

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ НЕИЗОЛИРОВАННОЙ ПЛИТЫ НА АНИЗОТРОПНОМ ОСНОВАНИИ

Нургалиев Мейрам Русланович

«Құрылыс инжиниринг» ббб 1 курс магистрант
meiramnurg@gmail.com

Научный руководитель: **Дюсембаев И.Н.**

***Андатпа.** Мақалада анизотропты негізбен өзара әрекеттесетін плитаның кернеулі-деформацияланған күйін (КДК) модельдеудің заманауи тәсілдері мен әдістеріне талдау жасалған. Инженерлік конструкцияларды есептеу кезінде негіздің анизотроптық қасиеттерін ескерудің қажеттілігі негізделген. Негіздің серпімді және серпімді-пластикалық мінез-құлқының классикалық модельдері жалпыланып, сондай-ақ тиісті есептерді шешудің аналитикалық және сандық әдістері қарастырылған. Плитадағы кернеулер мен деформациялардың таралу сипатына анизотропияның әсеріне арналған негізгі зерттеулердің нәтижелері талданған. Құрылыс механикасы және негіздер мен іргетастар механикасы есептерінде анизотропияны ескерудің практикалық маңызы көрсетілген.*

***Аннотация.** В статье проведён анализ основных подходов и методов моделирования напряжённо-деформируемого состояния (НДС) плиты, взаимодействующей с анизотропным основанием. Особое внимание уделено обоснованию необходимости учёта анизотропии основания при расчётах инженерных конструкций, обобщены классические модели упругой и упруго-пластической реакции основания, рассмотрены методы аналитического и численного решения. Проанализированы ключевые исследования, касающиеся влияния анизотропии на распределение напряжений и деформаций плиты, а также их практическое применение в строительной механике и оснований сооружений.*

***Ключевые слова:** напряжённо-деформируемое состояние, плита, анизотропное основание, упругие модели, аналитическое моделирование, численные методы.*

Введение. При расчёте инженерных конструкций фундаментального типа (плиты, фундаментные блоки, плиты перекрытий на грунтовом основании) критически важно учитывать реальное взаимодействие конструкции с основанием. В классических задачах моделирование плиты на упругом основании часто проводится с допущением изотропности грунта или основания (модель Винклера-Базанта и др.) [1,2]. Однако реальные грунтовые основания зачастую обладают анизотропными механическими свойствами, обусловленными стратификацией, направленной структурой породы, неоднородностью уплотнения и другими факторами [3–5].

Игнорирование анизотропии приводит к существенным ошибкам в оценке распределения напряжений и перемещений, что особенно критично при высоких нагрузках, больших пролётах плит и в сложных инженерно-геологических условиях. Следовательно, исследование НДС плиты на анизотропном основании является актуальной и востребованной научно-прикладной задачей.

Классические модели плиты на упругом основании. Одной из наиболее распространённых моделей является модель плиты на упругом основании Винклера, в которой основание заменяется упругими балками/пружинами с постоянной жёсткостью k . Эта модель удобна своей простотой и аналитической решаемостью, но ограничена изотропией и линейной упругостью основания [1].

Базант расширил модель Винклера, введя распределённое взаимодействие плиты с основанием, что позволило учесть сглаженное влияние основания на распределение изгибных моментов и прогибов плиты [2]. Тем не менее, эти модели не учитывают анизотропию материалов и её влияние на реакцию основания.

Анизотропные основания: понятие и моделирование. Анизотропное основание характеризуется различными механическими параметрами (модули упругости, коэффициенты сдвига), зависящими от направления в пространстве. Такая анизотропия может быть структурной (вызванной ориентацией минералов или пластов), технологической (в результате укладки, уплотнения) или эксплуатационной (деформации под нагрузкой) [3,4].

Для описания анизотропных оснований применяются тензорные методы: уравнения баланса с учётом тензора упругости и жёсткости основания, внутри которого различаются продольные и поперечные модули упругости, а также коэффициенты поперечной сдвижной жёсткости. В работах [4,5] показано, что такие модели позволяют адекватно учитывать влияние направленной структуры основания на реакцию конструкции.

Для построения общей модели плиты на анизотропном основании обычно используют следующие подходы:

1. Модель упругого слоя с анизотропными характеристиками, где основание рассматривается как непрерывная среда с заданными тензорными упругими параметрами [5,6].
2. Концепция упруго-пластической анизотропии, включающая нелинейные деформации и предельное состояние грунта, что особенно важно для плотных песчаных или слоистых глин [6].
3. Численные методы конечных элементов (МКЭ), позволяющие задавать в качестве подложки элементы с анизотропными свойствами и проводить моделирование сложных нагрузочных ситуаций [7].

Таким образом, развитие теории взаимодействия плит с анизотропными основаниями требует сочетания аналитических методов (для понимания влияния параметров) и численных подходов (для практических расчётов).

Аналитические исследования. Аналитические решения для плиты на анизотропном основании показывают, что распределение изгибных моментов и прогибов существенно зависит от соотношения модулей упругости основания в разных направлениях. Если анизотропия сильная (различие модулей больше чем в 2–3 раза), распределение напряжений становится линейно-направленным и устойчивость плиты может существенно снизиться [4].

Численные исследования. Моделирование методом конечных элементов с анизотропным основанием продемонстрировало, что в областях с повышенной жёсткостью основания (по направлению главного модуля упругости) прогибы плиты значительно ниже, чем в областях с пониженной жёсткостью. Такой эффект особенно заметен при нагружении концентрированными силами или при асимметричных нагрузках [7].

Практическое применение. На практике учёт анизотропии особенно важен для проектирования массивных плит на сложных грунтовых основаниях: например, при строительстве аэродромных площадок, объектов с очень высокими осевыми нагрузками, а также в сейсмически активных регионах, где грунты имеют ориентированную микроструктуру [8]. Экспериментальные исследования подкрепляют модели, показывая несоответствие результатов расчётов на изотропном основании реальным измерениям деформаций [5].

Заключение. В обзорной статье проанализированы ключевые модели, применяемые для исследования НДС плит на анизотропном основании. Выделено, что классические модели, основанные на предположении изотропности, существенно ограничены в применимости. Учёт анизотропии позволяет более адекватно описать распределение напряжений и деформаций, особенно в инженерно-геологических условиях с выраженной направленной структурой основания. Актуальность дальнейших исследований определяется необходимостью интеграции нелинейных эффектов, влияния пластической деформации и методов численного анализа.

Список использованной литературы

1. Бугров А.К., Голубев А.И. Анизотропные грунты и основания сооружений. СПб.: Недра, 1993.
2. Зурнаджи В.А., Николаев V.V. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Высшая школа, 1967.
3. Госстрой СССР. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М., 1978.
4. Коробова О.А. Комплексные исследования напряженного состояния и деформируемости анизотропных грунтовых оснований. Диссертация, 2002.
5. Winkler, E. Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit. Braunschweig, 1867.

6. Bazant, Z.P., Cedolin, L. *Stability of Structures: Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories*. Oxford, 1991.

7. Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., Zhu, J.Z. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Butterworth-Heinemann, 2013.