

УДК 534.113

DOI: 10.31040/2222-8349-2018-0-4-5-10

О ВЛИЯНИИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ СРЕДЫ НА ЗАКРИТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНЫ

© М.А. Ильгамов, Н.К. Галимов

Рассматриваются устойчивость и закритический изгиб круглой пластины, находящейся под действием радиальных сжимающих сил и давления газов, приложенных к верхней и нижней поверхностям. Края пластины зашпелены или свободно оперты. Установлено значительное влияние среднего давления на критическую нагрузку. Повышение среднего давления увеличивает значение критической сжимающей силы, а вакуумирование уменьшает это значение. Изучена также нелинейная стадия изгиба пластины под действием радиального сжатия и среднего давления на ее поверхности.

Ключевые слова: устойчивость круглой пластины, перепад давлений, среднее давление, линейный изгиб, нелинейный изгиб.

1. Введение. Анализ устойчивости круглой пластины под действием радиальных сжимающих сил представлен в большом количестве источников. Общеизвестны результаты, полученные в [1–11]. Обзоры исследований по этой теме приведены, например, в [1, 7, 9, 10].

В [12] представлены результаты экспериментов, показывающих возможность неосесимметричной потери устойчивости круглой пластины с большим числом волн, локализованных у края пластины. Осесимметричная нагрузка возникает в процессе равномерного нагревания пластины.

В [13] исследованы нелинейный упруго-пластический изгиб и устойчивость круглых пластин, находящихся под действием давления и равномерной температуры.

В [14] наряду с классическими данными изложены также последние результаты по закритическому поведению тонких пластин.

В указанных работах и других известных исследованиях принимается, что поперечная распределенная нагрузка q на тонкую пластину равна $q = p_2 - p_1$, где p_1, p_2 – избыточные давления газов на нижнюю и верхнюю поверхности пластины. В случае приложения давления только к одной из поверхностей пластины или малом отношении среднего давления $p_m = (p_1 + p_2)/2$

к модулю упругости материала E это значение q является достаточно точным.

Учет разности площадей нижней и верхней поверхностей, среднего давления p_m на цилиндрический изгиб удлиненной пластины приводит к выражению для распределенной поперечной нагрузки [15–17]

$$q = p_2 - p_1 + p_m h (d^2 w / dx^2), \quad (1.1)$$

где функция прогиба $w(x)$ зависит от приведенной жесткости $D(1 + \alpha)$, h – толщина пластины. Здесь D – собственная изгибная жесткость пластины, α – безразмерный параметр, который для шарнирно закрепленной пластины длиной L равен

$$\alpha \approx (p_m / E)(L/h)^2. \quad (1.2)$$

В [16] изучено также линейное поведение пластины исходя из модели изгиба Тимошенко. В [17] показана возможность потери устойчивости пластины при вакуумировании ее поверхностей.

2. Постановка задачи. Рассматривается изгиб круглой пластины радиуса c , толщиной h , сжатой радиальными усилиями ph , равномерно распределенными вдоль контура (p – избыточное давление, действующее на кромку пластины). На нижнюю и верхнюю поверхности

пластины действуют давления газов $p_0 + p_1$ и $p_0 + p_2$, где p_0 – атмосферное давление, p_1, p_2 – избыточные давления. Собственный вес пластины не учитывается. Предполагается, что деформация пластины осесимметрична, а точки контура могут свободно перемещаться в плоскости пластины. На круговой контур действует давление $p_0 + p$. Будем обозначать перепад давления $p_e = p_2 - p_1$, а среднее значение – $p_m = (p_1 + p_2)/2$. В такой постановке всестороннее давление p_0 в расчеты не входит. Направление оси z , нагрузки q и прогиба $w(r)$ положительно вниз. Начало радиальной координаты r совпадает с центром круга.

