ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛИТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛОВ

Вопросу конструирования и оценки прочности бетонных полов в отечественной литературе уделяется относительно малое внимание, не соответствующее его значению. Определение вертикальных перемещений плит, лежащих на упругом основании, является первостепенной задачей, большое значение при этом имеет выбор расчетной модели основания при проектировании плит полов.

Горб Александр Михайлович
ЗАО «СК Конкрит Инжиниринг». Директор.

Выбор расчетной модели основания представляет большой практический интерес, так как, с одной стороны, модель должна отображать наиболее существенные особенности совместной работы плиты и грунтового основания, от чего зависит точность результатов расчета, а с другой – не вызывать чрезмерную математическую сложность, затрудняющую решение практических задач по расчету плит при различных граничных и начальных условиях, видах воздействий и схемах загружения. По существу этот вопрос сводится к выбору зависимости между реакциями, действующими со стороны основания на подошву плиты, ее прогибами и их производными.

Дифференциальное уравнение изгиба гибкой плиты постоянной толщины при статической вертикальной нагрузке и любой модели основания имеет вид:

$$D\nabla\nabla w(x, y) = q(x, y) - r(x, y) \qquad (1)$$

где: D – цилиндрическая жесткость плиты;

$\nabla\nabla$ – оператор Лапласа четвертого порядка:

$$\nabla\nabla = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} \qquad (2)$$

w(x, y) – прогибы плит, считаемые малыми;

q(x, y) – интенсивность вертикальной нагрузки;

r(x, y) – интенсивность вертикальной реакции основания, выражение которой зависит от вида ее модели.

Решая вопрос о выборе расчетной модели основания, ограничимся суждениями о следующих моделях: модель с одним коэффициентом постели (винклеровская модель) и однородного, изотропного, линейно-деформируемого, идеально упругого полупространства (модель упругого полупространства).

Первая модель построена на следующих допущениях:

- основание считается упругим и линейно-деформируемым;
- касательными реакциями по подошве плиты пренебрегают;
- вертикальная интенсивность реакции на подошву пропорциональна ее прогибу в данной точке:

$$r(x, y) = c \cdot w(x, y) \qquad (3)$$

где: c – коэффициент реакции основания (коэффициент постели).

Характерно, что основание по этой модели не обладает распределительной способностью, так как деформируется только в пределах плиты, там, где на него действует давление.

Это противоречит опыту в случае грунтов, обладающих связностью частиц. Такие грунты в известной степени являются упругими сплошными средами, которые при загрузке плиты деформируются и за ее пределами. Однако деформации упругого основания за пределами подошвы плиты не всегда существенны для расчета самой плиты, поэтому данная модель упругого основания проста, особенно если учесть часто встречающиеся случаи водонасыщенного состояния связанного и несвязанного грунтов, когда они мало способны к деформациям за пределами подошвы плиты.

Следует отметить, что при испытании грунтов штампами большого диаметра почти не наблюдается влияние диаметра штампа на значение коэффициента постели.

Плиты полов имеют значительную протяженность и малую жесткость и рассматриваются как гибкие, поэтому опыты со штампами большого диаметра соответствуют действительным условиям работы плит.

Это и вызывает практический интерес к первой модели.

Во второй модели сплошного упругого полупространства вертикальные перемещения его поверхности $w_0(x, y)$

