

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК И ПЛАСТИНОК ПРИ ОТСУТСТВИИ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ НА КОНТУРЕ

Аннина О.Г.

Саратовский государственный технический университет, г. Саратов

Ключевые слова: долговечность, агрессивная среда, напряжения, деформации.

Аннотация. В статье описаны методы определения долговечности нелинейно деформируемых гибких пологих оболочек и пластинок при отсутствии тангенциальных смещений на контуре, разработанные автором. Ведущим параметром решения НКЗ является параметр прогиба в центре оболочки. Приведены формулы расчета долговечности гибких пологих оболочек и пластинок. Представлены графики результатов.

DURABILITY OF NONLINEAR DEFORMABLE SHALLOW SHELLS AND PLATES IN THE ABSENCE OF TANGENTIAL DISPLACEMENTS ON THE CIRCUIT

Annina O.G.

Saratov state technical university, Saratov

Keywords: durability, aggressive environment, stress, strain.

Abstract. The article describes the methods developed by the author for determining the durability of nonlinearly deformable flexible shallow shells and plates in the absence of tangential displacements on the circuit. The leading parameter of the NKZ solution is the deflection parameter in the center of the shell. Formulas for calculating the durability of flexible gently sloping shells and plates are given. Presented graphs of the results.

Определение долговечности гибких пологих оболочек и пластин из несжимаемого нелинейно деформируемого материала базируется при отсутствии тангенциальных смещений на контуре на использовании разрешающей системы уравнений равновесия в компонентах вектора перемещения.

Создаем модель деформирования гибких пологих оболочек и пластинок, изготовленных из нелинейно деформируемого материала, под действием поперечной нагрузки при учете влияния агрессивной среды в произвольной точке материала обсуждаемых конструктивных элементов для конкретных пар «материал – среда» применительно к тонкостенным конструктивным элементам, характеризующимся отсутствием тангенциальных смещений на контуре.

Проводим анализ долговечности дважды нелинейных цилиндрических панелей с параметрами кривизны $k_\xi = 0, k_\eta > 0$, панели которых теряют устойчивость по симметричной форме; вопросы долговечности пологих оболочек двоякой кривизны с большими значениями параметров кривизны $k_\xi = k_\eta$.

Для повышения точности решения НКЗ применяем высокоточную аппроксимацию нелинейной зависимости $\sigma_i - \varepsilon_i$ кубическими сплайнами [2]

$$\sigma(\varepsilon) = \frac{\varepsilon_k - \varepsilon}{\lambda_k} \sigma_{k-1} + \frac{\varepsilon - \varepsilon_{k-1}}{\lambda_k} \sigma_k + \frac{1}{6\lambda_k} \left[(\varepsilon_k - \varepsilon)^3 - \lambda_k^2 (\varepsilon_k - \varepsilon) \right] \Psi_{k-1} + \frac{1}{6\lambda_k} \left[(\varepsilon - \varepsilon_{k-1})^3 - \lambda_k^2 (\varepsilon - \varepsilon_{k-1}) \right] \Psi_k; \varepsilon_{k-1} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_k; k = 0, 1, 2, \dots, n+1, \quad (1)$$

где σ_k, ε_k – заданные узлы с абсциссами из возрастающей последовательности, причем $n+1$ – число узлов, а прочие величины в (2) определяются формулами:

$$\Psi = \sigma''_{\varepsilon\varepsilon}, \quad \Psi_k = \sigma''(\varepsilon_k), \quad \lambda_k = \varepsilon_k - \varepsilon_{k-1}. \quad (2)$$

В качестве современных конструкционных материалов рассмотрим полимерные бетоны, обладающие деформативностью, достигающей до 7% и более, зависимости $\sigma_i - \varepsilon_i$ [1] для которых приведены на рис. 1.

Для полимерного бетона № 2 с рис. 1 предельная величина интенсивности деформаций составляет $\varepsilon_{i \max} = 0,073$, начальный модуль равен $E = 2,2003867 \cdot 10^9$ (Па), а пары значений $\sigma_i - \varepsilon_i$ а также величины параметров $\Psi = \sigma''_{\varepsilon\varepsilon}$, входящих в формулу (1) аппроксимации кубическими сплайнами, приведены в табл. 1.

