

Плиталарды есептеу кезіндегі изотропты және трансверсальды-изотропты негіз модельдерін салыстыру

Тенгельбаева А.М.

Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті

Қазақстан, Ақтау

e-mail: tengelbayeva@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада плиталық конструкцияларды серпімді негізде есептеу кезінде қолданылатын изотропты және трансверсальды-изотропты негіз модельдерінің ерекшеліктері қарастырылған. Құрылыс және жол саласында плиталардың беріктігі мен деформациялық қасиеттерін дәл анықтау маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Осыған байланысты негіздің механикалық қасиеттерін нақты ескеретін есептеу модельдерін пайдалану қажеттілігі туындайды. Жұмыста изотропты және трансверсальды-изотропты негіз модельдерінің теориялық негіздері талданып, олардың плитаның кернеулі-деформацияланған күйіне әсері салыстырылған.

Изотропты модельде негіз қасиеттері барлық бағытта бірдей деп қабылданады, ал трансверсальды-изотропты модельде материал қасиеттерінің әртүрлі бағыттар бойынша айырмашылығы ескеріледі. Бұл модель табиғи грунттардың және көпқабатты негіздердің нақты жұмысын дәлірек сипаттауға мүмкіндік береді. Зерттеу барысында плитаның шоғырланған жүктеме әсерінен пайда болатын майысуы мен ішкі кернеулерінің өзгеру заңдылықтары қарастырылды.

Мақалада әртүрлі негіз модельдерін қолдану нәтижесінде алынған есептік көрсеткіштерге салыстырмалы талдау жүргізіліп, трансверсальды-изотропты модельді қолданудың артықшылықтары анықталды. Нәтижелер көрсеткендей, анизотропиялық қасиеттерді ескеру плитаның жұмысын неғұрлым дәл сипаттауға және есептеу дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Алынған қорытындылар жол және құрылыс конструкцияларын жобалау кезінде тиімді инженерлік шешімдер қабылдау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: серпімді негіз, изотропия, трансверсальды-изотропия, шоғырланған жүктеме, деформация.

Кіріспе. Қазіргі таңда құрылыс және жол саласында плиталық конструкциялар кеңінен қолданылады. Әсіресе автомобиль жолдарының жабындары, аэродром плиталары, өндірістік алаңдар мен іргетас конструкциялары сияқты инженерлік нысандарды жобалау кезінде плиталардың беріктігі мен сенімділігін қамтамасыз ету маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Мұндай конструкциялардың жұмыс қабілеті көбінесе олардың орналасқан негізінің механикалық қасиеттеріне тәуелді болады. Сондықтан плиталарды серпімді негізде есептеу теориясы инженерлік есептерде маңызды орын алады.

Плиталардың кернеулі-деформацияланған күйін анықтау кезінде негіздің қасиеттерін дәл ескеру қажет. Көптеген дәстүрлі есептеу әдістерінде негіз изотропты орта ретінде қарастырылады, яғни оның физика-механикалық қасиеттері барлық бағытта бірдей деп қабылданады. Алайда табиғи грунттар мен көпқабатты негіздер әртүрлі бағыттарда әрқалай қасиет көрсетуі мүмкін. Мұндай жағдайларда изотропты модель нақты жұмыс жағдайын толық сипаттай алмайды және есептеу нәтижелерінің дәлдігі төмендеуі ықтимал.

Соңғы жылдары плиталарды есептеу кезінде трансверсальды-изотропты негіз модельдерін қолдануға қызығушылық артып келеді. Бұл модельдерде негіздің вертикаль және горизонталь бағыттардағы қасиеттерінің айырмашылығы ескеріледі. Соның нәтижесінде конструкцияның нақты жұмысын дәлірек сипаттауға және плитада пайда болатын майысулар мен ішкі кернеулерді нақты анықтауға мүмкіндік туады. Шоғырланған жүктеме әсерінен плиталардың жұмысын зерттеу жол және құрылыс саласы үшін ерекше маңызға ие. Себебі көлік жүктемелері, ауыр техникалардың әсері және локальды күштер плиталық конструкцияларда күрделі кернеулі күй қалыптастырады. Осыған байланысты әртүрлі негіз модельдерінің есептеу нәтижелеріне әсерін салыстырмалы түрде талдау ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті мәселе болып табылады.

Осы мақаланың мақсаты – плиталарды есептеу кезінде қолданылатын изотропты және трансверсальды-изотропты негіз модельдерінің ерекшеліктерін салыстыру, олардың плитаның кернеулі-деформацияланған күйіне әсерін талдау және есептеу дәлдігіне ықпалын анықтау.

