

КОНТАКТНАЯ МОДЕЛЬ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ НА ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

И.В. Носков, А.И. Арцибашев, И.В. Карелина, О.Н. Зайцева

Приводятся контактная модель грунта, использование контактной модели для решения задач в нелинейной постановке для системы «основание-фундамент-сооружение».

Ключевые слова: грунт, модель, основание, фундамент.

В настоящее время проектирование зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах осуществляется при условии, что давление под подошвой фундамента не превышает расчетного сопротивления грунта, т.е. $p \leq R$. Иногда (например, при строительстве на плотных грунтах, реконструкции зданий и сооружений, для более экономичного проектирования сооружений и т.д.) необходимо определять осадки фундаментов при $p > R$, т.е. за пределами линейной деформируемости основания.

Ввиду сложности этот вид расчетов выполняют только численными методами с использованием ЭВМ и программных комплексов конечно-элементных расчетов.

Существует несколько теоретических моделей описывающих нелинейные деформации основания. При использовании нелинейных моделей для решения практических задач проблемой является определение не только входящих в уравнения состояния материальных констант, но и определение вида уравнений состояния. Поэтому в настоящее время их использование в инженерной практике весьма ограничено.

Контактные модели применяются для определения напряжений на контакте оснований и фундаментов. Одна из таких моделей расчета нелинейной деформируемости грунтов, создана украинским профессором С. Н. Клепиковым. Достоинством модели коэффициента жесткости являются ее относительная простота и возможность учета при определении контактных эпюр специфических свойств грунта (например, просадочных). Такого рода задачи расчета сооружений на прочность и деформативность заставляют искать пути теоретического описания взаимодействия сооружений с основанием с целью определения напряженно-деформированного состояния системы "основание - фундамент - верхнее строение" во всем диапазоне нагрузок и воз-

действий, что дает возможность полнее использовать свойства грунтов и конструкций и достовернее выполнять инженерные расчеты.

Расчеты сооружений с учетом деформируемости оснований выполняются обычно в линейной постановке. Однако сейчас линейная теория расчета начинает себя исчерпывать, и решать новые задачи, выдвигаемые практикой строительства, на основе ее положений становится все труднее или просто невозможно. Особенно это относится к расчетам сооружений, проектируемых для строительства в сложных инженерно-геологических условиях (структурно-неустойчивые, просадочные грунты, подрабатываемые, закарстованные и оползневые территории).

В подобных условиях воздействия в виде смещений и изменения жесткости основания проявляются, как правило, в период эксплуатации сооружения, что приводит к перераспределению контактных напряжений вплоть до отрыва грунта от подошвы фундаментов и нарушения его прочности на отдельных участках. При этом внешняя нагрузка остается неизменной в общий объем эпюр контактных напряжений на любой стадии реформирования основания не меняется. Существенно также влияние длительных деформаций, возникающих при смещениях основания.

Использование контактной модели грунта, может помочь решить задачи в нелинейной постановке с учетом системы "основание - фундамент - сооружение". Достоинством модели коэффициента жесткости являются ее относительная простота и возможность учета при определении контактных эпюр специфических свойств грунта (например, просадочных).

В механике грунтов в зависимости от характера исследуемых задач используются различные расчетные модели грунта. При этом приходится, естественно, прибегать к

известному упрощению свойств и рассматривать идеализированные среды, обладающие лишь некоторыми решающими для данного круга задач свойствами реальных грунтов. При изучении одних вопросов некоторые факторы принимаются в качестве основных, при изучении других вопросов эти факторы не учитываются, а за основные принимаются совершенно иные факторы. Правильность выбора основных факторов (определяющая ценность построенной на них теории) проверяется соответствующими объективными экспериментами и натуральными наблюдениями.

При выборе модели основания для расчета сооружений следует иметь в виду, что на характер напряженно-деформируемого состояния системы "основание - сооружение" влияет большое число физических факторов, точная количественная оценка которых весьма затруднительна. Неизбежны погрешности в определении деформативных свойств грунтов, в аналитическом описании деформирования элементов железобетонных и других конструкций с увеличением нагрузки и длительности ее действия, при назначении нагрузок и т.п. Эти обстоятельства предопределяют приближенность решения контактных задач для сооружений на деформируемом основании и делают неоправданными применение чрезмерно сложных моделей основания.

Исходя из действительных механических свойств грунтов, представляется целесообразным, оставляя для грунта расчетную модель в виде той или иной разновидности сплошной среды, использовать при решении контактных задач параметры, характеризующие жесткость основания в зоне контакта с сооружением. В качестве таких параметров принимаются коэффициенты или функции жесткости основания. По физическому смыслу коэффициент жесткости поверхности основания в какой-либо фиксированной точке выражает собой усилие, требуемое для единичного перемещения единицы поверхности в данной точке.

Поведение основания под нагрузкой целиком определяется его коэффициентами жесткости. В общем случае коэффициент жесткости зависит от физических свойств грунта, размеров и форм подошвы фундамента, неоднородности и распределительных свойств грунта, величины и времени действия нагрузки, характера нагружения (простое или сложное) – по оценки Клепикова С. Н., однако, по мнению Шаповала В. Г. коэффи-

циент жесткости не зависит от распределительных свойств грунта. Для определения коэффициентов жесткости необходимо знать перемещения основания от нагрузки. Тогда коэффициенты жесткости K для заданной нагрузки в рассматриваемый момент времени может быть представлен в виде следующей интегральной зависимости

$$K = p / \delta, \quad (1)$$

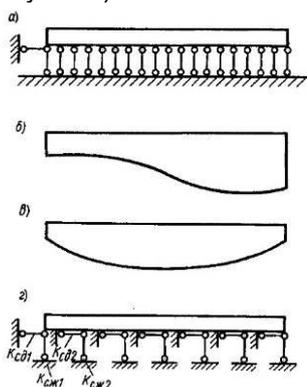
где p - нагрузка, приложенная к поверхности основания; δ - перемещение поверхности основания.

