

УДК 624.131.: 624.15

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ КРЕНОВ ВНЕЦЕНТРЕННО НАГРУЖЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ

д.т.н., проф. Головки С.И., к.т.н. с.н.с. Головки А.С.

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

В сложных геологических условиях при устройстве оснований возникает целый ряд научных и практических вопросов в части максимального использования несущей способности оснований. Развитие равномерных осадок, даже превышающих нормируемые пределы, как правило, не оказывает существенного влияния на обеспечение нормальной эксплуатации различных инженерных сооружений. Для многих сооружений эксплуатационная надежность определяется приращениями кренов в процессе длительного уплотнения оснований. К таким сооружениям можно отнести реакторные отделения АЭС, сооружения башенного типа, линии с точным технологическим оборудованием, различные виды неразрезных конструкций. Реализация практических проектов ставит ряд новых инженерных проблем, которые могут быть решены экспериментальными исследованиями работы оснований фундаментов в различных условиях, совершенствованием нормативных документов с соответствующим уровнем обоснованной надежности и учетом реальной работы оснований.

Актуальность работы. В части проектирования новых объектов в настоящий момент используются действующие строительные нормы и правила, позволяющие выполнить расчет и проектирование оснований в линейной стадии работы, однако существует достаточно много проблем связанных как с надежностью принимаемых технических решений, так и со стоимостью выполнения работ, а также обеспечением последующей нормальной эксплуатации объектов.

В инженерной практике последних лет отмечается значительное количество объектов, получивших сверхнормативные крены, развитие которых, продолжается длительное время. Для разработки практических методов расчета, а также методов стабилизации требуются специальные исследования реальной работы внецентренно нагруженных грунтовых оснований.

Исследования К.Е.Егорова, М.Н.Гольдштейна, Ю.К.Зарецкого, С.Н.Клепикова, В.Б.Швеца, В.Г. Шаповала и ряда других авторов показывают, что степень влияния факторов, определяющих деформационные и реологические свойства оснований, изменяются во времени. При этом использование различных реологических моделей связано с определением большого количества параметров и проведения сложных математических вычислений, возникают определенные трудности и погрешности при использовании характеристик полученных лабораторными методами.

Полевые методы исследований наиболее реально отражают работу оснований, в связи с чем наиболее целесообразно рассматривать простые и апробированные модели, оперирующие минимальным числом расчетных характеристик, которые могут быть определены стандартными методами.

Научная и практическая новизна. Для разработки достоверных расчетных моделей экспериментально изучены особенности развития осадок и кренов внецентренно нагруженных фундаментов при различных площадях загрузки и эксцентриситетах приложения статической нагрузки, установлены особенности контактного взаимодействия фундаментов с основанием. На основании исследований зависимостей развития крена от эксцентриситета нагрузки и действующих давлений предложен метод расчета и прогноза развития во времени кренов внецентренно нагруженных фундаментов. Систематические наблюдения за объектами показали достаточную для практических целей точность расчетного определения кренов. Для случая развития сверхнормативных кренов предложен метод стабилизации процесса.

Основные результаты. В соответствии с выполненными исследованиями и рекомендуемыми схемами с использованием модели основания в виде упругого полупространства оценить взаимосвязь между осадками и кренами фундаментов круглой формы представляется возможным с использованием модели коэффициентов жесткости основания при равномерном K_z и неравномерном K_ϕ сжатии [1,2].

Для упругого полупространства при расчете на стабилизированное состояние коэффициент равномерного и неравномерного сжатия имеют смысл в виде:

$$K_z = \frac{P}{S} = \frac{N \cdot 2 \cdot r \cdot E}{\pi \cdot r^2 \cdot N \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{2 \cdot E}{\pi \cdot r \cdot (1 - \nu^2)} \quad (1)$$

$$K_y = \frac{M}{i_z \cdot I} = \frac{e \cdot N}{\frac{\pi \cdot r^4}{64} \cdot (1 - \nu^2) \cdot 3 \cdot N \cdot e} = \frac{16 \cdot E}{3 \cdot \pi \cdot r \cdot (1 - \nu^2) \cdot 4 \cdot E \cdot r^3} \quad (2)$$

где K_z и K_y – коэффициенты жесткости основания при равномерном и неравномерном сжатии соответственно; N – нагрузка на штамп; r – радиус штампа; e – эксцентриситет приложения нагрузки; i – крен штампа; I – момент инерции штампа; E – модуль деформации основания.