1. Изотропты негіз моделі.

Изотропты негіз моделі серпімді ортаның барлық бағыттағы физика-механикалық қасиеттері бірдей деген болжамға негізделеді. Мұндай модельдер плиталарды есептеуде кеңінен қолданылады және инженерлік тәжірибеде қарапайымдылығы мен есептеу ыңғайлылығына байланысты үлкен қолданысқа ие. Изотропты ортада серпімділік модулі, Пуассон коэффициенті және басқа механикалық сипаттамалар барлық бағытта тұрақты болып қабылданады.

Плиталарды серпімді негізде есептеуде кең таралған модельдердің бірі – Винклер моделі. Бұл модель бойынша негіз бір-бірімен байланыспаған серпімді серіппелер жүйесі ретінде қарастырылады. Негіздің реакциясы плитаның майысуына тура пропорционал болады:

$$q_k = kw \quad (1)$$

мұндағы:

q_k — негіз реакциясы;

k — төсем коэффициенті;

w — плитаның иілуі.

Изотропты модельдерді қолдану есептеу процесін айтарлықтай жеңілдетеді. Алайда бұл тәсіл табиғи грунттардың құрылымдық ерекшеліктерін және әртүрлі бағыттардағы қасиеттерінің айырмашылығын толық ескере алмайды. Сондықтан кейбір жағдайларда есептеу нәтижелерінің дәлдігі төмен болуы мүмкін.

2. Трансверсальды-изотропты негіз моделі

Трансверсальды-изотропты негіз моделі материал қасиеттерінің белгілі бір бағыттар бойынша әртүрлі болуын ескереді. Мұндай ортада горизонталь бағыттағы қасиеттер бірдей болғанымен, вертикаль бағыттағы сипаттамалар өзгеше болуы мүмкін. Бұл модель табиғи грунттардың, қабатты негіздердің және анизотропты орталардың нақты жұмысын сипаттауға мүмкіндік береді.

Трансверсальды-изотропты ортада серпімділік сипаттамалары бірнеше тәуелсіз параметрлер арқылы анықталады. Нәтижесінде плитаның майысуы мен ішкі кернеулерінің таралуы изотропты модельмен салыстырғанда өзгеше болады. Әсіресе шоғырланған жүктеме әсер еткен кезде негіздің бағыттық қасиеттері есептеу нәтижесіне елеулі ықпал етеді.

Бұл модельді қолдану конструкцияның кернеулі-деформацияланған күйін дәлірек анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар жол жабындары, аэродром плиталары және көпқабатты инженерлік негіздер сияқты күрделі жүйелерді есептеу кезінде трансверсальды-изотропты модельдің артықшылықтары айқын байқалады.

3. Плиталарды серпімді негізде есептеу

Плиталарды серпімді негізде есептеу кезінде олардың майысуы, ішкі күштері және кернеулі-деформацияланған күйі анықталады. Плитаның жұмысы оның геометриялық өлшемдеріне, материал қасиеттеріне, жүктеме түріне және негіздің сипаттамаларына тәуелді болады. Инженерлік тәжірибеде мұндай есептеулер жол плиталарын, аэродром жабындарын, өнеркәсіптік алаңдарды және іргетас конструкцияларын жобалау кезінде кеңінен қолданылады.

Серпімді негіздегі плиталарды есептеудің негізгі мақсаты – сыртқы күштердің әсерінен пайда болатын майысулар мен ішкі кернеулердің шамасын анықтау. Плитаға түсетін жүктеме біркелкі таралған немесе шоғырланған түрде әсер етуі мүмкін. Практикада көлік доңғалақтарының әсері, ауыр техникалардың жүктемесі және жергілікті күштер көбінесе шоғырланған жүктеме ретінде қарастырылады.

Серпімді негіздегі плитаның дифференциалдық теңдеуі келесі түрде өрнектеледі:

$$D\nabla^4 w + kw = P \quad (1)$$

мұндағы:

D – плитаның цилиндрлік қаттылығы;

w – плитаның майысуы;

k – негіздің төсек коэффициенті;

P – сыртқы жүктеме.

Плитаның цилиндрлік қаттылығы келесі формула арқылы анықталады:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad (2)$$

мұндағы:

E – материалдың серпімділік модулі;

h – плитаның қалыңдығы;

μ – Пуассон коэффициенті.