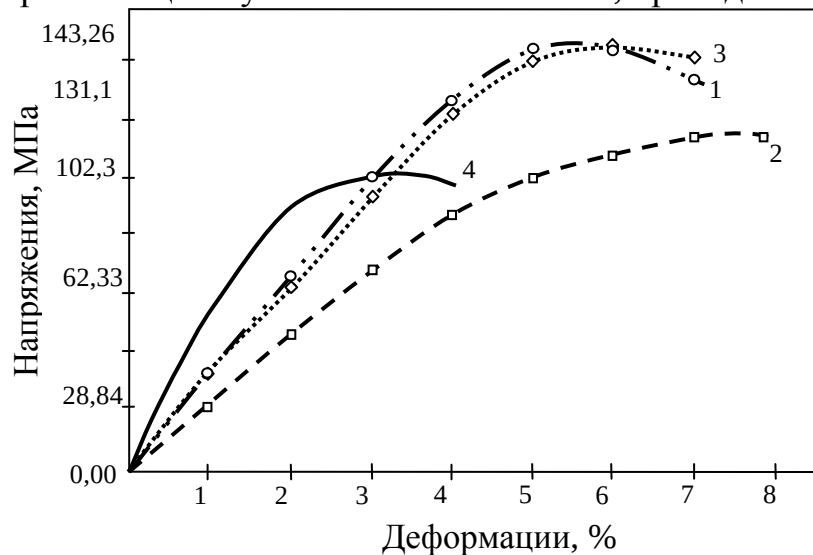


Рис. 1. Зависимости $\sigma_i - \varepsilon_i$ для полимерного бетона

Табл. 1. Результаты аппроксимации нелинейной зависимости $\sigma_i - \varepsilon_i$

I	$ \sigma_i _{\text{опытн.}}, (\text{МПа})$	$\varepsilon_i,$	$\psi_i, 10^9 (\text{Н/м}^2)$
1	0	0	0
2	22,10	0,010	5,7679640
3	44,30	0,020	-17,071856
4	65,70	0,030	14,519459
5	86,40	0,040	-83,005981
6	100,7	0,050	-66,495537
7	108,9	0,060	-17,011872
8	114,3	0,070	-33,456972
9	115,4	0,073	0

Переходим к рассмотрению аспектов подсчета величины долговечности T_i геометрически и физически нелинейной цилиндрической панели с параметрами кривизны $k_\xi = 0, k_\eta = 24$, относительной толщиной $h/(2a)=1/30$ при условиях неподвижного шарнирного закрепления на контуре, изготовленной из материала с характеристиками, приведенными в табл. 1 [2].

Ведущим параметром решения НКЗ является параметр прогиба в центре пологой оболочки $w(0,0)$, величина шага по параметру $w(0,0)$ составляет $\Delta w(0,0) = 0,1$.

На рис. 2 пунктирными линиями показаны кривые роста наибольшей по объему пологой оболочки интенсивности напряжений $\sigma_{i\max}$ при различных значениях параметра поперечной нагрузки P .

Из данных рис. 2 видно, что с ростом параметра нагрузки P увеличивается уровень наибольших напряжений в обсуждаемой цилиндрической панели $\sigma_{i\max}$, подсчитываемых в пространственной сетке по всему ее объему, и снижается долговечность цилиндрической панели T_i . Отметим также, что с ростом параметра P увеличивается угол наклона восходящих кривых рис. 2, что соответствует более интенсивному росту во времени величин наибольших напряжений $\sigma_{i\max}$ в цилиндрической панели.

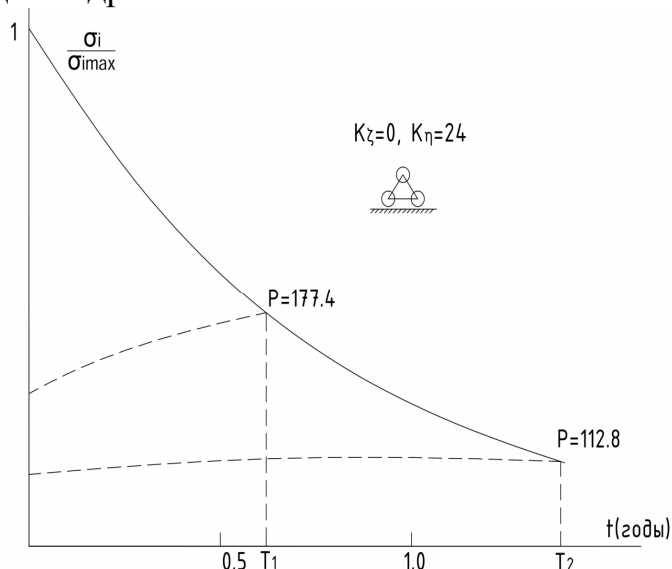


Рис. 2. График роста интенсивности напряжений $\sigma_{i\max}$

Список литературы

1. Петров В.В. Долговечность гибких пологих оболочек из нелинейно деформируемого материала в агрессивных средах: сб. науч. тр. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2009. – С. 6-15.
2. Кривошеин И.В. Инкрементальные методы расчета гибких физически нелинейных пологих оболочек и пластинок: сб. науч. тр. – Саратов: Изд-во Саратовского государственного технического ун-та, 2015. – 255 с.

Сведения об авторе:

Аннина Ольга Геннадьевна – аспирант кафедры «Теория сооружений и строительных конструкций», СГТУ, г.Саратов.