Отношение K_ϕ / K_z , найденное с использованием модели упругого полупространства имеет значение не зависящее от размеров штампа, действующей нагрузки и величины относительного эксцентриситета ее приложения:

$$\frac{K_y}{K_z} = \frac{16 \cdot E}{3 \cdot \pi \cdot r \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{\pi \cdot r \cdot (1 - \nu^2)}{2 \cdot E} = 2.67 \quad (3)$$

Совершенно очевидно, что при отношении коэффициентов равном полученному значению, либо близким к нему, крены фундаментов могут соответствовать получаемым по решениям теории упругости, основные расчетные формулы для их определения были заложены в нормы СНиП 2.02.01-83, а затем в действующем на Украине ДБН В.2.1-10-2009 (приложение Д.13). При определении крена используются постоянные упругие характеристики грунта – модуль деформации E и коэффициент Пуассона ν .

Проверка полученных соотношений предварительно была выполнена при испытаниях внецентренно нагруженных моделей жестких круглых штампов на нелинейном наследственно-упругом материале, обладающем ползучестью, в качестве которого применялся пенополиуретан.

На основании исследований были установлены четкие закономерности, показавшие, что для заданной ступени нагрузки отношение коэффициентов жесткости при равномерном и неравномерном сжатии во времени является практически постоянной величиной. Отмечено, что в упругой стадии работы (при $p=1,0$ кПа) отношение $K_y/K_z \approx 2,2$ и близко к полученным ранее значениям с использованием модели упругого полупространства. С ростом нагрузки отношение уменьшается (рис. 1) до 0,45 оставаясь постоянным во времени и отличается от теоретического в 1,78...5,3 раза.

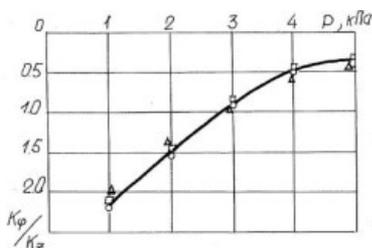


Рис. 1. Зависимость $K_y/K_z = f(P_{cp})$: Δ - штамп площадью 75; \square - то же, 100; \circ - то же, 200 $см^2$.

Испытания водонасыщенного глинистого основания внецентренными нагрузками было проведено в серии испытаний штампами площадью 2500, 5000 10000 $см^2$ при относительном эксцентриситете нагрузки 01-0,4 г, (г – радиус штампа) в диапазоне испытательных статических давлений под подошвой 0,05...0,20 МПа.

На основании исследований развития средних осадок и кренов на водонасыщенном глинистом основании при внецентренном нагружении были получены экспериментальные зависимости, анализ которых позволяет сделать

ряд важных выводов. Отношение коэффициентов жесткости K_f/K_z в процесс стабилизации осадок штампов различной площади стремится к некоторой постоянной величине. Кроме того оно значительно отличается от полученного для модели упругого полупространства и в диапазоне средних давлений 0,05...0,20 МПа находится в пределах $K_f/K_z=1,2...0,7$. При средних напряжениях по подошве $P \geq 0,1$ МПа отношение остается практически постоянным не изменяясь в процессе стабилизации деформаций (рис.2,3,4).

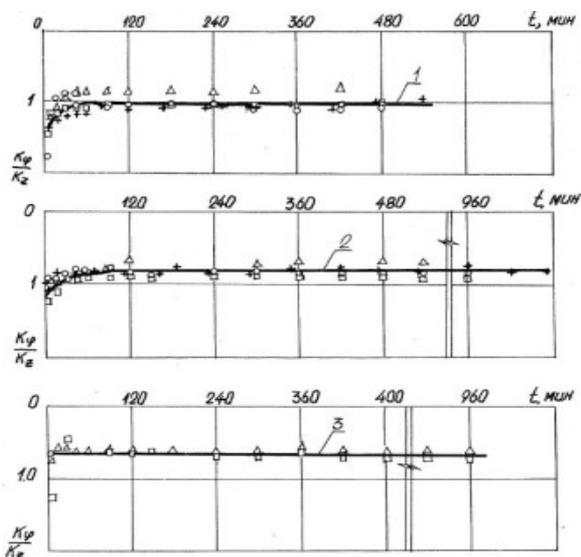


Рис. 2. Зависимость $K_f/K_z=f(t/i)$ при эксцентриситете нагрузки $e=0,1R$:

1, 2, 3 – соответственно при $P_{cp}=0,075; 0,10; 0,15$ МПа;

○ – штамп площадью, $1,0 \text{ м}^2$; □ – то же, $0,5 \text{ м}^2$; △ - то же $0,25 \text{ м}^2$

В начальной стадии деформирования основания отношение коэффициентов жесткости не является постоянной величиной, что объясняется влиянием на средние осадки и как следствие на жесткость основания при равномерном сжатии фильтрационной консолидации, которая в начальный период нагружения проявляется наиболее интенсивно. С ростом продолжительности испытаний относительные осадки штампов различной площади находится в пределах экспериментального разброса, что свидетельствует о преобладающем вкладе в процесс уплотнения основания деформаций ползучести грунта. При этом функции времени коэффициентов K_f и K_z подобны между собой и их отношение во времени является

постоянной величиной. В этом случае можно выполнить надежный прогноз кренов внецентренно нагруженных фундаментов по определенной из средней осадки функции наследственности основания. Определить ядро ползучести основания представляется возможным из рассмотрения результатов испытаний грунта штампами различной площади с позиций теории фильтрационной консолидации.