Остановимся на общих положениях по оценке жесткости основания при вертикальных перемещениях. В этом случае достаточно найти осадки основания от воздействия размеров распределенной нагрузки p_m , равной среднему значению давлений под подошвой фундамента и расположенной в пределах площади контакта фундамента с основанием. Коэффициенты жесткости, характеризующие сопротивление поверхности грунта сжатию в различных точках основания, определяются по формуле (1). Если нагрузка на отдельных участках основания может существенно отличаться от p_m , что, как правило, наблюдается при значительной неоднородности грунтов и смещениях земной поверхности, необходимо располагать значениями K при различных нагрузках p . В условиях длительного протекания осадок может понадобиться также значение K для различных моментов времени. Таким образом, коэффициенты жесткости определяются исходя из ожидаемых осадок основания под нагрузкой. При этом подсчет осадок может быть выполнен любым методом, которым располагает механика грунтов.

Поскольку коэффициенты жесткости зависят не только от физических свойств грунта, но и от размеров и формы загруженной площади, а также от других факторов, их следует рассматривать как некоторые обобщенные характеристики основания, используемые для решения контактных задач. Главная задача состоит в том, чтобы разработать для определения коэффициентов жесткости такие методы, которые правильно отражали бы влияние важнейших факторов и включали достаточно устойчивые показатели механических свойств грунта, получаемые в результате инженерно-геологических изысканий. Такую модель основания можно назвать моделью переменного коэффициента жесткости, имея в виду, что она моделирует лишь

контактные условия, а не грунтовую толщу. При построении методов решения контактных задач, базирующихся на названной модели, формально принимается, что осадка поверхности основания происходят только в точках приложения нагрузки, т. е. не учитываются распределительные свойства грунта. В действительности же эффект распределительной способности грунта легко учитывается путем соответствующего подбора закона изменения коэффициента жесткости под подошвой сооружения. Модель переменного коэффициента жесткости обладает весьма большой гибкостью в смысле возможности отражения действительных свойств грунтов и обеспечивает вполне достаточную для приложений точность решения контактных задач для сооружений на деформируемом основании. Частным случаем модели переменного коэффициента жесткости является хорошо известная винклеровская модель упругого основания. Эта модель обладает свойством линейной упругости и ее коэффициент жесткости, называемый коэффициентом постели или коэффициентом пропорциональности, принимается постоянным в плане сооружения и зависящим только от вида грунта, что служит причиной справедливой критики.

При расчете сооружений непрерывное основание моделируется совокупностью бесконечного множества не связанных друг с другом опорных стержней, жесткости которых характеризуются соответствующими значениями K (рисунок 1).



а – непрерывное основание (горизонтальные стержни, за исключением одного, условно не показаны); б, в – эпюры коэффициентов жесткости соответственно при сжатии и сдвиге; г – основание в виде отдельных стержней
Рисунок 1 - Расчетные схемы основания на примере плоской системы

Непрерывное основание допускается заменять при расчете отдельными стержнями, коэффициенты жесткости которых долж-

ны быть равны жесткостям заменяемых участков непрерывного основания (рисунок 1). Расстояния между отдельными стержнями принимаются исходя из требований, предъявляемых к точности получаемого решения контактной задачи. Деформации основания, не связанные с нагрузкой от сооружения и проявляющиеся в виде вертикальных и горизонтальных перемещений поверхности основания, моделируются смещениями опорных стержней.

В зависимости от особенностей совместной деформации основания и сооружения модель переменного коэффициента жесткости может приниматься в виде:

- линейно-упругой системы, работающей на сжатие, растяжение и сдвиг;
- нелинейно-упругой или неупругой системы, отражающей нелинейную связь между деформациями и нагрузками на основание в стабилизированном состоянии грунта, различие в деформационных свойствах основания при нагружении и разгрузке, несущую способность основания, нарушение контакта между фундаментом и основанием;
- реологической системы, отражающей деформационные свойства основания для различных моментов времени в течении строительного и эксплуатационного периодов (нестабилизированное состояние грунта).

Основы описанной модели разработаны украинским профессором С. Н. Клепиковым.

Достоинствами модели коэффициента жесткости являются ее относительная простота и возможность учета при определении контактных эпюр специфических свойств грунта (например, просадочных), а основным недостатком является невозможность прогноза напряженно-деформированного состояния по глубине основания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. - М.: Высш. шк., 1978. - 447 с.
2. Вялов С.С., Шаабан Ж. С. Модифицированная модель нелинейного деформирования связанных грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1994. - №5. – С. 2...6
3. Клепиков С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании. – К.: НИИСК, 1996.

Носков И.В. – к.т.н., профессор, E-mail: noskov.56@mail.ru, **Арцибашев А.И.** - аспирант, **Карелина И.В.** – к.т.н., доцент, **Зайцева О.Н.** - магистр, Алтайский государственный технический университет.