

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №5, Том 10 / 2018, No 5, Vol 10 <https://esj.today/issue-5-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/60SAVN518.pdf>

Статья поступила в редакцию 18.10.2018; опубликована 09.12.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Окладникова Е.В. Надежность работы трехслойных пологих оболочек в пространственных покрытиях зданий и сооружений // Вестник Евразийской науки, 2018 №5, <https://esj.today/PDF/60SAVN518.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Okladnikova E.V. (2018). The reliability of the sandwich shallow shells in three-dimensional surfaces of buildings and structures. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(10). Available at: <https://esj.today/PDF/60SAVN518.pdf> (in Russian)

УДК 624.074.4

ГРНТИ 67.03.03

Окладникова Елена Викторовна

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», Благовещенск, Россия
Заведующий кафедрой «Строительного производства и инженерных конструкций»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: okladnikova_ev@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=399735

Надежность работы трехслойных пологих оболочек в пространственных покрытиях зданий и сооружений

Аннотация. Рассматривается надежность работы тонкостенных пространственных конструкций, применяемых в качестве элементов покрытия зданий и сооружений. Представленные результаты исследования надежности работы трехслойных пологих оболочек выполнены в продолжение более ранних исследований автора предлагаемой статьи, доцента, кандидата технических наук Окладниковой Елены Викторовны, результаты которых в обобщенном виде были представлены в диссертационном исследовании. Объектом исследования является трехслойная полая оболочка с малыми изломами поверхности. Оболочка выполнена из плоских трехслойных элементов. Исследуются частоты и формы свободных колебаний трехслойных пологих оболочек с малыми изломами поверхности. Автором представлен результат исследования напряженно-деформированного состояния оболочки при влиянии различных факторов. В статье используется методика аналитического расчета, разработанная в диссертационной работе автора «Колебания и устойчивость трехслойных пологих оболочек с изломами поверхности». Разработана последовательность определения частот свободных колебаний оболочек. Выявлено влияние волнового числа и соотношения размеров оболочки в плане, а также количества изломов на частоты и формы свободных колебаний трехслойных пологих оболочек с малым изломом поверхности. По результатам работы сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние; трёхслойные пологие оболочки; изломы поверхности; свободные колебания; частоты и формы колебаний; методика аналитического расчета; пространственные конструкции

Введение

В настоящее время основными требованиями, предъявляемыми к строительству, являются эффективность применяемых конструкций, экономия строительных материалов, а также долговечность и архитектурная выразительность зданий и сооружений. Эти задачи решаются выбором оптимальной конструктивной схемы здания или сооружения. Но набор используемых конструктивных элементов и строительных материалов ограничен. Применение в строительстве тонкостенных пространственных конструкций позволяет максимально эффективно использовать строительные материалы. Эти конструкции представляют собой системы, состоящие из тонких оболочек или пластин.

Разнообразные формы поверхности оболочек дают возможность их применения в качестве пространственных покрытий и позволяют придавать сооружению особенную архитектурную выразительность.

К достоинствам трехслойных оболочек можно отнести их экономическую выгоду вследствие безрулонного решения кровли и отсутствия текущих отделочных работ, а также обеспечение необходимых теплоизоляционных свойств.

Существует огромное множество поверхностей оболочек, которые могут быть использованы в пространственных покрытиях. Оболочки, очерченные по различным поверхностям, по-разному вписываются в конструкцию и по-разному ведут себя под нагрузкой. Поэтому к выбору поверхности оболочки необходимо подходить не только с точки зрения эстетичности, но и с точки зрения прочностных свойств конструкции.

В работах С.А. Амбарцумяна [1], В.В. Болотина [2], В.З. Власова [3] и других ученых доказано, что рациональной является форма оболочки в виде выпуклого многогранника. Оболочки монтируются из унифицированных крупноразмерных плоских элементов и являются экономичнее оболочек, монтируемых из криволинейных сборных элементов.