В соответствии с гипотезами Кирхгоффа, при деформации поперечное сечение остается плоским и перпендикулярным к срединной поверхности, толщина пластины не изменяется. При осесимметричном изгибе образующиеся кривизны вдоль радиуса κ_r и по углу κ_ϕ связаны с функцией прогиба $w(r)$ формулами [9]

$$\kappa_r = -\frac{d^2w}{dr^2}, \quad \kappa_\phi = -\frac{dw}{rdr}. \quad (2.1)$$

При осесимметричном изгибе кручение равно нулю. Площади нижней и верхней поверхностей элемента равны

$$dS_1 = dr \left(1 + \frac{h}{2}\kappa_r\right) rd\phi \left(1 + \frac{h}{2}\kappa_\phi\right) \quad (2.2)$$

$$dS_2 = dr \left(1 - \frac{h}{2}\kappa_r\right) rd\phi \left(1 - \frac{h}{2}\kappa_\phi\right).$$

Поперечная распределенная сила, действующая на площадь $dS = dr \cdot rd\phi$ срединной поверхности, равна $q dS = p_2 dS_2 - p_1 dS_1$, откуда с учетом (2.1), (2.2) в линейном приближении получаем

$$q = p_e + p_m h \nabla^2 w, \quad \nabla^2 = \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \right). \quad (2.3)$$

Имеем следующие уравнения нелинейного изгиба пластины [7, 9] (уравнения (11.30), (11.31)), дополненные, подобно [15–17], членами от влияния окружающей среды:

$$D \frac{d(\nabla^2 w)}{dr} = \frac{h}{r} \frac{d\Phi}{dr} \frac{dw}{dr} + \frac{p_e r}{2} + p_m h \frac{dw}{dr},$$

$$\frac{d(\nabla^2 \Phi)}{dr} = -\frac{E}{2r} \left(\frac{dw}{dr} \right)^2, \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (2.4)$$

$$\sigma_r = \frac{d\Phi}{rdr}, \quad \sigma_\phi = \frac{d^2\Phi}{dr^2},$$

здесь E – модуль упругости материала, ν – коэффициент Пуассона, Φ – функция напряжений.

В случае шарнирного опирания пластины по контуру должны выполняться условия [9]:

$$w = 0, \quad \frac{d^2w}{dr^2} + \frac{\nu}{r} \frac{dw}{dr} = 0 \quad (r = c).$$

Этим условиям удовлетворяет функция [9]

$$w = f \left(1 - 2a \frac{r^2}{c^2} + ab \frac{r^4}{c^4} \right),$$

$$a = \frac{3+\nu}{5+\nu}, \quad b = \frac{1+\nu}{3+\nu}.$$

Внося выражение для w во второе уравнение (2.4) и интегрируя его, получаем выражение

$$\frac{d\Phi}{rdr} = \frac{\tilde{N}_1}{2} - \frac{Ea^2 f^2 r^2}{c^4} \left[1 - \frac{2b}{3} \left(\frac{r}{c} \right)^2 + \frac{b^2}{6} \left(\frac{r}{c} \right)^4 \right]. \quad (2.5)$$

Выполняя условие $d\Phi/(rdr) = -p$ при $r=c$, находим

$$\frac{d\Phi}{rdr} = -p + \frac{Ea^2 f^2}{c^2} \left\{ 1 - \frac{2b}{3} + \frac{b^2}{6} - \left[1 - \frac{2b}{3} \left(\frac{r}{c} \right)^2 + \frac{b^2}{6} \left(\frac{r}{c} \right)^4 \right] \left(\frac{r}{c} \right)^2 \right\}. \quad (2.6)$$

Внося выражение (2.6) в первое уравнение (2.4) и интегрируя его по методу Бубнова–Галеркина, получаем уравнение для определения величины f/c при известных p, p_m, p_e :

$$\frac{8Dab(3-2b)}{3} \left(\frac{f}{c} \right) + \frac{Ehc^2 a^3}{252} \times$$

$$\times [84 - 168b + 140b^2 - 56b^3 + 9b^4] \left(\frac{f}{c} \right)^3 - \quad (2.8)$$

$$- phc^2 a \frac{(6-8b+3b^2)}{6} \left(\frac{f}{c} \right) -$$

$$- \left[\frac{p_e c^3 (3-2b)}{24} - p_m hc^2 a \frac{(6-8b+3b^2)}{6} \left(\frac{f}{c} \right) \right] = 0.$$

Аналогично, задавая функцию прогиба в виде $w = f (1 - r^2/c^2)^2$, удовлетворяющую условиям защемления $w = 0, dw/dr = 0 (r = c)$ [9], получаем уравнение

$$\frac{8D}{3} \left(\frac{f}{c} \right) + c^2 \left[\frac{Eh}{28} \left(\frac{f}{c} \right)^2 - \frac{ph}{6} \right] \left(\frac{f}{c} \right) - \quad (2.9)$$

$$- \left[\frac{p_e c^3}{24} - \frac{p_m hc^2}{6} \left(\frac{f}{c} \right) \right] = 0$$

для определения f/c при заданных параметрах нагружения.