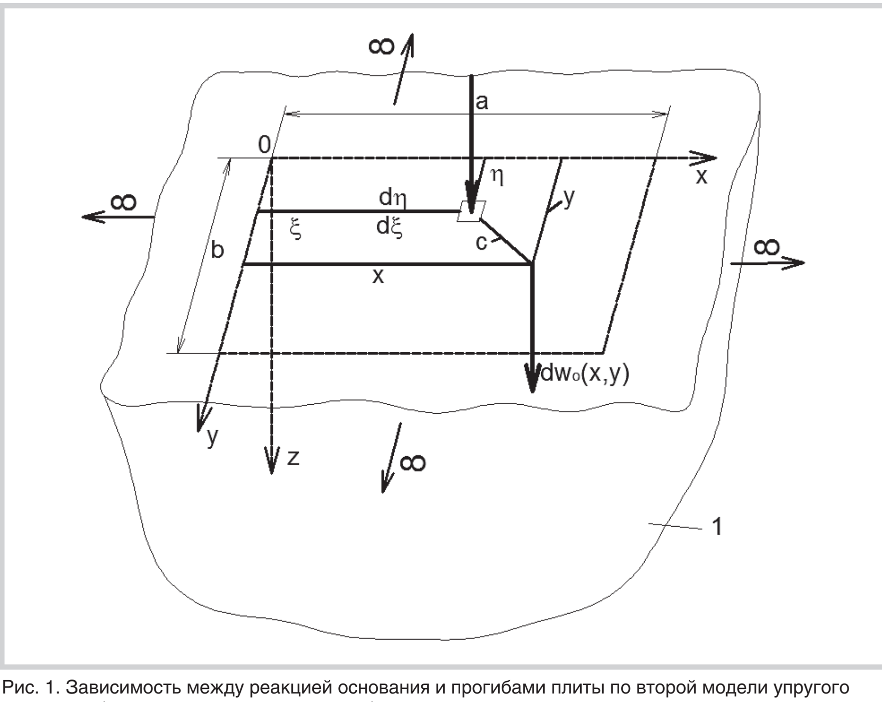

Рис. 1. Зависимость между реакцией основания и прогибами плиты по второй модели упругого основания (1 – упругое полупространство).

определяются по формулам теории упругости, а именно по формуле Буссинеска, приводящей к следующей зависимости (рис. 1):

$$w_0(x,y)=\frac{1-\mu_0^2}{\pi E_0}\int_0^a\int_0^b\frac{r(\xi,\eta)d\xi d\eta}{\sqrt{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}} \qquad (4)$$

E_0, μ_0 – модуль упругости и коэффициент Пуассона основания;

a и b – интегральные размеры прямоугольной плиты в плане.

Как видно из выражения (4), во второй модели учтены деформации поверхности основания не только в месте приложения нагрузки, но и за ее пределами. Для связных грунтов это вполне обоснованно, и тем более естественно предположение, что реакция основания в данной точке зависит не только от вертикального перемещения данного сечения, как в первой модели, но и от совокупности всех перемещений, включая угловые и сдвиговые. При этом вторая модель учитывает деформации основания и за пределами подошвы плиты. Однако если задача расчета плиты по первой модели сводится к решению одного дифференциального уравнения (1) при условии (3), то по второй модели необходимо решать систему двух уравнений (1) и (4) при учете условия полного контакта подошвы и основания: $w(x,y) = w_0(x,y)$. Поэтому математические трудности при использовании второй модели значительно превосходят сложность решения по первой модели.

Здесь уместно отметить, что по второй модели деформации поверхности полупространства вокруг загруженного участка теоретически распространяются до бесконечности, что резко противоречит наблюдениям при экспериментах со штампами, вдавливаемыми в поверхность основания даже для грунтов со значительной связностью частиц.

Существуют более сложные модели, часто представляющие собой различные комбинации рассмотренных выше моделей, как, например: на упругое полупространство по второй модели опирается основание по первой модели, на котором располагается плита. Еще более сложные модели основания получаются для упруго-пластических оснований.