Первые теоретические работы, в которых рассматривались колебания цилиндрической и сферической оболочек, принадлежат А. Love [4]. В своих работах автор основывался на допущениях, что деформированное состояние в тонких пластинах и оболочках определяется при помощи уравнений равновесия. А. Love предполагал, что если пренебречь моментом силы инерции, оболочка с изогнутой срединной поверхностью может совершать такое же колебание, как и плоская пластина.

Его продолжателями в этой области стали В.А. Амбарцумян [1], В.В. Болотин [2], А.С. Вольмир [5], А.Л. Гольденвейзер [6], Э.И. Григолюк [7] и другие ученые, которые в своих работах исследовали частоты и формы свободных колебаний для гладких однослойных оболочек. Необходимость исследования частот свободных колебаний оболочек является одной из основных задач их динамического расчета.

Подобная задача для цилиндрической оболочки со свободно опертыми краями была решена В. Флюгге. Им было получено частотное уравнение в виде кубического уравнения относительно квадрата частоты свободных колебаний [8].

Колебания и устойчивость пологих оболочек подробно рассмотрены в работе В.З. Власова, который разработал техническую моментную теорию пологих оболочек [3].

В работе О.Д. Ониашвили [9] приведены результаты натурных динамических испытаний и дан анализ сравнения теоретических и экспериментальных данных, а также дан подробный обзор исследований частот и форм свободных колебаний пологих оболочек, проведенных на основании теории пологих оболочек Б.З. Власова.

Подробный анализ методов динамического расчета для оболочек различных форм рассмотрен в работе В.В. Болотина, который уделял большое внимание обсуждению методов непосредственного интегрирования дифференциальных уравнений движения оболочек [2]. На основе теории В.В. Болотина решены задачи расчета оболочек под действием динамических нагрузок.

Для учета нерегулярности поверхности в теории оболочек используется дельта-функция, которую впервые применил А.А. Назаров. С помощью аппарата обобщенных функций С.А. Амбарцумяном в работе [1] решены некоторые задачи теории оболочек с различными нерегулярностями.

Нерегулярности поверхности аналитически представлялись δ -функцией, умноженной на угол перелома, и учитывались как обращение кривизны в бесконечность.

Теория расчета складчатых пологих оболочек с применением аппарата обобщенных функций получила свое дальнейшее развитие в работах Д.В. Вайнберга, И.З. Ройтфарба [10], Б.К. Михайлова [11, 12], Л.Н. Кондратьевой [12, 13, 14]. В работе Д.В. Вайнберга и И.З. Ройтфарба помимо практической реализации применения аппарата обобщенных функций приводятся теоремы о дифференцировании последовательности этих функций и их разложении в ряды Фурье [10]. В этой же работе рассматриваются задачи колебаний складчатых цилиндрических оболочек с изломами поверхности в одном направлении.

Современные компьютерные технологии расчета оболочек используются в работах В.В. Карпова, А.А. Семенова, А.Ю. Атискова, Д.А. Барановой, Л.П. Москаленко и других авторов [15].

Представленные результаты исследования надежности работы трехслойных пологих оболочек выполнены в продолжение более ранних исследований автора предлагаемой статьи, доцента, кандидата технических наук Окладниковой Елены Викторовны, результаты которых в обобщенном виде были представлены в диссертационном исследовании [16].

Методика решения задачи

Аналитические методы расчета позволяют оценить и предсказать влияние различных факторов на динамические характеристики оболочек, а также обеспечивают достоверность результатов.

Целью данной работы является продолжить исследование частот и форм свободных колебаний трехслойных оболочек с малыми изломами поверхности, начатое в диссертационной работе автора «Колебания и устойчивость пологих трехслойных оболочек с изломами поверхности».

Складчатая пологая трехслойная оболочка (рис. 1) на прямоугольном плане с размерами a и b рассматривается в ортогональных координатах x , y .

