

## Расчеты на устойчивость

### ДЕФОРМАЦИИ КРЕНА ВЫСОТНОГО ОБЪЕКТА НА ДЕФОРМИРУЕМОЙ ПЛИТЕ

В.К. ИНОЗЕМЦЕВ, доктор технических наук, профессор

О.В. ИНОЗЕМЦЕВА, кандидат технических наук

С.А. ЖЕСТКОВА, аспирант

Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.

410054, Саратов, ул. Политехническая д.77; e-mail: zhestkovas@list.ru

*Рассматривается задача устойчивости применительно к высотному объекту, взаимодействующему с деформируемым основанием. Исследование развития деформаций крена высотного объекта методом «прослеживания» состояний равновесия путем решения нелинейных уравнений общей устойчивости высотного объекта на деформируемой фундаментной плите.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** критическая нагрузка, устойчивость, высотный объект, деформируемое основание.

Рассмотрим высотный объект на деформируемой прямоугольной фундаментной плите (рис.1).

Изгибная жесткость фундаментной плиты оказывает влияние на устойчивость исходного строго вертикального положения равновесия высотного объекта и на развитие деформаций крена высотного объекта при приближении параметра нагрузки к критическому значению. Исследование развития деформаций крена высотного объекта возможно методом «прослеживания» состояний равновесия путем решения нелинейных уравнений общей устойчивости высотного объекта на деформируемой фундаментной плите. Дифференциальные уравнения равновесия записываются в этом случае в приращениях:

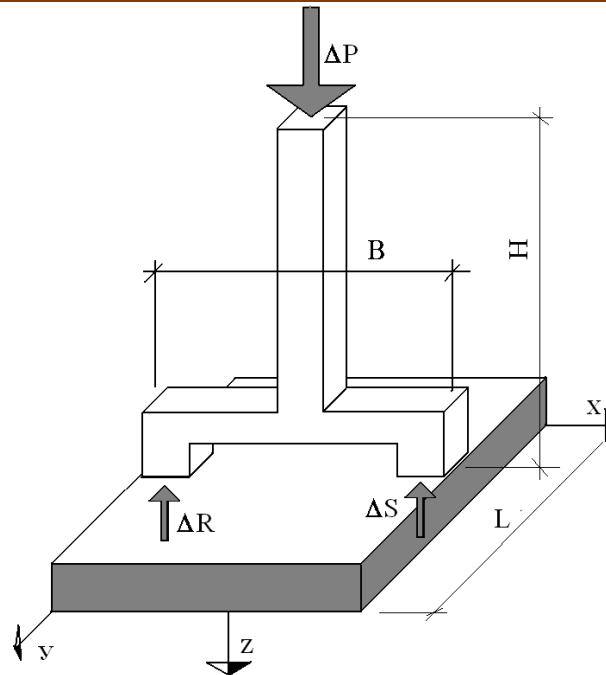


Рис. 1

$$D\nabla^4 \Delta W(x, y) + k\Delta W(x, y) = \begin{cases} 0 \\ \Delta q_R(\Delta W_S, \Delta W_R, W_S, W_R, P) \\ 0 \\ \Delta q_S(\Delta W_S, \Delta W_R, W_S, W_R, P) \\ 0 \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $D$  – цилиндрическая жесткость фундаментной плиты;  $\Delta W(x, y)$  – приращение «осадок» основания под фундаментной плитой в возмущенном состоянии равновесия;  $W$  – суммарные функции «осадок», накопленные на предыдущих шагах нагружения; нагрузка на фундаментную плиту под левой ( $\Delta q_R$ ) и правой ( $\Delta q_S$ ) опорами высотного объекта;  $P$  – вес высотного объекта.

Приращение давления на фундаментную плиту под опорами высотного объекта и граничные условия для свободного края плиты ( $x = 0$ ) имеют вид:

$$\Delta q_{\frac{R}{S}}(\Delta W_S, \Delta W_R, P) = \frac{\Delta P}{F} \left( \frac{1}{2} \mp \frac{H}{B^2} \sum_{i=1}^{n-1} (\Delta W_S - \Delta W_R) \right) \mp \frac{PH}{FB^2} (\Delta W_S - \Delta W_R)$$

$$\frac{\partial^2 \Delta W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \Delta W}{\partial y^2} = 0; \quad \frac{\partial^3 \Delta W}{\partial x^3} + (2 - \mu) \frac{\partial^3 \Delta W}{\partial x \partial y^2} = 0. \quad (2)$$

Здесь  $\Delta W_R, \Delta W_S$  – приращение осадок под правой и левой опорами высотного объекта;  $H$  – высота центра сил тяжести объекта;  $B$  – расстояние между опорами;  $F$  – площадь опор высотного объекта.

