

УДК 621.396  
МРНТИ 67.11.41

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2021.2-42>

**Достанова С.Х.<sup>1\*</sup>, Токпанова К.Е.<sup>2</sup>, Касымова Г.Т.<sup>3</sup>, Салех Гулам<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Сатпаев университет, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Туран университет, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА), Алматы, Казахстан

\*Corresponding author: [kasimova\\_63@mail.ru](mailto:kasimova_63@mail.ru)

#### **Информация об авторах:**

Достанова Сауле Хажигумаровна – доктор технических наук, профессор, Сатпаев университет, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-6340-4059>, email: [s.dostanova@satbayev.university](mailto:s.dostanova@satbayev.university)

Токпанова Камиля Еркиновна – доктор технических наук, профессор, Туран университет, Алматы, Казахстан  
<https://orcid.org/0000-0002-4421-9875>,

Касымова Гульсум Темирхановна – магистр технических наук, ассистент профессора, Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА), Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-6340-4059>, email: [kasimova\\_63@mail.ru](mailto:kasimova_63@mail.ru)

Салех Гулам - магистрант, Сатпаев Университет, Алматы, Казахстан  
email: [s.dostanova@satbayev.university](mailto:s.dostanova@satbayev.university)

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ОБОЛОЧЕК ПОКРЫТИЙ**

**Аннотация.** Представлен алгоритм динамического расчета оболочки покрытия. Определены частоты собственных колебаний для гладкой, ребристой и сборной оболочечной конструкции. Оценены влияния конструктивных особенностей оболочечной конструкции на ее динамические характеристики и значения сейсмической нагрузки.

**Ключевые слова:** оболочка, упругость, конструкция, ребра жесткости, переломы кривизны, реактивные силы, частота и период собственных колебаний, сейсмическая нагрузка.

**Введение.** Исследования сейсмических воздействий на оболочечные конструкции, выявляют множество проблем и противоречий в полученных результатах [1-9]. Одной из проблем являются не вполне обоснованные коэффициенты, представленные в СНиП и Правилах для определения сейсмических нагрузок и несовершенство моделей и методов определения наиболее опасных собственных частот и форм колебаний. Для инженерных расчетов принята самая простейшая модель конструкции, как система с 1 степенью свободы, а данные экспериментальных исследований выявляют, что наибольшие амплитуды колебаний могут соответствовать не 1-ой, а более высоким формам колебаний.

Задачей данного исследования является оценка влияния конструктивных особенностей оболочечной конструкции на ее динамические характеристики и определение наиболее опасных форм колебаний.

**Материалы и методы.** Рассматривается одиночная оболочечная конструкция в упругой стадии работы с различными конструктивными особенностями: гладкая, ребристая, возможные переломы кривизны для

сборной конструкции. Сама оболочка покрытия рассматривается как система с равномерно-распределенной массой. Исследовано влияние динамических характеристик на сейсмические нагрузки. Динамические характеристики определены с использованием вариационных методов.

Для определения спектра собственных колебаний пологой железобетонной оболочки использовалась техническая теория пологих оболочек, в качестве исходных уравнений приняты следующие [9-10]:

$$\begin{aligned} \Delta_k^2 \varphi + D \Delta^2 \Delta^2 w - \left( F_3 + \frac{\partial m_x}{\partial x} + \frac{\partial m_y}{\partial y} \right) &= 0, \\ \frac{1}{Eh} \Delta^2 \Delta^2 \varphi - \Delta_k^2 w &= 0, \\ \Delta_k^2 &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \kappa_2 \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \kappa_1 \frac{\partial}{\partial y} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varphi(x, y, t)$  – функция напряжений,  $w$  – нормальные перемещения,  $D$  – цилиндрическая жесткость,  $E$  – модуль упругости оболочки,  $h$  – толщина оболочки,  $\kappa_1, \kappa_2$  – главные кривизны,  $m_x, m_y$  – внешние погонные моменты.

Динамическую задачу теории оболочек можно свести к соответствующей статической, если в уравнениях статики к значениям компонентов внешней нагрузки прибавляются силы инерции ( $F = -ma$ , где  $m$  – масса всей системы). В дальнейшем рассматриваем оболочку вместе с ребрами жесткости и контурными элементами как единую систему, масса которой суммируется из масс ее отдельных элементов. Так как жесткость оболочки в направлении срединной поверхности намного выше жесткости в направлении нормали к ней, тангенциальные составляющие инерционных сил полагаются равными нулю. С учетом взаимодействия оболочки с ребрами при рассмотрении свободных поперечных колебаний внешнюю нагрузку можно представить в виде:

$$\begin{aligned} F_1 = F_2 &= 0, \\ F_3 &= F_3 \sum_{i=1}^m q_i + \sum_{j=1}^n q_j, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $F_1, F_2$  – тангенциальные составляющие инерционных сил,  $F_3$  – нормальная составляющая инерционных сил,  $F_3$  – полная нормальная составляющая внешней нагрузки,  $m, n$  – количество ребер соответственно вдоль  $i$ -го и  $j$ -го направлений,  $q_i, q_j$  – реактивные силы, заменяющие действие ребер, которые приложены по линии контакта с оболочкой. Нормальная составляющая инерционных сил имеет вид:

$$\tilde{F}_3 = - \frac{1}{g} \left[ \gamma h^0 + \sum_{j=1}^{\kappa} \gamma_j h_j \delta(x - a_j) + \sum_{i=1}^{\iota} \gamma_i h_i \delta(y - b_i) \right] \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \quad (3)$$

В (3)  $g$  – ускорение свободно падающего тела /9,81 м/сек<sup>2</sup>/,

$\gamma$  – удельный вес материала оболочки,

$\gamma_i (\gamma_j)$  – удельный вес материала ребер,

$$\begin{aligned}
 &h_i, h_j - \text{высота поперечного сечения ребер,} \\
 &h^0 - \text{толщина оболочки,} \\
 &\delta(x - a_j) = \begin{cases} 0, & x \neq a_j \\ 1, & x = a_j \end{cases} \\
 &\delta(x - b_i) = \begin{cases} 0, & y \neq b_i \\ 1, & y = b_i \end{cases} - \text{функция Дирака}
 \end{aligned}$$

В выражении для  $F_3$  также учитываются массы контурных элементов и бортовых элементов вдоль линии сопряжения смежных оболочек.

Рассматривая контактную задачу, оболочечную конструкцию представляем в виде одной системы, состоящей из различных элементов, взаимодействующих между собой. Действие ребер заменяется эквивалентной системой реактивных моментов и нормальных усилий, приложенных к срединной поверхности оболочки вдоль линии контакта. Учитывается упругое сопротивление ребер изгибу, растяжению (сжатию) и закручиванию.

Действие контурных элементов заменяется системой реактивных моментов и усилий (сдвигающих и нормальных), приложенных вдоль линии контакта оболочки с контурным элементом. Учитывается упругое сопротивление контурного элемента изгибу в двух направлениях, сдвигу, растяжению и кручению.

Решение уравнений (1) получено с использованием вариационного метода, основанного на принципе Лагранжа. Рассматриваются колебания с использованием гармонических функций. При различных соединениях оболочки с контурными элементами получено характеристическое уравнение относительно значений собственных частот и соответствующие формы колебаний оболочки. Эти уравнения представляют собой систему однородных алгебраических уравнений относительно амплитудных значений перемещений, раскрывая его определитель, получаем алгебраическое уравнение относительно неизвестных значений собственных частот колебаний. Собственные частоты и соответствующие периоды колебаний зависят от физико-геометрических характеристик, конструктивных особенностей и жесткости внутренних и внешних связей здания или сооружения. Исследовано влияние деформации влияния ребер, переломов кривизны поверхности и связей элементов оболочечной конструкции на динамические характеристики.

**Результаты и обсуждение.** Рассмотрена оболочечная конструкция, состоящая из оболочки покрытия, контурных элементов и колонн, жестко связанных с основанием. Пологая оболочки, квадратная в плане 24x24м в плане имеют следующие характеристики:

$$\begin{aligned}
 &\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3 - \text{удельный вес материала оболочки;} \\
 &E = 26 \times 10^8 \text{ кг/м}^2; \\
 &a = b = 24 \text{ м;} \\
 &\mu = 0,2 - \text{коэффициент Пуассона;} \\
 &R_1 = R_2 = 23,4 \text{ м} - \text{радиус кривизны;} \\
 &h = 0,03 \text{ м} - \text{толщина.}
 \end{aligned}$$

Оболочки подкреплены перекрестными ребрами жесткости трапецидального поперечного сечения со следующими характеристиками:

$$I_x = 0,000791 \text{ м}^4 \text{ – момент инерции сечения ребра};$$

$$F = 0,0462 \text{ м}^2 \text{ – площадь сечения ребра};$$

$$\eta = -0,115 \text{ м} \text{ – эксцентриситет центра тяжести сечения};$$

$$\gamma_p = 2500 \text{ кг/м}^3 \text{ – удельный вес материала ребер};$$

$$S_x = F \eta = -0,00531 \text{ м}^3 \text{ – статический момент сечения ребра}.$$

В таблице 1 представлены значения собственных для гладкой, ребристой и сборной оболочки покрытия, полученные аналитическим путем [10-11].