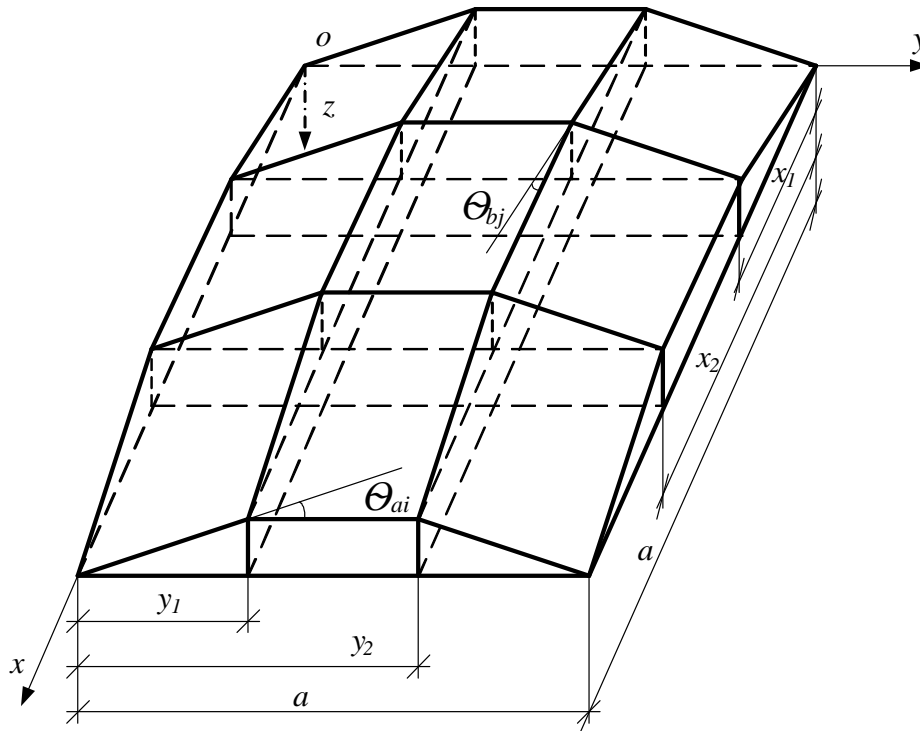


Рисунок 1. Оболочка с изломами срединной поверхности в двух направлениях (разработано автором)

Задача определения частот и форм свободных колебаний решается на основе теории пологих оболочек с использованием обобщенных функций [10, 11].

Исследуем частоты и формы свободных колебаний прямоугольных в плане трёхслойных оболочек в зависимости от количества изломов поверхности в каждом из двух направлений x и y .

Исследования будем проводить на оболочках с размерами в плане 12x12 м, 12x18 м и 12x24 м (рис. 2), каждая из которых состоит из девяти плит.

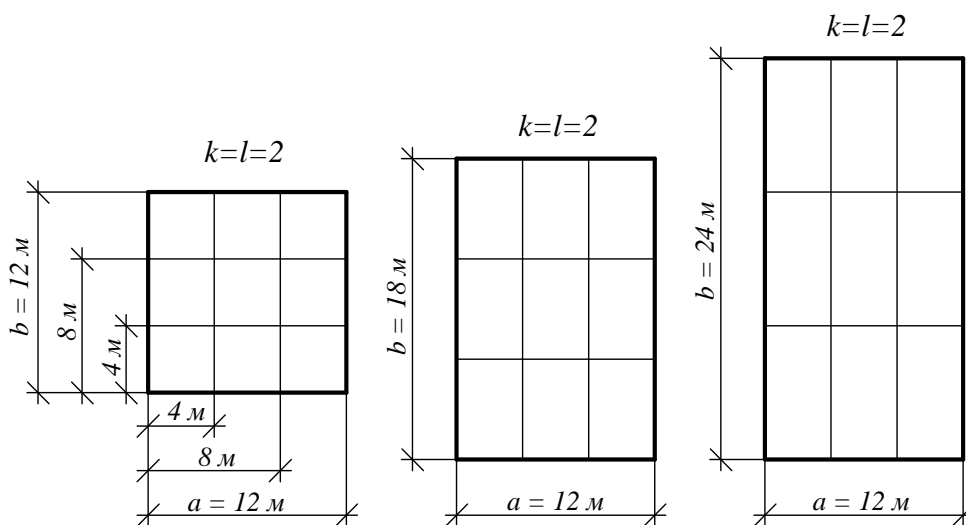


Рисунок 2. Проекция прямоугольных в плане оболочек (разработано автором)

Для исследования частоты и формы свободных колебаний трёхслойных оболочек будем применять методику, разработанную в диссертационной работе автора статьи «Колебания и устойчивость пологих трёхслойных оболочек с изломами поверхности».

