны эллиптической формы

Исследована эллиптическая мембрана, изготовленная из полимерной пленки толщиной 0,07 мм с полуосями $a = 2,5$ см, $b = 1,5$ см (из того же материала, что и круглая мембрана, рассмотренная выше). Результаты исследования приведены в табл. 1, где $w_0 = w(x=0, y=0)$.

Таблица 1

Результаты исследования эллиптической мембраны [Table 1. The results of investigation of an elliptical membrane]

p , кг/см ²	w_0 , мм	a_0	b_0	c_0	A , кг/см ²
0,10	4,15	0,1660	0,0255	0,0575	103,5
0,15	4,47	0,1788	0,0297	0,0668	140,6
0,20	5,01	0,2004	0,0375	0,0845	157,9
0,25	5,70	0,2280	0,0489	0,1100	163,5
0,30	6,07	0,2428	0,0557	0,1257	178,9
0,35	6,75	0,2700	0,0695	0,1570	178,9
0,40	7,55	0,3020	0,0881	0,1990	178,2
0,45	8,10	0,3240	0,1020	0,2310	173,5
0,50	9,11	0,3544	0,1320	0,2990	160,1
0,55	9,70	0,3880	0,1510	0,3450	159,0
0,60	10,56	0,4224	0,1840	0,4190	150,4

Среднее значение $A_{cp} = 158,6$ кг/см² отличается от среднего значения для круглой мембраны (155,4 кг/см²) на 2 %.

Также, для оценки погрешности разработанного подхода были выполнены сравнения результатов расчета по данной методике с экспериментальными результатами [15]. В этой работе при-

ведены экспериментальные данные исследования деформирования эллиптических и круглых мембран, изготовленных из стали О8КП толщиной 0,82 мм, подверженных равномерному давлению. Параметр упрочнения $k = 0,28$.

В [15] параметр удлиненности мембраны $\lambda = b/a = 0,375; 0,5; 0,75$. Радиус круглых мембран $R = 100$ мм. Большая полуось эллиптических мембран $a = 100$ мм, а малые полуоси $b = \lambda a$ мм. Данные эксперимента для мембран приведены в табл. 2. В последнем столбце приведены величины погрешности ε (в %) расчетных данных от экспериментальных значений параметра A .

Для круглых мембран по разработанной методике параметр $A_{ср} = 5834,2$ кг/см², что отличается от справочного значения 6000 кг/см², приведенного в [15], на 2,7 %.

Из табл. 2 видно, что для умеренных значений λ (0,5–0,75) погрешность не выше 5 %. Отметим, что для случая $\lambda = 0,5$ и $p = 72$ кг/см² получается завышенное значение ε , что можно объяснить большим шагом по нагрузке p .

Таблица 2

Данные эксперимента и расчета
[Table 2. Experiment and calculation data]

$\lambda = b/a$	p , кг/см ² [kg/cm ²]	H , см [cm]	A , кг/см ² [kg/cm ²]	ε , %
0,375	70	2,04	5237	12,7
	82	2,56	5050	15,8
	90	–	–	–
0,5	50	2,22	5702	5,0
	60	2,64	5713	4,8
	72	3,89	4836	19,4
0,75	35	2,73	6092	1,6
	42	3,22	6033	0,6
	56	4,26	6147	2,4
1,0	20	2,4	5930	1,1
	30	3,35	5887	1,8
	35	3,85	5913	1,5
	40	4,35	6042	7,0
	47,5	7,10	5398	10,0

Заключение

Разработана методика исследования тонких мембран эллиптической формы для случая пластического деформирования под действием равномерного давления. Описан алгоритм «пристрелки» для решения полученной системы уравнений. Выполнена работа по оценке достоверности результатов. Для оценки погрешности проведены сравнения результатов расчета с экспериментальными результатами. Рассмотрен пример расчета мембраны эллиптической формы.