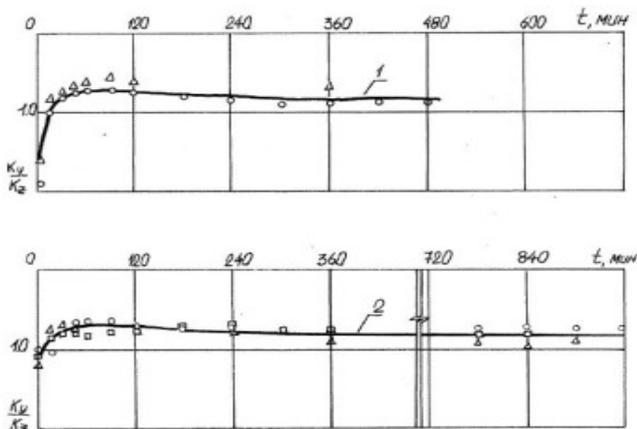


Рис. 3. Зависимость $K_{\phi}/K_z=f(t)$ при эксцентриситете нагрузки $e=0,2R$:
 1 – при $P_{cp}=0,075$; 2 – при $P_{cp}=0,1$ МПа;
 ○ – штамп площадью, $1,0 \text{ м}^2$; □ – то же, $0,5 \text{ м}^2$; △ – то же $0,25 \text{ м}^2$

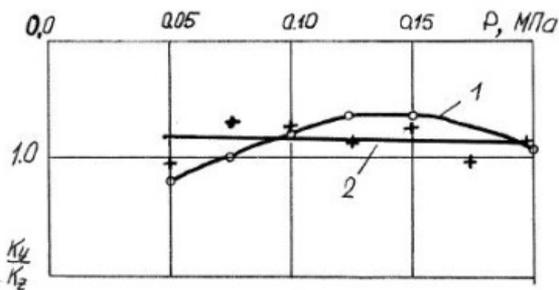


Рис. 4. Зависимость $K_{\phi}/K_z=f(P_{cp})$: ○ – $e=0,1R$; + при $e=0,2R$

Для решения задачи о развитии крена жесткого внецентренно нагруженного фундамента предлагается использовать модель коэффициента жесткости основания при следующих допущениях: основание является наследственно-упругой средой, скорость объемной и сдвиговой ползучести

скелета одинаковы, реологические свойства скелета характеризуются ядром $K(t-\tau)$. Окончательно получена зависимость (4), по которой определяются крены фундаментов во времени с использованием результатов испытаний штампов статической равномерной нагрузкой в соответствии с действующими стандартами в части определения коэффициента жесткости основания при равномерном сжатии K_z . Более точно параметры ядра ползучести и коэффициенты жесткости основания могут быть определены длительными наблюдениями за деформациями оснований инженерных сооружений.

$$i(t) = \frac{N \cdot e}{K_y} \cdot \frac{1}{I} \cdot \left[1 - \int_0^t K(t-\tau) d\tau \right] \quad (4)$$

Расчет кренов реальных сооружений показывает хорошее соответствие расчетных и фактических кренов в процессе длительного уплотнения водонасыщенных оснований.

На основании выполненных исследований в части стабилизации кренов фундаментов инженерных сооружений предложен метод усиления основания со стороны крена методом инъекции растворов под давлением, обеспечивающим повышение механических характеристик грунтов, эффект поддомкрачивания, регулируемое изменение коэффициента жесткости основания при неравномерном сжатии. Его применение оказывается наиболее эффективным в условиях действующих предприятий. Инъекцией цементного раствора в основание можно обеспечить комбинированное усиление за счет уменьшения пористости и армирования массива с уменьшением общего крена фундаментов и стабилизацией деформаций.

Выводы.

1. Между кренами внецентренно нагруженных фундаментов и их средними осадками существует взаимосвязь, при этом отношение коэффициентов жесткости основания при неравномерном и равномерном сжатии K_{ϕ} / K_z в процессе стабилизации деформаций стремится к постоянной величине равной 0,7...1,1.

2. Время стабилизации кренов слабо зависит от площади загрузки. Прогноз развития кренов во времени может быть выполнен с использованием в качестве модели грунтового основания наследственно-упругой среды с использованием результатов испытаний штампов различной площади.

3. Эффективным методом стабилизации кренов является одностороннее усиление основания, позволяющее регулировать жесткость при внецентренных нагрузках.

ИСПОЛЬЗУВАНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Клепиков С.Н. Расчет конструкций на упругом основании. Киев, Будівельник, 1967, - 181 с.
2. Лалетин Н.В. О расчете крена круглого жесткого фундамента. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1969, №4, - с 38.