Для расчета деформаций крена высотного объекта дифференциальная задача общей устойчивости высотного объекта сводится к неоднородной алгебраи-

ческой системе метод конечных разностей [1]. Алгебраическая задача, записанная в матричной форме, имеет вид:

$$\Omega \Delta U = P \Psi \Delta U + \Delta P \Phi U, \quad (3)$$

где  $\Delta U$  – столбец неизвестных метода конечных разностей (приращения вертикальных перемещений),  $P$  – нагрузка,  $\Omega$ ,  $\Psi$ ,  $\Phi$  – матрицы коэффициентов алгебраической задачи.

Здесь очевидно, что при цилиндрической жесткости фундаментной плиты много большей чем жесткость грунтового основания на сжатие ( $D \gg k$ ), результаты расчета критической нагрузки могут быть получены на основе аналитического решения [2]:

$$P_{kp} = \frac{kJ_{oc}}{H}, \quad (4)$$

где:  $J_{oc}$  – наименьший центральный момент инерции площади основания, а  $k$  – коэффициент постели основания, характеризующий работу основания на обжатие,  $H$  – высота приложения центра вертикальных усилий. Существенным допущением здесь является то, что рассматриваемый объект считается абсолютно жестким.

Рассмотрим квадратную в плане фундаментную плиту (Рис. 1) с отношением размеров  $H/L=10$ . Расчет выполним для трех значений отношения цилиндрической жесткости плиты к коэффициенту Винклера  $D/k$ :

$$1 - D/k = 13888 \text{ м}^4; \quad 2 - D/k = 217 \text{ м}^4; \quad 3 - D/k = 13.9 \text{ м}^4.$$

Начальное несовершенство системы представляет собой начальный эксцентриситет центра сил тяжести системы  $\varepsilon_0=0.01 \text{ м}$ .

Результаты расчета приращений вертикальных перемещений опор высотного сооружения для различной изгибной жесткости фундаментной плиты показаны на рис. 2.

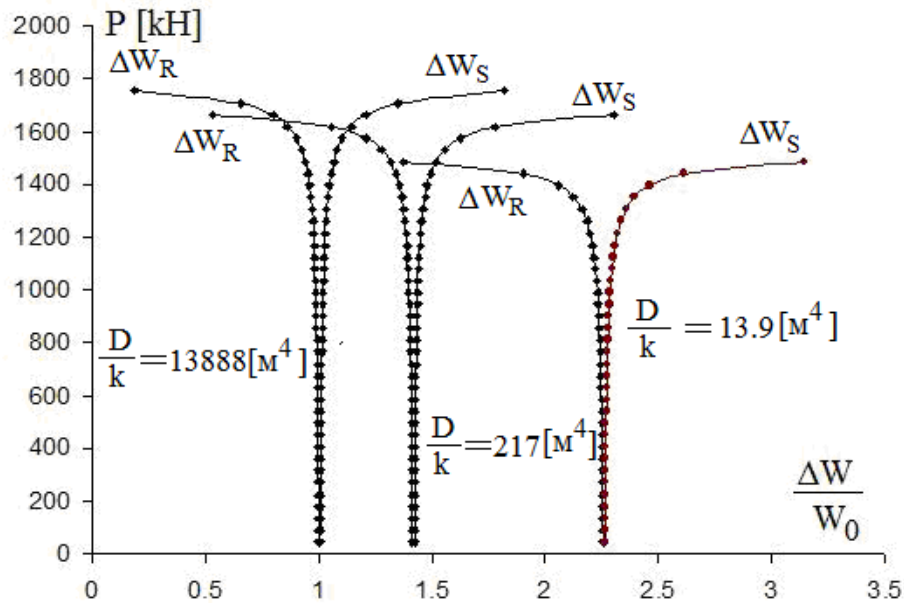


Рис. 2.

Снижение цилиндрической жесткости фундаментной плиты приводит к развитию деформаций крены высотного объекта (рис. 2.).

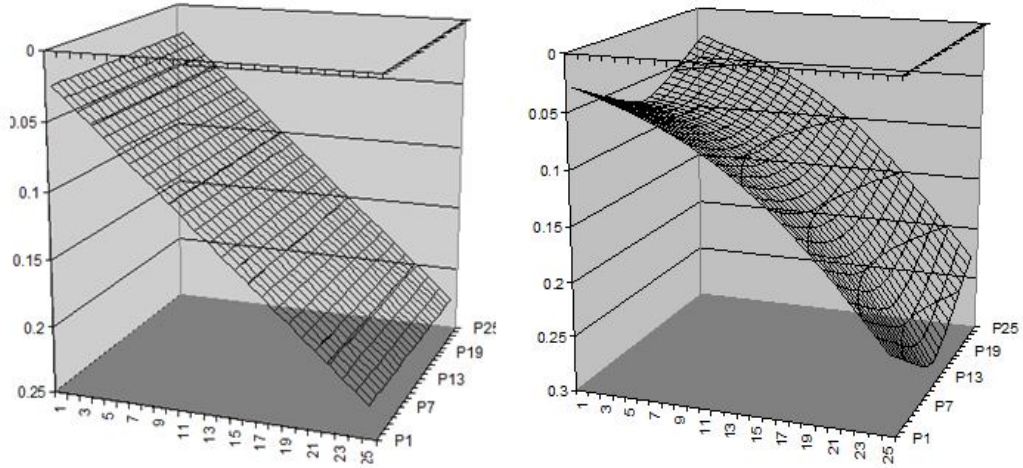


Рис. 3.