3. Линейная устойчивость. Опуская в (2.8), (2.9) нелинейные члены, принимая $p_e = 0$,

получаем критические значения давления на круговую кромку

$$p_{cr} = 4.208 \frac{D}{hc^2} + p_m \quad \text{и} \quad p_{cr} = \frac{16D}{hc^2} + p_m \quad (3.1)$$

для случаев шарнирного опирания и защемленных краев соответственно.

При $p_m = 0$ эти формулы совпадают с приведенными в [9]. Положив $E = 2 \cdot 10^6$ бар, $\nu = 0.3$, $c/h = 100$ из (3.1), имеем $p_{cr} = 77.07 + p_m$ для шарнирного опирания и $p_{cr} = 293 + p_m$ для защемленной пластинки. При $p_m = 2$ бар влияние среднего давления на p_{cr} мало, а при $p_m = 20$ бар критическая нагрузка возрастает по сравнению с классическим подходом на 6.8% для защемленных кромок и на 26% в случае шарнирного опирания. В первом случае влияние p_m меньше ввиду изменения знака кривизны на площади пластины. Во втором случае это влияние больше, так как кривизна имеет только один знак по всей площади.

Выражения для критических значений радиальных давлений приближенно могут быть представлены в виде

$$p_{cr} = 4.21 \frac{D}{hc^2} (1 + \alpha), \quad p_{cr} = \frac{16D}{hc^2} (1 + \alpha), \quad (3.2)$$

где безразмерный параметр α равен соответственно (при $\nu = 0,3$)

$$\alpha \approx \frac{2.59 p_m}{E} \left(\frac{c}{h} \right)^2, \quad \alpha \approx \frac{0.68 p_m}{E} \left(\frac{c}{h} \right)^2. \quad (3.3)$$

Если первое значение (3.3) выразить через диаметр $d = 2c$, то имеем $\alpha \approx 0.65 (p_m/E) (d/h)^2$. Сравнение его с (1.2) при $L = d$ показывает, что влияние среднего избыточного давления на критическую сжимающую нагрузку на круглую пластину меньше около двух раз, чем на удлиненную пластину при ее цилиндрическом изгибе (в обоих случаях – шарнирное закрепление). Этот результат объясняется тем, что собственная изгибная жесткость круглой пластины больше, чем собственная жесткость удлиненной прямоугольной пластины.

В том случае, когда среднее избыточное давление p_m отрицательное (вакуумирование), в соответствии с (3.1) критическое значение давления p_{cr} уменьшается. Это явление в случае цилиндрического изгиба пластины изучено в [17]. При этом по абсолютной величине p_m должно быть меньше атмосферного давления p_0 (или более высокого или низкого значений, чем атмосферное, если под p_0 подразумевать любое давление до приложения избыточных давлений p_1, p_2). Однако абсолютное значение отрицательно-го коэффициента α может быть и больше едини-

цы. Тогда при $p = 0$ приходим к задаче устойчивости пластины под действием вакуумирования ее поверхностей [17]. Значение $\alpha = -1$ можно считать критическим. Из этого условия и первого выражения (3.3) следует выражение для критического среднего избыточного давления

$$-(p_m)_{cr} \approx \frac{E}{2.6} \left(\frac{h}{c} \right)^2. \quad (3.4)$$

При его достижении отклоненная от плоскости форма пластины является состоянием равновесия. Представляет интерес, насколько реально это значение $(p_m)_{cr}$. При приведенных выше данных $(p_m)_{cr} \approx -0.77 \cdot 10^2$ бар, что не имеет физического смысла. При меньшем отношении h/c и меньшем значении E может быть $(p_m)_{cr} > -1$ бар. Например, при $c/h = 10^3$ имеем $(p_m)_{cr} \approx -0.77$ бар.

4. Закритический изгиб. При коэффициенте Пуассона $\nu = 0.3$ из (2.8), (2.9) следуют соотношения для случая шарнирного опирания

$$p = 0.385E \left(\frac{h}{c} \right)^2 + 0.101E \left(\frac{f}{c} \right)^2 + p_m \quad (4.1)$$

и для защемленного края

$$p = 1.465E \left(\frac{h}{c} \right)^2 + 0.214E \left(\frac{f}{c} \right)^2 + p_m. \quad (4.2)$$

По формулам (4.1), (4.2) были выполнены расчеты для значений f/c от 0 до 0.05. Как при шарнирном опирании (рис. 1), так и при защемлении (рис. 2) для $p_m = 2$ бар влияние среднего давления мало и равно 2.6 и 0.68% соответственно. При $p_m = 20$ бар – влияние возрастает и составляет 26% для шарнирного опирания, при защемлении – 6.8%. С увеличением относительного прогиба f/c влияние p_m убывает. При шарнирном опирании разница составляет 0.34% при $p_m = 2$ бар и 3.4% при $p_m = 20$ бар. Для защемленных краев разница значительно меньше. При $p_m = 2$ бар она составляет 0.68%, при $p_m = 20$ бар эта разница составляет 6.8% и снижается до 1.5% с увеличением f/c .

