

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ОБРАЗУЮЩИХ НА НДС ТОРСА-ГЕЛИКОИДА, РАССЧИТАННОГО ПО АНАЛИТИЧЕСКОМУ МЕТОДУ МАЛОГО ПАРАМЕТРА С УЧЕТОМ ПЕРВЫХ ТРЕХ ЧЛЕНОВ РЯДА

М.И. РЫНКОВСКАЯ, ассистент

Российский университет дружбы народов (РУДН)

117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, email: marine_step@mail.ru

В статье исследуется влияние угла наклона образующих на напряженно-деформированное состояние тонкого упругого торса-геликоида при расчете его методом малого параметра с применением чисел Бернулли с учетом первых трех членов ряда. Дается вывод о целесообразности применения метода к расчету строительных конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: торс-геликоид, метод малого параметра, угол наклона прямолинейных образующих, пандус.

Применение метода малого параметра к расчету длинных тонких геликоидов было предложено Кривошапко С.Н. [1]. Рынковская М.И. показала целесообразность применения в этой методике чисел Бернулли [2].

По результатам аналитических исследований была составлена программа на языке Mathcad, с помощью которой был проведен анализ влияния угла наклона прямолинейных образующих на возникающие в оболочке усилия и перемещения.

Анализ влияния угла φ на НДС пологого торса-геликоида проводился на примере железобетонного (модуль Юнга $E = 32500 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,17$) торса-геликоида толщиной $h = 0,1$ м со следующими геометрическими характеристиками: криволинейные винтовые края $u_1 = 2$ м и $u_2 = 4$ м, что соответствует внутреннему радиусу $R_1 = 2,826$ м, внешнему радиусу $R_2 = 4,467$ м, загруженного равномерно распределенной нагрузкой типа собственного веса $q = 1 \text{ кН/м}^2$ с заземленными криволинейными краями $u=u_1=const$ и $u=u_2=const$. Рассматривались следующие значения угла φ : $0^0, 3^0, 15^0, 30^0$.

Полученные эпюры представлены на рисунках 1,а, б (при углах $\varphi = 0^0$ и $\varphi = 3^0$), 2 (при угле $\varphi = 15^0$).

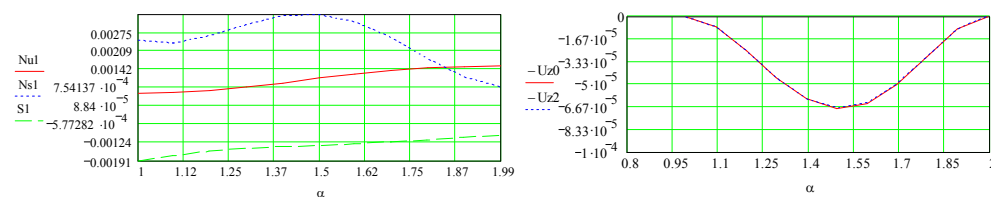


Рис. 1,а. Эпюры усилий N_u, N_s, S при $\varphi = 3^0$ и прогибов U_{z0} при $\varphi = 0^0$ и U_{z2} при $\varphi = 3^0$

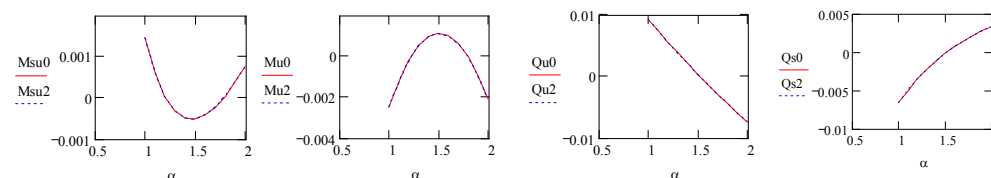


Рис. 1,б. Эпюры усилий $M_{su0}, M_{u0}, Q_{u0}, Q_{s0}$ при $\varphi = 0^0$ и $M_{su2}, M_{u2}, Q_{u2}, Q_{s2}$ при $\varphi = 3^0$.