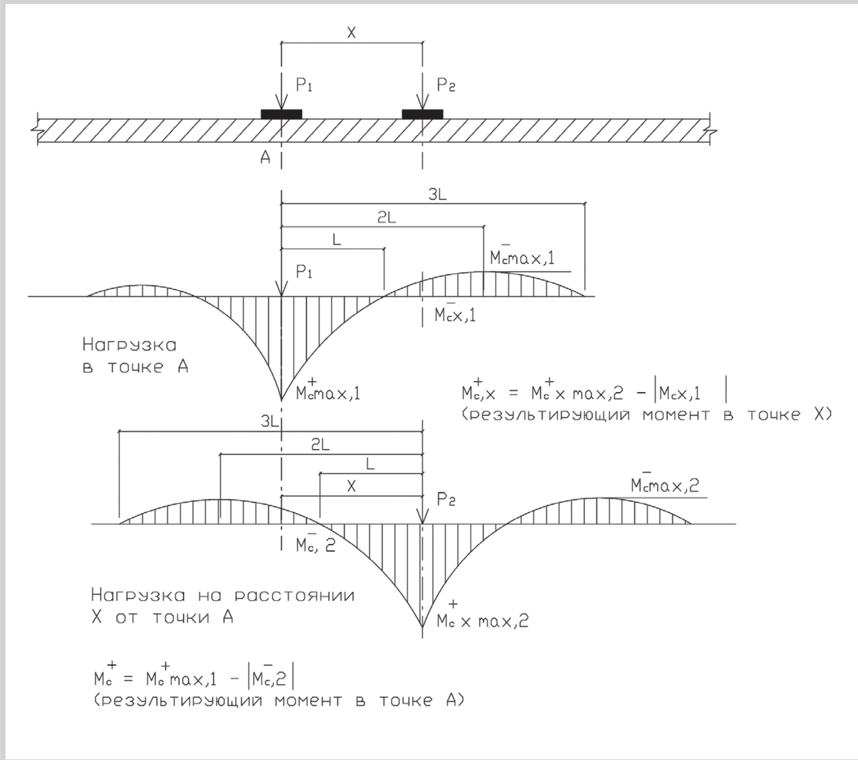

Рис. 2. Усилия (изгибающие моменты) в плите от действия двух сосредоточенных нагрузок

Необходимо особо отметить, что все упругие линейно-деформируемые основания считаются изотропными (двухсторонними), т. е. способными воспринимать как сжимающие напряжения, так и растягивающие. Такое допущение позволяет получать решения от нескольких одновременно действующих нагрузок путем суммирования частных решений от отдельных нагрузок. Однако расчет при односторонних связях, существующих для грунтовых оснований, будет действителен в том случае, если в основании от всех нагрузок не возникнут растягивающие напряжения на подошве плиты. В противном случае участок с растягивающими напряжениями должен быть исключен из рассмотрения. Но при этом появляются новые его границы. Путем последовательных приближений можно наконец получить приемлемый расчет, но он окажется сложным.

Исходя из вышеизложенного, можно считать достаточно обоснованным применение при проектировании бетонных полов первой модели – модели с одним коэффициентом постели.

Автор:
Горб Александр Михайлович
ЗАО «СК Конкрит Инжиниринг».
Директор.
Советник РАЕ,
член международного союза экспертов по строительным материалам, системам и конструкциям RILEM, Американского института бетона ACI и Британской ассоциации бетона CS.

Список литературы:

1. СНиП 2.03.13-88 «Полы. Нормы проектирования».
2. СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований зданий и сооружений».
3. Пастернак П. Л. «Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели». Госстройиздат. М. Л.,1954 г.
4. Егоров К. Е. «Распределение напряжений и перемещений в основании конечной толщины». Сборник трудов НИИОСП. Механик грунтов, № 34, 1958 г.
5. Манвелов Л. И., Бартошевич Э. С. «Расчет прямоугольной плиты на упругом основании». «Строительная механика и расчет сооружений», М., № 5, 1963 г.
6. Горбунов-Посадов М. И., Маликова Т. А., Соломин В. И. «Расчет конструкций на упругом основании», 1984 г.
7. Коренев Б. Г. «Вопросы расчета балок и плит на упругом основании», 1954 г.
8. «Функциональные прерыватели Герсеванова и расчет конструкций на упругом основании» («Основания, фундаменты и механика грунтов», 2000 г., №4. С.18-23)
9. Федоровский В. Г., Безволев С. Г., Дунаева О. М. «Методика расчета фундаментных плит на нелинейно-деформируемом во времени основании», 1993 г.
10. Безволев С. Г., Федоровский В. Г., Александрович В. Ф. «Совершенствование расчета осадок оснований методом послойного суммирования», 1991 г.