Формулы (3.1), (4.1), (4.2) приведены в виде, данном в [9], с добавлением члена p_m . Вводя обозначение эйлерового критического давления по кромке круглой пластины в случаях шарнирного закрепления и защемления

$$p_E = 4.208 \frac{D}{hc^2} = 0.385E \left(\frac{h}{c} \right)^2, \quad (4.3)$$

$$p_E = \frac{16D}{hc^2} = 1.465E \left(\frac{h}{c} \right)^2,$$

представим выражения (3.1) в виде, одинаковом для обоих случаев закрепления

$$p_{cr} = p_E + p_m \quad (4.4)$$

Выражения (4.1) и (4.2) приобретают вид

$$p = p_E + p_m + 0.101E(f/c)^2, \quad (4.5)$$

$$p = p_E + p_m + 0.214E(f/c)^2.$$

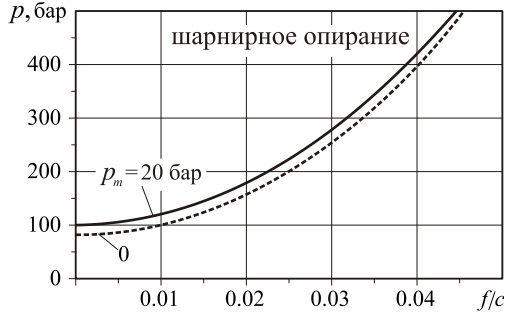


Рис. 1. Зависимость между относительным прогибом центра круглой пластины и сжимающим давлением, приложенным по круговой кромке, при разных значениях среднего давления на поверхности (точками нанесена кривая при $p_m = 0$ бар)

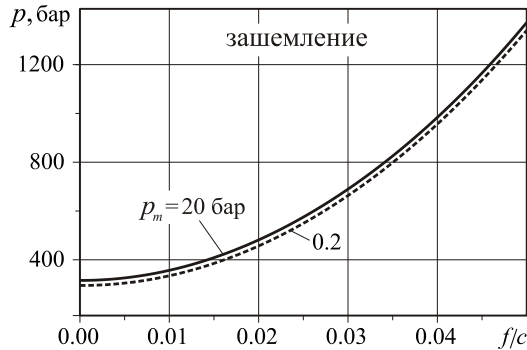


Рис. 2. Зависимость между относительным прогибом центра круглой пластины и сжимающим давлением, приложенным по круговой кромке, при разных значениях среднего давления на поверхности

Закритический изгиб происходит, если действующее по кромке давление p больше, чем сумма $p_E + p_m$. В том частном случае, когда давление p образуется за счет среднего давления p_m ($p = p_m$), изгиба нет. Имеет место известное явление абсолютной устойчивости пластины под всесторонним давлением [16, 17].

Представляет интерес вопрос о возможности закритического изгиба только под действием среднего избыточного давления. Пусть $p = 0$, $p_m = -0.9$ бар. При приведенных выше данных $E = 2 \cdot 10^6$ бар, $c/h = 10^3$ согласно (4.3), $p_E = 0.77$ бар (шарнирное закрепление) и

$p_E = 2.93$ бар (зашемление). В первом случае имеет место закритический изгиб при вакуумировании поверхностей, во втором – нет.

5. Заключение. 1. Учет разности площадей поверхностей пластины, на которые действует давление газов, приводит к обобщению уравнения изгиба, основанного на гипотезах Кирхгоффа. Это позволяет в частности анализировать устойчивость пластины в зависимости от величины среднего избыточного давления при нулевом перепаде давлений и радиальных сжимающих сил. Здесь предполагается, что кромки пластины изолированы от избыточного давления. Если на кромки действует такое же давление, что на поверхности, то устойчивость не зависит от среднего давления. Этот результат следует из классической теории изгиба пластин и оболочек.