Таблица 1 – Значения собственных частот [Гц]

Кол-во переломов вдоль оси x	Кол-во переломов вдоль оси y	Кол-во ребер вдоль оси x	Кол-во ребер вдоль оси y	Кол-во полуволн в направлении оси x				Кол-во полуволн в направлении оси y			
				1	2	3	4	1	2	3	4
Гладкая оболочка											
0	0	0	0	30,9	30,9	30,9	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0
Ребристая оболочка											
0	0	0	1	30,0				30,2			
0	0	0	2	29,2	29,2			29,5	29,6		
0	0	0	3	28,3	28,4	28,5		28,8	29,0	29,2	
0	0	0	4	27,6	27,7	27,8	27,8	28,2	28,5	28,6	28,8
0	0	0	5	27,0	27,1	27,1	27,2	27,7	28,0	28,1	28,3
0	0	0	6	26,0	26,5	26,5	26,6	27,5	27,7	27,9	28,0
0	0	1	1	29,2							
0	0	2	4	26,4	26,5	27,0	28,3	26,9	27,3	28,0	29,0
Оболочка с переломами кривизны											
0	2	0	0	33,6	26,8			40,0	33,7		
0	2	0	2	31,3	25,0			38,0	32,8		
0	2	3	0	30,0	24,9			36,0	31,2		
0	2	3	1	29,0	24,2			35,0	30,0		
0	2	3	2	28,4	23,6			35,1	30,7		
0	2	3	3	27,7	23,0	24,0		34,6	30,5	30,3	41,0
0	2	3	3	27,7	23,0	24,0		34,6	30,5	30,3	41,0
0	2	4	0	29,2	24,4			35,2	30,6		

**Заключение.** Из таблицы 1 видно, что наличие массивных ребер жесткости незначительно уменьшают значения собственных частот колебаний, причем с увеличением количества полуволн значения собственных частот увеличиваются примерно на 3-6%. Наиболее значительное влияние на значения собственных частот играют переломы кривизны. Наличие переломов кривизны для сборной оболочки в сравнении с гладкой повышает значения собственных частот почти на 8-30% для 1-ой формы колебаний.

**Литература:**

1. Абовский Н.П., Темерова А.С. Современное состояние развития сейсмостойкого строительства. – Красноярск, 2005. – 87 с.
2. Умбетов У., Сейтмуратов А.Ж. Декомпозиционный подход к моделированию сейсмостойкости строительных конструкций // «Современные наукоемкие технологии». – 2012. – № 6. – С. 43-48.
3. Позняк Е.В. Развитие методов волновой теории сейсмостойкости строительных конструкций: докт. диссерт. – 2019.
4. Назаров Ю.П. Расчетные модели сейсмических воздействий. – М.: «Наука», 2012. – 414с.
5. Назаров Ю.П., Позняк Е.В. Современная концепция интегральной модели сейсмического движения грунта в строительных расчетах на сейсмостойкость // «Промышленное и гражданское строительство». – 2016. – № 9. – С. 74-80.
6. Конструктивная сейсдобезопасность зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях: препринт / под ред. Н.П. Абовского. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2009. – 186 с.
7. Абовский Н.П. Пространственные фундаментные платформы: сб. научн. работ. – Красноярск: КрасГАСА, 2006. – 187 с.
8. Шабданов М.Д., Турганбаев О.М. Актуальные проблемы современного сейсмостойкого строительства высотных зданий в Кыргызской Республике // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2014. – №3. – С. 50-55.
9. Григолюк Э.И., Толкачев В.М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. – М., 1980. – С. 416.
10. Достанова С.Х., Касымова Г.Т., Токпанова К.Е. Динамические характеристики каркасных зданий с учетом евростандартов РК в строительстве // Вестник КазГАСА. – Алматы, 2020. – №3 (77). – С. 115-119.
11. Достанова С.Х., Токпанова К.Е., Салех Гулам Сахи. Проблемы теории и практики сейсмостойкости зданий и сооружений //Евразийский союз ученых. – 11(80)20, том 7, серия техн. науки. – Москва, 2020. – С. 48-53.

**References:**

1. Abovskiy N.P., Temerova A.S. The current state of the development of earthquake-resistant construction. – Krasnoyarsk, 2005. – 87 p.
2. Umbetov U., Seitmuratov A.Zh. Decomposition approach to modeling the seismic resistance of building structures // Modern science-intensive technologies. – 2012. – No. 6. – P. 43-48.
3. Poznyak Elena Viktorovna Development of methods of wave theory of seismic resistance of building structures: Doctoral dissertation. – 2018.
4. Nazarov Yu.P. Calculation models of seismic effects. – M.: «Nauka», 2012. – 414 p.
5. Nazarov Yu.P., Poznyak E.V. The modern concept of an integral model of seismic soil movement in construction calculations for seismic resistance // Industrial and civil construction. – 2016. – No.9. – P. 74-80.
6. Constructive seismic safety of buildings and structures in difficult soil conditions: preprint / ed. N.P. Abovsky. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2009. – 186 p.
7. Abovskiy N.P. Spatial foundation platforms: collection of scientific works. – Krasnoyarsk: KrasGASA, 2006. – 187 p.
8. Shabdanov M.D., Turganbaev O.M. Actual problems of modern earthquake-resistant construction of high-rise buildings in the Kyrgyz Republic // KGUSTA Bulletin. – Bishkek, 2014. – No. 3. – P. 50-55.