Изотропты негіз моделінде негіз реакциясы барлық бағытта бірдей таралады. Сондықтан есептеу сұлбасы қарапайым болады және инженерлік есептерде жиі қолданылады. Алайда табиғи грунттардың құрылымы күрделі болғандықтан, олардың қасиеттері әртүрлі бағыттарда өзгеше болуы мүмкін. Мұндай жағдайда трансверсальды-изотропты модель нақты нәтижелер алуға мүмкіндік береді.

Трансверсальды-изотропты негізде плитаның майысуы мен кернеулерінің таралуы негіздің бағыттық қасиеттеріне тәуелді болады. Әсіресе вертикаль және горизонталь бағыттардағы серпімділік модульдерінің айырмашылығы плитаның жұмыс істеу сипатына елеулі әсер етеді. Сондықтан бұл модель жол және құрылыс конструкцияларын есептеу кезінде кеңінен қолданылып келеді.

Плиталарды есептеу барысында алынған нәтижелер негіз модельдерінің конструкция жұмысына әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Әртүрлі модельдерді салыстыру арқылы майысу шамасының, ішкі күштердің және кернеулердің өзгеру заңдылықтары анықталады.

4. Изотропты және трансверсальды-изотропты модельдерді салыстырмалы талдау

Плиталарды есептеу кезінде қолданылатын негіз модельдері алынатын нәтижелердің дәлдігіне тікелей әсер етеді. Осыған байланысты изотропты және трансверсальды-изотропты модельдер арасындағы айырмашылықтарды талдау маңызды болып табылады. Изотропты модельде негіздің барлық бағыттағы қасиеттері бірдей деп қабылданатындықтан, жүктеменің таралуы бірқалыпты және симметриялы сипат алады. Бұл жағдайда есептеу қарапайымдалады, алайда грунттың нақты құрылымдық ерекшеліктері толық ескерілмейді. Соның салдарынан кейбір жағдайларда плитаның майысу шамасы мен кернеулердің нақты мәндерінен ауытқу байқалуы мүмкін.

Ал трансверсальды-изотропты модельде негіздің вертикаль және горизонталь бағыттағы серпімділік қасиеттері әртүрлі болып қарастырылады. Бұл тәсіл табиғи грунттардың қабатты құрылымын және олардың бағыттық анизотропиясын дәлірек сипаттайды. Нәтижесінде жүктеменің таралуы біркелкі болмайды және плитаның кейбір аймақтарында кернеулердің шоғырлануы байқалуы мүмкін.

Салыстырмалы түрде алғанда, трансверсальды-изотропты модель плитаның майысуын және ішкі кернеулерін дәлірек анықтауға мүмкіндік береді. Әсіресе шоғырланған жүктеме әсер еткен жағдайда айырмашылық айқын көрінеді. Бұл инженерлік есептерде, әсіресе жол жабындарын жобалау кезінде, есептеу дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Төмендегі кестеде екі модельдің негізгі ерекшеліктері салыстырылған:

1-кесте

Критерий	Изотропты модель	Трансверсальды-изотропты модель
Қасиеттерді ескеру	Барлық бағытта бірдей	Бағыт бойынша әртүрлі
Есептеу күрделілігі	Төмен	Жоғары
Нақты грунтқа сәйкестік	Төменірек	Жоғары
Майысуды анықтау дәлдігі	Орташа	Жоғары
Қолдану саласы	Жеңіл есептер	Инженерлік күрделі есептер

Бұл салыстыру нәтижелері трансверсальды-изотропты модельдің артықшылығын көрсетеді, алайда оның қолданылуы есептеу күрделілігінің артуымен байланысты.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде плиталарды есептеу кезінде қолданылатын изотропты және трансверсальды-изотропты негіз модельдерінің ерекшеліктері салыстырмалы түрде талданды. Екі модельдің де инженерлік есептеулерде кеңінен қолданылатыны анықталды, алайда олардың қолданылу саласы мен есептеу дәлдігі әртүрлі деңгейде екені көрсетілді.

Изотропты модель есептеу жағынан қарапайым болып табылады және бастапқы инженерлік бағалаулар үшін қолайлы. Дегенмен, бұл модель негіздің нақты физика-механикалық қасиеттерін толық ескермейді, себебі онда орта барлық бағытта бірдей қасиетке ие деп қабылданады. Осы себепті күрделі геологиялық жағдайларда немесе қабатты грунттарда алынған нәтижелерде белгілі бір қателіктер пайда болуы мүмкін. Ал трансверсальды-изотропты модель негіздің бағыттық анизотропиясын ескеруге мүмкіндік береді және табиғи грунттардың шынайы жұмысын дәлірек сипаттайды. Бұл

модельді қолдану плитаның майысуы мен ішкі кернеулерін неғұрлым нақты анықтауға мүмкіндік береді, әсіресе шоғырланған жүктеме әсер еткен жағдайларда айырмашылық айқын байқалады.