Последовательность определения частот свободных колебаний оболочек:

1. Вычисляем значение цилиндрической жесткости трехслойной оболочки

$$D^* = \frac{Eh^2d}{2(1-\mu^2)}.$$

2. Определяем приведенную массу материала оболочки на единицу площади

$$m^* = \rho_3(h-d) + 2\rho_b d.$$

3. Определяем углы изломов θ_x и θ_y и значения коэффициентов S_x и S_y .

4. Находим значения квадратов круговой частоты ω_{mn}^2 при заданных формах свободных колебаний оболочки.

Исследуем частоты и формы свободных колебаний прямоугольных в плане трехслойных оболочек. Применим изложенную выше методику. Количество изломов в каждом направлении примем равным двум.

Для этого будем использовать формулу для вычислений квадрата круговой частоты свободных колебаний оболочек [16], которая при заданных значениях $k=l=2$ и $S_x=S_y=3/2$ будет иметь вид:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{m^*} \left(\frac{D^*(m,n)^2}{1 + \frac{D^*}{G_3 h}(m,n)} + \frac{18hEd \left(\frac{\beta_n^2}{a} \theta_x + \frac{\alpha_m^2}{b} \theta_y \right)^2}{(m,n)^2} \right). \quad (1)$$

Результаты вычислений для складчатых оболочек с размерами в плане 12x12 м, 12x18 м и 12x24 м изображены на рисунке 3 в виде кривых зависимости частоты ω_{m1} от волнового числа m .

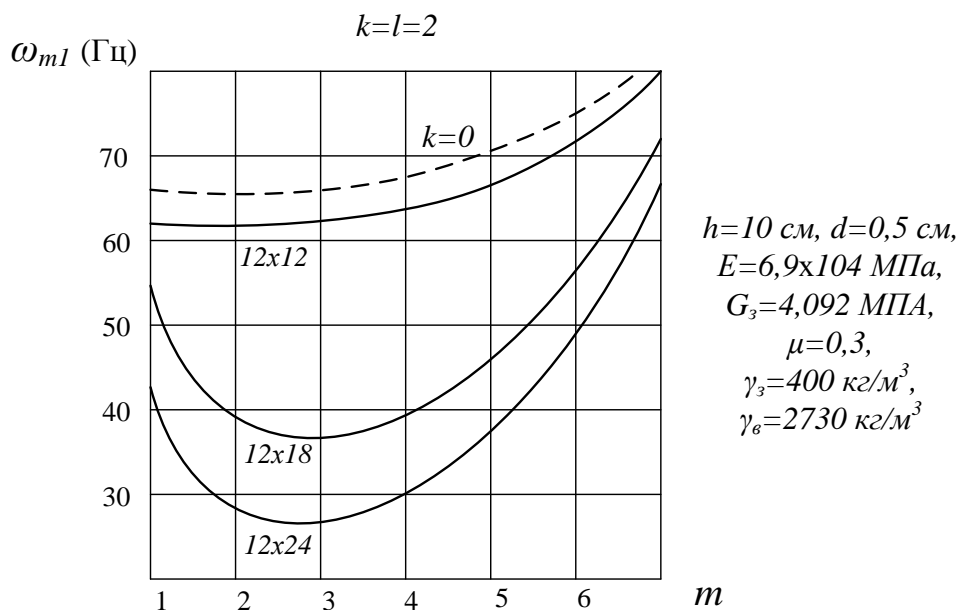


Рисунок 3. Графики зависимости частоты свободных колебаний от волнового числа m (разработано автором)

Штриховой линией изображен график изменения частоты ω_{m1} для квадратной в плане 12x12 м гладкой трехслойной оболочки.

По графику видно, что чем больше один из размеров оболочки, тем меньше жесткость и частота свободных колебаний.