9. Grigolyuk E.I., Tolkachev V.M. *Contact problems of the theory of plates and shells.* – Moscow, 1980. – P. 416.
10. Dostanova S.Kh., Kasymova G.T., Tokpanova K.E. *Dynamic characteristics of frame buildings, taking into account the European standards of the Republic of Kazakhstan in construction // KazGASA Bulletin.* – Almaty, 2020. – 3 (77). – 115-119 p.
11. Dostanova S.Kh., Tokpanova K.E., Saleh Gulam Sakhi. *Problems of the theory and practice of seismic resistance of buildings and structures // Eurasian Union of Scientists. 11 (80) 20, volume 7, technical series. science.* – Moscow, 2020. – P.48-53.

**Достанова С.Х.<sup>1\*</sup>, Тоқпанова К.Е.<sup>2</sup>, Касымова Г.Т.<sup>3</sup>, Салех Гулам<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Тұран университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Халықаралық білім беру корпорациясы (ҚазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан

\*Corresponding author: [kasimova\\_63@mail.ru](mailto:kasimova_63@mail.ru)

**Авторлар жайлы ақпарат:**

Достанова Сауле Хажигумаровна – техника ғылымдарының докторы, профессор, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-6340-4059>, email: [s.dostanova@satbayev.university](mailto:s.dostanova@satbayev.university)

Тоқпанова Камиля Еркиновна – техника ғылымдарының докторы, профессор, Тұран университеті, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-4421-9875>,

Касымова Гульсум Темирхановна – техника ғылымдарының магистрі, профессор ассистенты, ХБК (ҚазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-6340-4059>, email: [kasimova\\_63@mail.ru](mailto:kasimova_63@mail.ru)

Салех Гулам - магистрант, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

email: [s.dostanova@satbayev.university](mailto:s.dostanova@satbayev.university)

## **ӘР ТҮРЛІ ЖАБЫНДЫҚ ҚАБЫҚШАЛАР МОДЕЛЬДЕРІНЕ АРНАЛҒАН ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАР**

**Аңдатпа.** *Жабындық қабықшаларды динамикалық есептеу алгоритмі ұсынылған. Табиғи тербеліс жиіліктері қабықшаның тегіс, қырлы және құрама құрылымы үшін анықталады. Қабықша құрылымының құрылымдық ерекшеліктерінің оның динамикалық сипаттамаларына және сейсмикалық жүктеме мәндеріне әсері бағаланады.*

**Түйін сөздер:** *қабықша, серпінділік, құрылым, қаттылықтар, қисықтық сынықтар, реактивті күштер, табиғи тербелістердің жиілігі мен кезеңі, сейсмикалық жүктеме.*

**Dostanova S.Kh.<sup>1\*</sup>, Tokpanova K.E.<sup>2</sup>, Kasymova G.T.<sup>3</sup>, Salekh Gulam<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Satpayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Turan University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>International Educational Corporation (campus KazGASA), Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author: [kasimova\\_63@mail.ru](mailto:kasimova_63@mail.ru)

**Information about authors:**

Dostanova Saule Kh. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Satpayev University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-6340-4059>, email: [s.dostanova@satbayev.university](mailto:s.dostanova@satbayev.university)

Tokpanova K.E. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Turan University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-4421-9875>,

Kasymova G.T. - Master of Engineering Science, assistant professor, International Educational Corporation (campus KazGASA), Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-6340-4059>, email: [kasimova\\_63@mail.ru](mailto:kasimova_63@mail.ru)

Salekh Gulam – master's student, Satpayev University, Almaty, Kazakhstan

email: [s.dostanova@satbayev.university](mailto:s.dostanova@satbayev.university)

## **DYNAMIC CHARACTERISTICS FOR VARIOUS COATING SHELL MODELS**

**Abstract.** *An algorithm for the dynamic calculation of the coating shell is presented. Frequencies of natural vibrations are determined for a smooth, ribbed and prefabricated shell structure. The influence of the structural features of the shell structure on its dynamic characteristics and the values of seismic load is estimated.*

**Keywords:** *Shell, elasticity, structure, stiffeners, curvature fractures, reactive forces, frequency and period of natural vibrations, seismic load.*