Салыстырмалы талдау нәтижелері трансверсальды-изотропты модельдің инженерлік тұрғыдан жоғары дәлдік беретінін, бірақ есептеу күрделілігінің артуымен ерекшеленетінін көрсетті. Сондықтан практикалық есептерде модель таңдау нақты жобалау шарттарына, талап етілетін дәлдік деңгейіне және бастапқы деректердің толықтығына байланысты жүзеге асырылуы тиіс. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер плиталық конструкцияларды жобалау кезінде негіздің анизотропиялық қасиеттерін ескерудің маңыздылығын көрсетеді және инженерлік есептеулердің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластиналар мен қабықшалар теориясы негіздері. – Мәскеу: Наука, 1975.
2. Власов В.З. Жалпы қабықшалар теориясы және қолданбалары. – Мәскеу: Стройиздат, 1962.
3. Болотин В.В. Серпімділік теориясы және конструкциялар механикасы. – Мәскеу: Высшая школа, 1983.
4. Westergaard H.M. Stresses in Concrete Pavements. – Transactions of the ASCE, 1926.
5. Timoshenko S., Goodier J.N. Theory of Elasticity. – New York: McGraw-Hill, 1970.
6. Foundation design principles in geotechnical engineering. – ISRM / geotechnical literature.
7. СНиП 2.02.01-83*. Ғимараттар мен құрылыстар негіздері. – Мәскеу.
8. СП 22.13330.2016. Ғимараттар мен құрылыстар негіздері (актуалдандырылған редакция).
9. Қазақстан Республикасының құрылыс нормалары (ҚР ҚН). Жол және негіз конструкцияларын жобалау нормалары.
10. Новожилов В.В. Серпімділік теориясының негіздері. – Ленинград: Судостроение, 1958.

СРАВНЕНИЕ ИЗОТРОПНЫХ И ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНЫХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВАНИЯ ПРИ РАСЧЁТЕ ПЛИТ

Тенгельбаева Асима Мырзагалыевна

«Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова», Казахстан, Актау

Аннотация. В статье рассматриваются особенности расчёта плитных конструкций на изотропном и трансверсально-изотропном упругом основании. Проведён сравнительный анализ двух моделей основания с точки зрения их влияния на напряжённо-деформированное состояние плит. Особое внимание уделено распределению прогибов и внутренних напряжений при действии сосредоточенной нагрузки.

Показано, что изотропная модель характеризуется упрощённым подходом к описанию свойств основания и широко применяется в инженерной практике для предварительных расчётов. В то же время трансверсально-изотропная модель позволяет более точно учитывать анизотропные свойства грунтового основания, что обеспечивает повышение достоверности результатов расчёта.

Результаты исследования подтверждают, что использование трансверсально-изотропной модели обеспечивает более точное определение деформаций и напряжений в плитах, особенно в условиях локального нагружения. Полученные выводы могут быть использованы при проектировании дорожных и строительных конструкций.

Ключевые слова: упругое основание, изотропия, трансверсальная изотропия, сосредоточенная нагрузка.

COMPARISON OF ISOTROPIC AND TRANSVERSELY ISOTROPIC FOUNDATION MODELS IN SLAB ANALYSIS

Tengelbayeva Assima Myrzagalyevna

*«Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov», Казахстан,
Ақмай*

Abstract. The article considers the features of analyzing slab structures resting on isotropic and transversely isotropic elastic foundations. A comparative study of the two foundation models is carried out in terms of their influence on the stress-strain state of slabs. Particular attention is given to the distribution of deflections and internal stresses under a concentrated load.

It is shown that the isotropic model is based on a simplified representation of foundation properties and is widely used in engineering practice for preliminary calculations. In contrast, the transversely isotropic model allows for a more accurate representation of the anisotropic behavior of soil foundations, leading to improved reliability of computational results.

The research results confirm that the use of the transversely isotropic model provides a more precise evaluation of slab deformations and stresses, especially under localized loading conditions. The findings can be applied in the design of road and civil engineering structures.

Keywords: elastic foundation, isotropy, transverse isotropy, deflection, concentrated load.