

Д-р техн. наук В.Б. Швец (ПГАСА),  
канд. техн. наук В.Д. Петренко, инж. В.С. Андреев (ДИУЖТ)

## ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРЕНА СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВАНИИ, ПРЕДСТАВЛЕННОМ УПРУГИМ ПОЛУПРОСТРАНСТВОМ

У статті наведена модель розрахунку крена прямокутних фундаментів на модельному матеріалі з використанням методу скінчених елементів та порівняльний аналіз з експериментальними даними.

## FEATURES OF MODELING OF A HELL OF STRUCTURES ON THE BASIS SUBMITTED ELASTIC HALF-SPACE

In the article the model of account of a hell of the rectangular foundations on a modeling material with use of a finite element method and comparative analysis with experimental data is given.

Как известно, крены жестких фундаментов являются основными факторами, определяющими эксплуатационную пригодность зданий и сооружений.

Теория расчета осадок и кренов фундаментов на основании, представленном упругим полупространством привлекает в последнее время большое внимание исследователей. В результате выяснены достаточно сложные свойства грунтового основания и появляются трудности для их отражения в расчетах.

Многообразие рассматриваемых работ обусловлено рядом следующих причин:

- разнообразие грунтовых условий в основаниях зданий и сооружений;
- различие конструктивных решений фундаментов зданий и сооружений, а также решений по их реконструкции;
- изменяющиеся условия эксплуатации и функциональные особенности зданий и сооружений.

В настоящее время для расчетов осадок и кренов фундаментов положениями СНиП предусматривается выполнение следующих требований:

1) давление под подошвой фундамента не должно превышать некоторой предельной величины  $R$ ;

2) при больших эксцентриситетах, приложенной к фундаменту внешней нагрузки, и специфических грунтовых условиях должна быть обеспечена несущая способность основания по грунту;

3) крайние давления под подошвой фундамента не должны превосходить величину  $R$  в 1,2 или 1,5 раза и должны быть положительными.

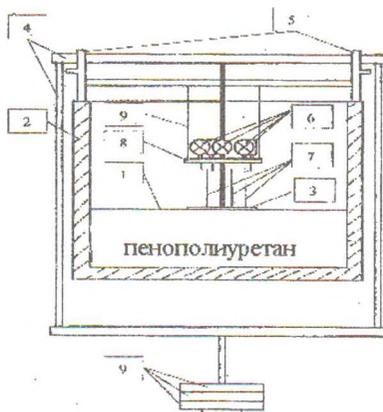
На выбор метода расчета крена фундамента влияют свойства грунтов, конструктивные схемы зданий и сооружений, характер действующей на фундамент нагрузки, гидрогеологические условия, структурные и текстурные особенности грунтовых оснований.

При взаимодействии фундаментов и сооружений с грунтовыми основаниями возникают контактные напряжения, определение которых необходимо как для расчета несущей способности возводимых сооружений, так и для расчета

самых конструкций. Величины этих напряжений, в свою очередь зависят от уровня грунтовых вод и степени водонасыщенности грунтов.

Наличие воды в порах грунтовых оснований, вызванная этим фактором ползучесть грунтового массива и необратимость некоторой доли деформаций при загрузке – разгрузке являются основными признаками, отличающими их от других сплошных сред. Поскольку деформации грунтовых оснований характеризуются большой продолжительностью, а в некоторых случаях реализующиеся по истечении некоторого времени деформации составляют значительную долю от полных деформаций, проблема прогноза текущих деформаций является достаточно сложной и требующей своего решения.

Развитие крена сооружений может существенно снизить их эксплуатационную пригодность. Поэтому его изучение в экспериментальных исследованиях, в том числе и на моделях, является актуальным. В работе представлены материалы моделирования упругого полупространства в лотке по методике, разработанной в ПГАСА. Конструкция устройства представлена на рис. 1. Известно, что в расчетах необходимо учитывать не только соотношение действующих сил, но и прочностные и деформационные свойства грунта. Для проведения модельных исследований в качестве материала с известными деформативными характеристиками может быть принят пенополиуретан. Существенное отличие его свойств от свойств грунта заключается в обратимости деформаций. Вследствие этого в пространственный лоток укладывались слои пенополиуретана толщиной 40 см. Эта толщина слоя соответствовала упругому полупространству при нагрузке 9, 17, 25 кПа.



1 – основание (пенополиуретан); 2 – пространственный лоток с внутренними размерами 80×48×63 см со стенками из оргстекла толщиной 3 см; 3 – прямоугольный штамп с размерами 100×100×3 мм; 4 – загрузочное устройство; 5 – ограничители; 6 – индикаторы перемещения с ценой деления 0,01 мм; 7 – спицы; 8 – реперная плита; 9 – нагрузка

Рис. 1 - Схема установки для проведения лоткового эксперимента на пенополиуретане

Как видно из рис. 1, в экспериментах использовался жесткий штамп с размерами  $100 \times 100 \times 3$  мм, выбранный на основании исследований С.В. Довнаровича, проведенных в НИИ оснований со штампами от 3 см до 100 см. Как им установлено, деформации песчаного основания при одинаковых нагрузках идентичны, начиная со штампа с  $d = 10$  см. Аналогичные результаты получены Н.Б. Гареевой в БашНИИСтрое в опытах на мягкопластичном суглинке. При этом величина модуля деформации определялась на малых штампах (3,6; 11,3; 15,7 см) и отличалась в среднем на 10% от значений, полученных при испытании стандартного штампа  $d = 79,8$  мм. Таким образом, принятые в опытах размеры штампа удовлетворяли указанным в работах результатам исследований.