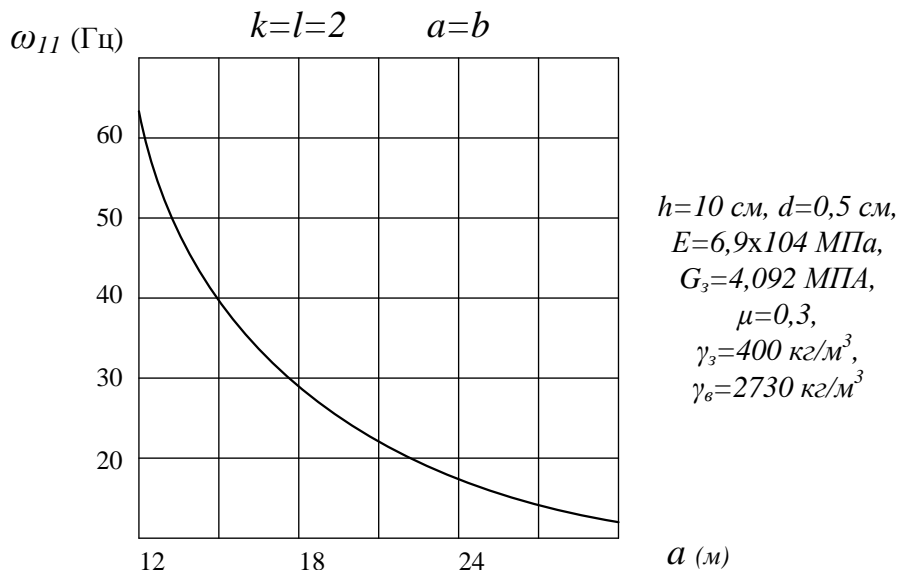


Рисунок 4. График зависимости частоты основного тона колебаний от размеров оболочки в плане (разработано автором)

На рисунке 4 изображен график зависимости частоты основного тона колебаний ω_{11} от размеров в плане для трехслойных квадратных пологих оболочек с двумя симметричными изломами поверхности. По графику видно, что при увеличении размеров оболочки частота свободных колебаний уменьшается.

Квадрат частоты свободных колебаний при различных углах θ_i и θ_j для трехслойных прямоугольных в плане оболочек определяется по формуле (1) с любым количеством изломов [17]. Вычислим квадраты частоты свободных колебаний при различных сочетаниях количества изломов поверхности. Полученные результаты изобразим графически.

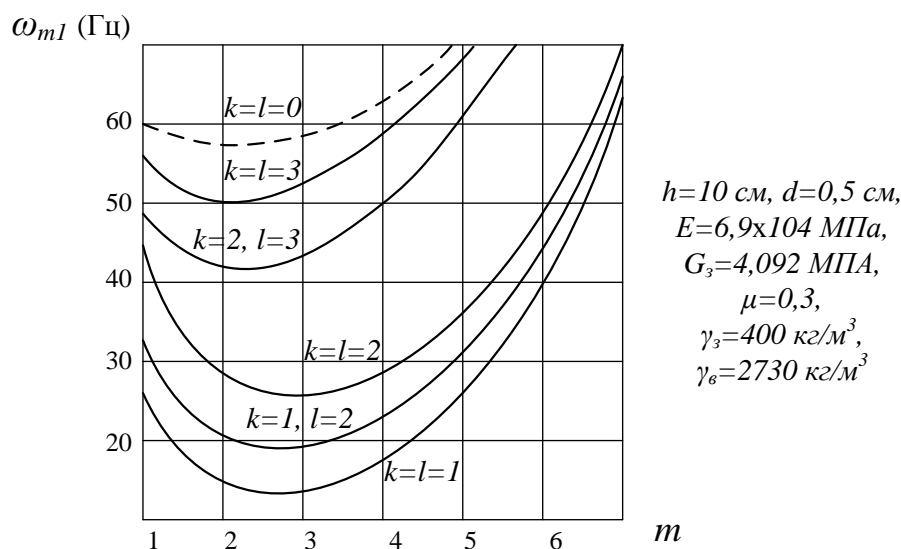


Рисунок 5. Графики зависимости частоты свободных колебаний от количества изломов (разработано автором)