2. Устойчивость круглой пластины в зависимости от среднего давления p_m на ее поверхности определяется безразмерным параметром $\alpha \approx \kappa(p_m/E)(c/h)^2$, представляющим произведение отношения среднего избыточного давления p_m к модулю упругости E материала и квадрата относительного радиуса c/h . В случае свободного опирания коэффициент $\kappa \approx 2.59$, зашемления – $\kappa \approx 0.68$. Параметр α может быть представлен также как отношение среднего избыточного давления на поверхности пластины к критическому значению сжимающего давления p_E , приложенного к кромке круглой пластины ($\alpha \approx p_m/p_E$, где p_E – эйлерово значение $p_E = (E/\kappa)(h/c)^2$). Положительное и отрицательное значения p_m (повышение и понижение давления) приводят соответственно к увеличению и уменьшению приведенной жесткости $D(1 \pm \alpha)$, где D – собственная изгибная жесткость пластины. Если принять, что влияние среднего давления на изгиб нужно учитывать при $\alpha > 0.01$, то получаем оценку $h/c \leq 10\sqrt{p_m/(\kappa E)}$. При нарушении этого условия влияние среднего давления на устойчивость мало.

3. В случае малого модуля упругости материала, малой относительной толщины и сильного вакуумирования может быть отрицательное значение α . Тогда происходит уменьшение критического значения сжимающих сил. Это уменьшение тем сильнее, чем ближе значение параметра α к -1 (или абсолютное значение p_m приблизится к атмосферному давлению p_0). Таким образом, вакуумирование поверхности

пластины дестабилизирует плоское состояние пластины. Это решение справедливо в рамках линейной теории изгиба.

4. Положительное среднее избыточное давление p_m на поверхности пластины уменьшает закритический изгиб, а отрицательное значение p_m (вакуумирование) увеличивает изгиб. В последнем случае закритический изгиб возможен даже при отсутствии сжимающего давления по кромке круглой пластины. Классическая теория пластин и оболочек не позволяет получить такие результаты.

5. В случае, когда имеется ненулевой перепад давлений на поверхности пластины, изгиб происходит под действием как этого перепада, так и среднего давления. Приведенные оценки указывают на необходимость внесения соответствующих дополнений в теорию изгиба тонких пластин и оболочек, подвергаемых действию давления газов и жидкостей. Требуется экспериментальное изучение влияния среднего давления на изгиб и устойчивость тонких пластин и оболочек.

Авторы выражают благодарность В.Е. Моисеевой за помощь при выполнении работы.

Литература

1. Бубнов И.Г. Труды по теории пластин. М.: Гостехиздат. 1953. 423 с.
2. Timoshenko S. Deflection of a uniformly loaded circular plate with clamped edges // Collected Papers. New York. 1953. P. 401–410.
3. Way S. Bending of circular plates with large deflection // Trans. ASME. 1934. Vol. 56, № 8. P. 627–633.
4. Stippes M., Hawsrath A.H. Large deflection of circular plates // J. Appl. Mech. 1952. Vol. 19. P. 287–292.
5. Феодосьев В.И. О больших прогибах и устойчивости круглой мембраны с мелкой гофрировкой // ПММ. 1945. Т. 9, № 5. С. 389–395.
6. Феодосьев В.И. К расчету хлопающей мембраны // ПММ. 1946. Т. 10, № 2. С. 295–300.
7. Муштари Х.М., Галимов К.З. Нелинейная теория упругих оболочек. Казань: Таткнигоиздат, 1957. 431 с.
8. Bodner S.R. The post buckling behavior of a clamped circular plate // Quart. Appl. Math. 1955. Т. 12, № 4. P. 397–401.
9. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 984 с.
10. Григолюк Э.И., Магеррамова Л.А. Устойчивость круговых однородных и неоднородных пластин // Изв. АН СССР. МТТ. 1981. № 2. С. 11–138.

11. Григолюк Э. И., Коршунова О.А. Устойчивость кольцевых пластин при сдвиге // Изв. АН СССР. МТТ. 1983. № 5. С. 156–161.

12. Гольдштейн Р.В., Попов А.Л., Козинцев В.М., Челюбеев Д.А. Неосесимметричная потеря устойчивости при осесимметричном нагреве круглой пластины // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического ун-та. Механика. 2016. № 2. С. 45–53.