Имеющиеся нормативные документы не дают рекомендаций расчета кренов жестких прямоугольных фундаментов на основании, представленном в виде упругого полупространства с учетом цикличности и с учетом фактора времени. При этом имеющиеся в литературных источниках данные, посвященные этой проблеме, имеют разносторонний характер. В этой связи указанная проблема также требует решения.

В аналитических исследованиях кренов жестких прямоугольных фундаментов на основании представленном упругим полупространством применялся метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод является эффективным средством для решения круга задач, в механике грунтов и расчете оснований и фундаментов.

Расчет кренов жестких прямоугольных фундаментов на основании представленном упругим полупространством методом конечных элементов в инженерной практике не получил должного распространения, поэтому в данной статье применяется расчет с его использованием.

При решении задач механики грунтов МКЭ расчетная область, которая может представлять собой грунтовый массив, систему типа «фундамент – основание» или «сооружение – основание» и т. п. разбивается на некоторое число подобластей, называемых конечными элементами. Кроме того, в элементах выделяются точки, называемые узловыми точками или узлами.

Как видно из общей схемы модели грунта, представленного модельным материалом (пенополиуретан), была выполнена разбивка модели (рис. 2), и штампа на конечные элементы (рис. 3).

Жесткостные характеристики модельного материала:  $E = 0,13$  МПа;  $\nu = 0,33$ .

Материал штампа – сталь обыкновенная с  $E = 2,1 \times 10^7$  т/м<sup>2</sup>,  $\nu = 0,3$ , где  $E$  – модуль деформации,  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Сравнение показателей крена экспериментальных данных и данных, полученных по МКЭ для давления 17 кПа, на модельном материале (пенополиуретан), представлены в табл. 1. При этом получены показатели крена, равные разности осадок к длине или ширине фундамента. Поскольку штамп был квадратной формы, принимался размер стороны квадрата  $a$ . Кроме того, в процессе моделирования изменялся эксцентриситет приложения нагрузки.

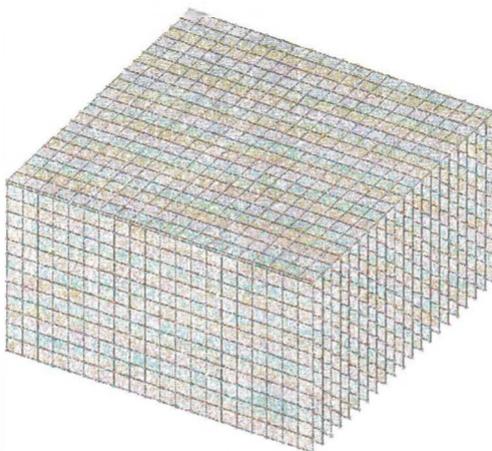


Рис. 2 - Общая схема модели грунта (пенополиуретан) с разбивкой на конечные элементы



Рис. 3 - Общая схема разбивки штампа на конечные элементы

Таблица 1 - Сравнение показателей крена экспериментальных данных и данных, полученных по МКЭ для давления 25 кПа, на модельном материале (пенополиуритан)

Показатели крена	5 мм	10 мм	15 мм
Эксперимент	0,0635	0,0741	0,0839
SCAD	0,195	0,231	0,246
$\Delta$	0,132	0,16	0,162

При анализе работы жесткого штампа с основанием представленным пенополиуретаном, видно, что модельный материал адекватно заменяет слабый водонасыщенный грунт.

Сравнивая результаты эксперимента и результаты, полученные с применением МКЭ и комплекса SCAD, можно установить адекватность применения данного метода к расчету жестких фундаментов на основании, представленном упругим полупространством.

На рис. 4 показана зависимость изменения крена от эксцентриситета при фиксированной сосредоточенной нагрузке в 25 кПа, полученная экспериментальным и аналитическим путем.

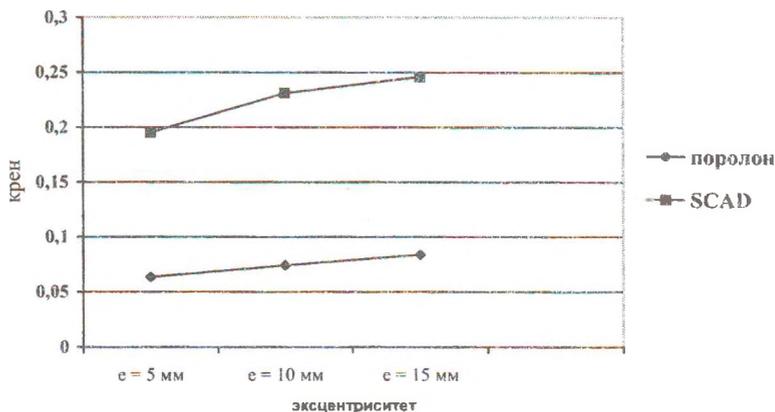


Рис. 4 - Зависимость крена от эксцентриситета

На основе анализа данных, приведенных на рис. 4, можно сделать вывод, что характер изменения крена в обоих случаях идентичен и расхождения показателей крена не превышает 20%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник / С.Б. Ухов и др., М.: АСВ, 1994. – 527 с.
2. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
3. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Госстройиздат, Л.: 1959 – 334 с.
4. Шаповал В.Г. Прогноз осадок и кренов фундаментов на пылевато-глинистом основании, под воздействием статической и циклической нагрузки: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Днепропетровск, 1996 – 352 с.
5. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (СНиП 2.02.01-83) Стройиздат, М.: 1986 – 415 с.
6. Довнарвич С.В. О зависимости осадки и крена фундамента от его формы. – Основания, фундаменты и механика грунтов, – 1972. – №3. – С. 18 – 19.
7. Калиткин Н.Н. Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.