На рисунке 5 показаны графики зависимости частоты свободных колебаний трехслойной прямоугольной в плане полой оболочки от количества изломов. При этом значения r_x и r_y вычислялись по формулам:

$$\begin{aligned} r_x &= \sum_{i=1}^k \theta_i \sin^2 \alpha_m x, \\ r_y &= \sum_{j=1}^l \theta_j \sin^2 \beta_n y. \end{aligned} \tag{2}$$

Так, например, для оболочки с тремя изломами по направлению оси x и тремя изломами по направлению оси y , r_x и r_y примут значения:

$$m = n = 1; \quad r_x = \theta_{1x} \sin^2 \frac{1\pi a}{a 4} + \theta_{2x} \sin^2 \frac{1\pi 2a}{a 4} + \theta_{3x} \sin^2 \frac{1\pi 3a}{a 4} = 2\theta_x$$

$$\text{при } \theta_{1x} = \theta_{2x} = \theta_{3x}; \quad r_y = 2\theta_y;$$

$$m = 2, n = 1; \quad r_x = \theta_x \left(\sin^2 \frac{2\pi a}{a 4} + \sin^2 \frac{2\pi 2a}{a 4} + \sin^2 \frac{2\pi 3a}{a 4} \right) = 2\theta_x;$$

$$r_y = 2\theta_y;$$

$$m = 3, n = 1; \quad r_x = \theta_x \left(\sin^2 \frac{3\pi a}{a 4} + \sin^2 \frac{3\pi 2a}{a 4} + \sin^2 \frac{3\pi 3a}{a 4} \right) = 2\theta_x;$$

$$r_y = 2\theta_y;$$

$$m = 4, n = 1; \quad r_x = \theta_x \left(\sin^2 \frac{4\pi a}{a 4} + \sin^2 \frac{4\pi 2a}{a 4} + \sin^2 \frac{4\pi 3a}{a 4} \right) = 0;$$

$$r_y = 2\theta_y.$$

Анализируя проведенные исследования (рис. 5) приходим к выводу, что при увеличении количества изломов значения частот складчатой оболочки приближаются к значениям частот для гладкой оболочки, также, как и поверхность складчатой оболочки при увеличении числа изломов стремится к гладкой.

Выводы

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Применение обобщенных функций позволило разработать методику определения частот и форм свободных колебаний трехслойных оболочек с малыми изломами поверхности.
2. На основании разработанной методики исследованы частоты и формы свободных колебаний прямоугольных в плане полых трехслойных оболочек с изломами срединной поверхности в зависимости от их геометрических размеров, количества изломов поверхности и других факторов.
3. Уменьшение кривизны складчатых оболочек приводит к уменьшению частоты свободных колебаний.

4. Увеличение размеров оболочек в плане приводит к уменьшению частот свободных колебаний.
5. При воздействии динамических нагрузок складчатые оболочки имеют более плотный спектр частот свободных колебаний и обладают лучшими динамическими свойствами, что обеспечивает их надежную работу в составе пространственных покрытий зданий и сооружений.

Значительный вклад в исследование данной проблемы внесли заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Михайлов Борис Кузьмич и доктор технических наук, профессор Кондратьева Лидия Никитовна

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных оболочек. М.: Физматгиз, 1961. – 384 с.
2. Болотин В.В. О плотности частот собственных колебаний тонких упругих оболочек // ПИ, – 1963. – Т.27. I 2.
3. Власов, В.З. Общая теория оболочек и ее приложение к технике / В.З. Власов // Гостехиздат. – М. – 1949. – 784 с.
4. A. Love. On the small free vibrations and deformation of thin elastic shell. Phil. Trans. Roy. Soc., vol: 179(A), – 1888.
5. Вольмир, А.С. Гибкие пластинки и оболочки / А.С. Вольмир // Гос. Изд-во техн. – теорет. Лит. – М. – 1965. – 420 с.
6. Гольденвейзер, А.Л. Свободные колебания тонких упругих оболочек / А.Л. Гольденвейзер, В.Б. Лидский, П.Е. Товстик // Наука. – М. – 1979. – 384 с.
7. Григолюк Э.И. Современное состояние теории многослойных оболочек // Прикладная механика. – 1977. – Выпуск 6. – С. 3-17.