13. Ганеева М.С., Моисеева В.Е., Скворцова З.В. Нелинейный изгиб и устойчивость круглых пластин под действием давления жидкости и температуры // Изв. вузов. Авиационная техника. 2016. № 1. С. 3–8.

14. Shen H.Sh. Postbuckling behavior of plates and shells. 2017. 675 p.

15. Ильгамов М.А. Влияние давления окружающей среды на изгиб тонкой пластины и пленки // ДАН. 2017. Т. 476, № 4. С. 402–405.

16. Ильгамов М.А. О влиянии давления окружающей среды на изгиб пластины // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 5. С. 30–35.

17. Ильгамов М.А. Изгиб и устойчивость тонкой пластины при вакуумировании ее поверхностей // ДАН. 2018. Т. 480, № 5. С. 542–544.

References

1. Bubnov I.G. Works on plate theory. Moscow, Gostekhizdat. 1953. 423 p.
2. Timoshenko S. Deflection of a uniformly loaded circular plate with clamped edges. Collected Papers. New York, 1953, pp. 401–410.
3. Way S. Bending of circular plates with large deflection. Trans. ASME., 1934, vol. 56, no 8, pp. 627–633.
4. Stippes M., Hawsrath A.H. Large deflection of circular plates. J. Appl. Mech., 1952, vol. 19, pp. 287–292.
5. Feodosyev V.I. On large deflection and stability of a circular membrane with fine corrugations. Prikladnaya matematika i mekhanika, 1945, vol. 9, no. 5, pp. 389–395.
6. Feodosyev V.I. On the calculation of slamming membrane. Prikladnaya matematika i mekhanika, 1946, vol. 10, no. 2, pp. 295–300.
7. Mushtari Kh.M., Galimov K.Z. Nonlinear theory of elastic shells. Kazan, Tatknigoizdat, 1957. 431 p.
8. Bodner S.R. The post buckling behavior of a clamped circular plate. Quart. Appl. Math., 1955, vol. 12, no. 4, pp. 397–401.
9. Volmir A.S. Stability of deformed systems. Moscow, Nauka, 1967, pp. 984
10. Grigolyuk E.I., Magerramova L.A. Stability of circular uniform and non-uniform plates. Izvestiya Akademii nauk SSSR. Mekhanika tverdogo tela, 1981, no. 2, pp. 11–138.

11. Grigolyuk E.I., Korshunova O.A. The stability of annular plates under shear. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Mekhanika tverdogo tela*, 1983, no. 5, pp. 156–161.

12. Goldshteyn R.V., Popov A.L., Kozintsev V.M., Chelyubeev D.A. Non-axisymmetric edge buckling of circular plates when heated. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika*, 2016, no. 2, pp. 45–53.

13. Ganeeva M.S., Moiseeva V.E., Skvortsova Z.V. Nonlinear bending and stability of circular plates under the liquid pressure and temperature. *Izvestiya vuzov. Aviatsionnaya tekhnika*, 2016, no. 1, pp. 3–8.

14. Shen H.Sh. Postbuckling behavior of plates and shells. Shanghai Jiao Tong University, 2017. 675 p.

15. Ilgamov M.A. Influence of the ambient pressure on thin plate and film bending. *Doklady Physics*, vol. 62, no. 10, pp. 461–464.

16. Ilgamov M.A. On the effect of ambient pressure on the bending of a plate. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2017, no. 5, pp. 30–35.

17. Ilgamov M.A. Bending and stability of a thin plate under vacuuming its surfaces. *Doklady Physics*, vol. 63, no. 6, pp. 244–246.



ON THE INFLUENCE OF MEDIUM PRESSURE ON THE SUPERCRITICAL BENDING OF A CIRCULAR PLATE

© M.A. Ilgamov¹, N.K Galimov²

¹ Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Federal Research Centre
of the Russian Academy of Sciences,
71, prospekt Oktybrya, 450054, Ufa, Russian Federation

² Institute of Mechanics and Engineering,
«Kazan Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences»,
2/31, ulitsa Lobachevskogo, 420111, Kazan, Russian Federation

The stability and supercritical bending of a circular plate under the action of radial compressive forces and the pressure of gases applied to the upper and lower surfaces are considered. The edges of the plate are pinched or loosely supported. A significant influence of the average pressure on the critical load is established. Increasing the average pressure increases the value of the critical compressive force, and evacuation reduces this value. The non-linear stage of plate bending under the action of radial compression and the average pressure on its surface was also studied.

Key words: stability of a circular plate, pressure drop, average pressure, linear bending, nonlinear bending.