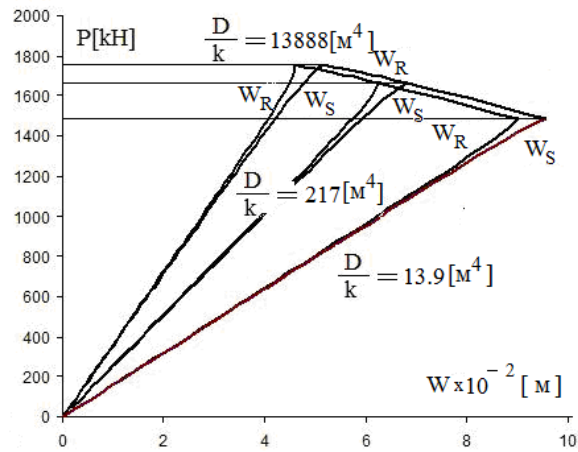


Рис. 4.

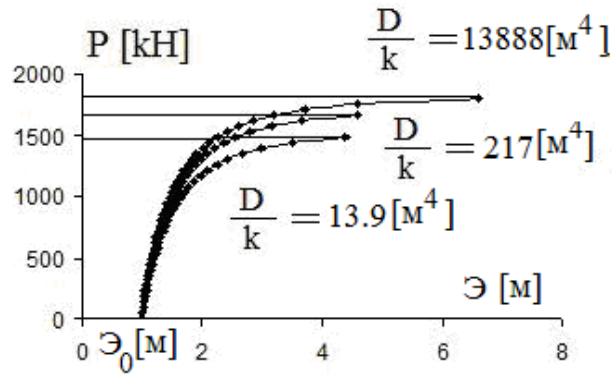


Рис. 5.

Развитие деформаций крена высотного объекта связано с неравномерностью осадок фундаментной плиты (рис. 3). Фундаментная плита с большой цилиндрической жесткостью испытывает деформации крена. При снижении цилиндрической жесткости фундаментная плита испытывает деформации крена с изгибом.

На рис. 4 показаны вертикальные перемещения опор высотного сооружения для различных значений цилиндрической жесткости фундаментной плиты.

На рис. 5 представлены результаты расчета, эксцентриситета центра сил тяжести высотного объекта для различной цилиндрической жесткости фундаментной плиты.

#### Л и т е р а т у р а

1. Коллац Л. Задачи на собственные значения. – М.: Наука, 1968. – 504 с.
2. Алфинов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. - М.: Машиностроение. – 1978.
3. Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем. – Москва: Гос. Изд. технико-теоретической литературы. – 1955.
4. Энгель Х. Несущие системы / Хайно Энгель; предисл. Ральфа Рапсона; пер. с нем. Л.А.Андреевой. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – С. 344.: илл.
5. Иноземцев В.К., Редков В.И. Математическая модель деформирования геомассивов применительно к деформационным процессам в основаниях сооружений / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. – 412 с.

#### References

1. Kollatts, L. (1968). *Zadachi na Sobstvennyye Znacheniya*. M.: Nauka, 504 p.
2. Alfynov N.A. (1978) *Osnovi Rascheta na Ustoichivost' Uprygih System*. M.: Mashinostroenie.
3. Rzhantsyn, A.R. (1955). *Ustoichivost' Ravnovesiya Uprygih Sistem*. Gos.Izd.Technico-teoriticheskoi literatyri. Moskva.
4. Engel', X. (2007). *Nesyshie Sistemi*; predisl. Ralfa Rapsona; per. s nem. L.A. Andreevoi; M.: ST: Astrel, 344 p.
5. Inozemtsev, V.K. Redkov, V.I. (2005). *Matematicheskaya Model Deformirovaniya Geomassivov Primenitlno k Deformatsionnim Protzessam v Osnovaniyah Sooryzhenii*. Saratov, SSTU, 412 p.

#### LIST'S DEFORMATIONS OF HIGH-RISE BUILDING ON DEFORMABLE SLAB

V.K. Inozemtzev, O.V. Inozemtzeva, S.A. Zhestkova.  
Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Saratov

The objective of stability of high-rise building interacting with deformable foundation is discussed. Study of the development of tilt's deformation of high-rise building using method «tracking» states of equilibrium through solving non-linear equations overall sustainability of high-rise building on deformable foundation slab.

KEYWORDS: critical load, stability, high-rise building, deformation.