Список литературы

1. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Пленки неоднородной структуры // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 1. С. 60–70.
2. Якупов С.Н., Якупов Н.М. Тонкослойные покрытия // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. № 1. 2017. С. 6–14.
3. Смирнов-Аляев Г.А. Исследование пластического прогиба тонких пластинок (мембран), жестко заделанных по круговому контуру под действием гидростатического давления // Исследования по теории пластичности. Сб. III. Л.-М.: ГОНТИ, 1939. С. 28–52.
4. McPherson A.E., Ramberg W., Lery S. Normal pressure test of circular plates with clamped edges // NASA Report. 1942. No. 744. Pp. 269–285.
5. Махутов Н.А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования. Новосибирск: Наука, 2008. 523 с.
6. Якупов Н.М. Механика «лечения» конструкции // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Казань, 20–24 августа 2015 г.): сборник трудов. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2005. С. 4320–4322.
7. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Методика испытания пленок и мембран в условиях равномерного распределенного поверхностного давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2008. Т. 74. № 11. С. 54–56.
8. 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.
9. Галимов Н.К., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик сферических пленок и мембран со сложной структурой // Известия РАН. Механика твердого тела. 2011. № 3. С. 58–66.
10. Weil N.A., Newmark N.M. Large Deflections of Elliptical Plates // J. of Applied Mechanics. March, 1956. Vol. 23. No. 1. Pp. 21–26.
11. Gleyzal A. Plastic Deformation of a Circular Diaphragm under Pressure // J. of Applied Mechanics, Trans. Asme. 1948. Vol. 70. Pp. 288–296.
12. Mushtari Kh.M., Galimov K.Z. Nonlinear Theory of Thin Elastic Shells / Translated by J. Morgenstern, J.J. Schorr-Kon, PST Staff. Jerusalem: S. Monson; Washington, D.C.: The National Science Foundation; USA: The National Aeronautics and Space Administration; The Israel Program Scientific Translations, 1961. 374 p.
13. Галимов К.З. К общей теории пластин и оболочек при конечных перемещениях и деформациях // ПММ. 1951. Т. XV. Вып. 6. С. 723–742.
14. Ильюшин А.А. Пластичность. М.: Гостехиздат, 1948. С. 376.
15. Головлев В.Д. О способности металла к глубокой вытяжке // Новые процессы обработки металлов давлением: сборник статей. М.: АН СССР, 1962. С. 135–143.

Об авторах

Галимов Наиль Курбанович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт механики и машиностроения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр “Казанский научный центр Российской академии наук”». *Область научных интересов:* механика тонкостенных конструкций, механика пленок и мембран, композиционные структуры. *Контактная информация:* e-mail – tamas_86@mail.ru.

Якупов Самат Нухович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Казанский государственный архитектурно-строительный университет.

eLIBRARY SPIN-код: 7382-4759, Scopus AU-ID: 26968046600. *Область научных интересов:* конструкции зданий и сооружений, механика тонкостенных конструкций, механика пленок и мембран, композиционные структуры, адгезия. *Контактная информация:* e-mail – tamas_86@mail.ru

Для цитирования

Галимов Н.К., Якупов С.Н. Определение параметров пластического деформирования эллиптических мембран // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 2. С. 90–95. DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-2-90-95

RESEARCH PAPER

Determination of parameters of plastic deformation of elliptic membranesNail K. Galimov¹, Samat N. Yakupov^{1,2,*}

¹*Institute of Mechanics and Engineering – subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, PO Box 261, 2/31 Lobachevsky St., Kazan, 420111, Tatarstan, Russian Federation*

²*Kazan State University of Architecture and Engineering, 1 Zelenaya St., Kazan, 420043, Tatarstan, Russian Federation*

*tamas_86@mail.ru

Received: October 10, 2018

Revised: December 21, 2018

Accepted: January 20, 2019

Keywords:

elliptic thin membranes;
finite displacements and deformations;
plasticity ratio;
experiment;
nonlinear system of algebraic equations;
Bubnov – Galerkin method;
example;
“shooting” algorithm;
comparison

Abstract

Introduction. Thin-walled structural elements, combining lightness with high strength, are widely used in all industries. Widespread round design elements. However, based on the functional purpose, thin-walled structural elements of various shapes in plan are becoming more and more common.

Methods. A technique has been developed for the study of thin elliptic membranes for the case of plastic deformation under the action of uniform pressure. The deflections of the membranes in the experiment are more than ten thicknesses. In this regard, to solve the problem, the following are used: geometric nonlinear relations for the deformations of the middle surface (according to Kh.M. Mushtari and K. Z. Galimov), relations for finite displacements and deformations for curvature expressions (according to K.Z. Galimov), physical relations (according to the theory of plasticity A.A. Ilyushin). Due to the smallness of the membrane thickness, only tensile membrane strains and forces are taken into account. The problem is solved by the Bubnov – Galerkin method and reduced to solving a nonlinear system of three algebraic equations. The “shooting” algorithm for solving the resulting system of equations is described.

Results. The work on the assessment of the reliability of the results. To estimate the error, the comparison of the calculation results with the experimental results of G.D. Golovlev was also performed. An example of the calculation of an elliptical membrane is considered.