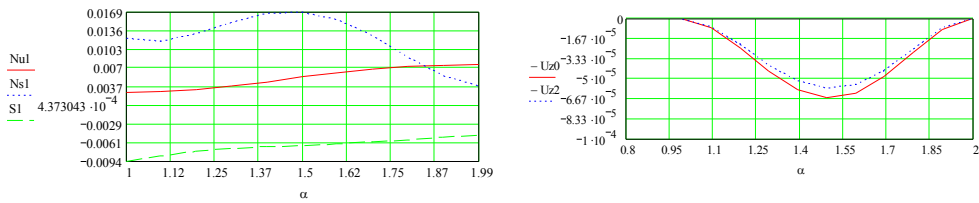


Рис. 2,а. Эпюры усилий N_u, N_s, S при $\varphi=15^0$ и прогибов U_{z0} при $\varphi = 0^0$ и U_{z2} при $\varphi = 15^0$

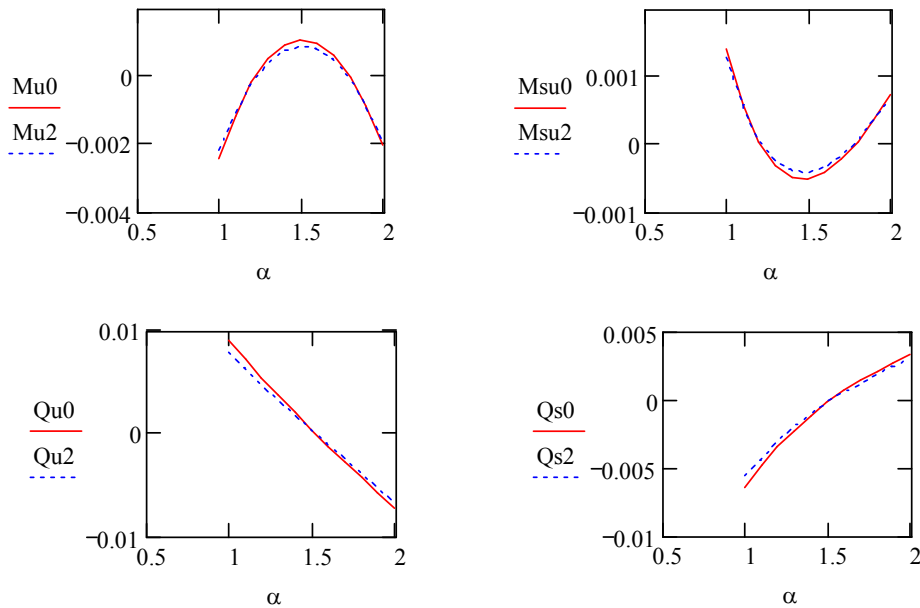


Рис. 2, б. Эпюры усилий $M_{su0}, M_{u0}, Q_{u0}, Q_{s0}$ при $\varphi = 0^0$ и $M_{su2}, M_{u2}, Q_{u2}, Q_{s2}$ при $\varphi = 15^0$.

Асимптотический метод малого параметра предполагает расчет пологих оболочек с углами наклона горизонтальных образующих в пределах $tg\varphi < 1$, т.е. $\varphi < 45^0$, однако, первоначальный анализ результатов показал, что решение методом малого параметра с учетом первых трех членов рядов дает адекватные виды эпюр для углов $\varphi < 30^0$, а для углов близких к 45^0 полученную программу применять категорически нельзя, что соответствует идее малого параметра.

Дальнейший анализ полученных результатов и сравнение их с результатами, полученными для аналогичного по геометрическим и физико-механическим свойствам торса-геликоида по методу Коши [3], показал, что решение задачи по методу малого параметра с учетом первых трех членов ряда при $\varphi = 3^0$ дает похожие результаты по всем усилиям (расхождение в пределах 2.8%), кроме крутящего момента M_{su} (расхождение на 13%). При увеличении угла φ до 15^0 программа также дает похожие результаты по всем усилиям (расхождения в пределах 10%), кроме крутящего момента M_{su} (расхождение около 30%). Дальнейшее увеличение угла наклона образующих к горизонтальной плоскости увеличивает расхождение в получаемых усилиях.