8. Флюгге В. Статика и динамика оболочек. – М. – 1961. – 306 с.
9. Ониашвили О.Д. Некоторые динамические задачи теории оболочек / О.Д. Ониашвили // М.: Изд. АН СССР. – 1957. – 196 с.
10. Вайнберг, Д.В. Расчет пластин и оболочек с разрывными параметрами / Д.В. Вайнберг, И.З. Ройтфарб // Расчет пространственных конструкций. – М. – 1969. – Вып.10. – С. 39-80.
11. Михайлов, Б.К. Пластины и оболочки с разрывными параметрами / Б.К. Михайлов // Изд-во ЛГУ. – Л. – 1980. – 196 с.
12. Михайлов Б.К., Кондратьева Л.Н. Свободные колебания пологих трехслойных оболочек, составленных из плоских элементов – Л.: ЛИСИ, 1987. – 17 с.
13. Кондратьева, Л.Н. Исследование частот и форм свободных колебаний сборных оболочек из плоских элементов / Л.Н. Кондратьева // Агрокомплекс Сибири и Дальнего Востока. – Благовещенск. – 1990. – С.43.
14. Кондратьева Л.Н., Окладникова Е.В. Исследование частот и форм колебаний трехслойных пологих оболочек с изломами поверхности // Промышленное и гражданское строительство, 2008, № 7, С. 38-39.
15. Атисков А.Ю. Компьютерные технологии расчета оболочек / А.Ю. Атисков, Д.А. Баранова, В.В. Карпов, Л.П. Москаленко, А.А. Семенов. – СПб.: СПбГАСУ, – 2012. – 184 с.
16. Окладникова Е.В. Колебания и устойчивость пологих трехслойных оболочек с изломами поверхности // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Санкт-Петербург, 2005.
17. Кондратьева Л.Н., Нгуен Х.Х., Поварова И.Б. Аналитический метод определения частоты свободных колебаний пологих оболочек с изломом поверхности // Актуальные проблемы современного строительства и пути их эффективного решения // СПбГАСУ. – 2012, С. 3-7.
18. <http://tekhnosfera.com/kolebaniya-i-ustoychivost-pologih-trehsloynyh-obolochek-s-izlomami-poverhnosti>.
19. <http://www.dissercat.com/content/kolebaniya-i-ustoichivost-pologikh-trehsloinykh-obolochek-s-izlomami-poverkhnosti>.

Okladnikova Elena Viktorovna

Far Eastern state agrarian university, Blagoveshchensk, Russia
E-mail: okladnikova_ev@mail.ru

The reliability of the sandwich shallow shells in three-dimensional surfaces of buildings and structures

Abstract. We consider the reliability of the thin-walled spatial structures used as cover elements of buildings and structures. The presented results of a research of reliability of work of three-layer flat covers are executed throughout earlier researches of the author of the offered article, the associate professor, Candidate of Technical Sciences Okladnikova Elena Viktorovna which results were presented in the generalized form in a dissertation research. The object of this study is a three-layer shallow shell surface with small bends. The shell is made of a flat sandwich elements. Investigated the frequency of free oscillations and forms three-layer flat shells with small breaks the surface. The author shows the result of investigation of the stress-deformed state of the shell under the influence of various factors. The paper used the method of analytical calculation, developed in the thesis the author of "Oscillations and stability of sandwich shallow shells with break the surface." Designed sequence determination frequency oscillations of free shells. The effect of the wave number and the ratio of shell sizes in plan, and the number of breaks on the frequency and the form of free oscillations sandwich flat shells with a small fracture surface. The result of the draw appropriate conclusions.

Keywords: stress-strain state; three-layer flat membrane; kinks surface; free oscillations; frequencies and forms of fluctuations; technique of analytical calculation; spatial constructions