References

1. Yakupov N.M., Yakupov S.N. (2009). Plenki neodnorodnoj struktury [Films of heterogeneous structure]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (1), 60–70. (In Russ.)

2. Yakupov S.N., Yakupov N.M. (2017). Tonkoslojnye pokrytiya [Thin coatings]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (1), 6–14. (In Russ.)

3. Smirnov-Alyayev G.A. (1939). Issledovanie plasticheskogo progiba tonkih plastinok (membran), zhestko zadlanykh po krugovomu konturu pod dejstviem gidrostaticheskogo davleniya [Investigation of plastic deflection of thin plates (membranes), rigidly set on a circular contour under the action of hydrostatic pressure]. *Research on the theory of plasticity*, (III), 28–52. (In Russ.)

4. McPherson A.E., Ramberg W., Lery S. (1942). Normal pressure test of circular plates with clamped edges. *NASA Report*, (744), 269–285.

5. Mahutov N.Ah. (2008). *Strength and safety. Fundamental and applied research*. Novosibirsk: Nauka Publ., 523. (In Russ.)
6. Yakupov N.M. (2015). Mekhanika “lecheniya” konstrukcii [Mechanics of “treatment” of construction]. *XI All-Russian Congress on Fundamental Problems of Theoretical and Applied Mechanics (Kazan, 20–24 August 2015)*, 4320–4322. (In Russ.)
7. Yakupov N.M., Nurgaliyev A.R., Yakupov S.N. (2008). Metodika ispytaniya plenok i membran v usloviyah ravnomernogo raspredelenogo poverhnostnogo davleniya [The technique of test of films and membranes in the conditions of the uniform distributed superficial pressure]. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*, 74(11), 54–56. (In Russ.)
8. Yakupov N.M., Galimov N.K., Leontiev A.A. (2000). Eksperimental'no-teoreticheskij metod issledovaniya prochnosti polimernyh plenok [Experimental-theoretical method for the study of the strength of polymer films]. *Mechanics of composite materials and structures*, 6(2), 238–243. (In Russ.)
9. Galimov N.K., Yakupov N.M., Yakupov S.N. (2011). Eksperimental'no-teoreticheskij metod opredeleniya mekhanicheskikh harakteristik sfericheskikh plenok i membran so slozhnoj strukturoj [Experimentally-theoretical method for determining mechanical characteristics of spherical films and membranes with difficult structure]. *Solid mechanics*, (3), 58–66. (In Russ.)
10. Weil N.A., Newmark N.M. (March, 1956). Large Deflections of elliptical Plates. *Applied Mechanics*, 23(1), 21–26.
11. Gleyzal A. (1948). Plastic Deformation of a Circular Diaphragm under Pressure. *J. of Applied Mechanics, Trans Asme*, 70, 288–296.
12. Mushtari Kh.M., Galimov K.Z. (1961). *Nonlinear Theory of Thin Elastic Shells*. 374.
13. Galimov K.Z. (1951). K obshchej teorii plastin i obolochek pri konechnyh peremeshcheniyah i deformaciyah [On the general theory of plates and shells under finite displacements and deformations]. *PMM*, XV(6), 723–742. (In Russ.)
14. Ilyushin A.A. (1948). *Plastichnost' [Plasticity]*. Moscow: Gostekhizdat Publ., 376. (In Russ.)
15. Golovlev V.D. (1962). O sposobnosti metalla k glubokoj vytyazhke [On the ability of metal to deep drawing]. *New processes of metal forming*. Moscow: USSR Academy of Sciences, 135–143. (In Russ.)

About the authors

Nail K. Galimov – PhD in Physical and Mathematical Sciences, leading researcher, Institute of Mechanics and Engineering – subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”. *Research interests:* mechanics of thin-walled structures, mechanics of films and membranes, composite structures. *Contacts:* e-mail – tamas_86@mail.ru

Samat N. Yakupov – PhD in Technical Sciences, senior researcher, Kazan State University of Architecture and Engineering. eLIBRARY SPIN-code: 7382-4759, Scopus AU-ID: 26968046600. *Research interests:* structures of buildings and structures, mechanics of thin-walled structures, mechanics of films and membranes, composite structures, adhesion. *Contacts:* e-mail – tamas_86@mail.ru

For citation

Galimov N.K., Yakupov S.N. (2019). Determination of parameters of plastic deformation of elliptic membranes. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 15(2), 90–95. DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-2-90-95