Однако, все значения усилий, полученные по методу малого параметра больше усилий, полученных по методу Коши, а, следовательно, можно отнести расхождения в запас прочности конструкции. Таким образом, можно сделать вывод, что первых трех членов рядов при расчете по методу малого параметра может быть достаточно для прикидочного расчета торса-геликоида с углом наклона образующих φ в пределах 15° . При необходимости расчета менее пологих оболочек требуется решать задачу с применением следующих членов ряда.

Однако, если рассматривать решение задачи по расчету торса-геликоида применительно к строительным конструкциям, то необходимо отметить, что на практике железобетонные пандусы по эксплуатационным характеристикам имеют небольшие углы наклона к горизонту. Так, в соответствии с [4], поперечный уклон автомобильного пандуса должен быть не более 6% (то есть угол φ должен быть меньше 3.5°), а поперечный уклон пандусов для маломобильных групп населения должен быть не более 2% (то есть $\varphi < 1.15^{\circ}$).

Расчет торсов-геликоидов с углами наклона образующих к горизонтальной плоскости в этих пределах по методу малого параметра дает хорошие результаты даже при использовании только первых трех членов рядов, что является его явным преимуществом по сравнению с другими аналитическими методами, требующими нахождения большего количества членов рядов, а также по сравнению с дорогостоящими расчетными программами.

Метод малого параметра использовался также в статьях [5,6], но в данной статье расчет доведен до числовых результатов.

Л и т е р а т у р а

1. *Кривошапко С.Н.* Применение асимптотического метода малого параметра для аналитического расчета тонких упругих торсов-геликоидов// Пространственные конструкции зданий и сооружений: Сб. статей МОО «Пространственные конструкции». – Вып.9. – Москва: ООО «Девятка Принт», 2004. – С. 36-44.

2. *Рынкoвская М.И.* О применении чисел Бернулли к расчету тонких упругих торсов-геликоидов по асимптотическому методу малого параметра [Текст]// Пространственные конструкции зданий и сооружений (Исследования, расчет, проектирование и применение): Сб. статей. Вып. 12 / МОО «Пространственные конструкции»; *В.В.Шугаев и др.* – М.: 2009. – С. 59-64.

3. *Кривошапко С.Н.* Геометрия линейчатых поверхностей с ребром возврата и линейная теория расчета торсовых оболочек [Текст]/*Кривошапко С.Н.*: Монография. – М.: РУДН, 2009. – 357с. (С. 265)

4. СНиП 21-02-99 "Стоянки автомобилей".

5. *Кривошапко С.Н., Абдельсаям М.А.* К вопросу о применении метода малого параметра для расчета тонкой оболочки в форме длинного торса - геликоида// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений: Межвуз. сб. научных трудов. – М.: МБК «Биоконтроль», 1994. – Вып.4. – С.3-11.

6. *Кривошапко С.Н.* Возможности полуаналитического метода малого параметра для расчета длинного упругого торса-геликоида//Теоретические и экспериментальные исследования прочности и жесткости элементов строительных конструкций. – М.: МГСУ, 1997. – С. 87-92.

GENERATRIX SLOPE ANGLE INFLUENCE ON THE MODE OF DEFORMATION OF OPEN HELICOIDAL SHELLS CALCULATED BY ANALYTICAL SMALL PARAMETER METHOD WITH THREE TERMS OF SERIES

M.I. Rynkovskaya

There is the analysis of generatrix slope angle influence on the mode of deformation of thin elastic open helicoidal shells which was calculated by the method of small parameter with the application of the Bernoulli's numbers using only first three terms of series. There are some conclusions of the method application to building structures.